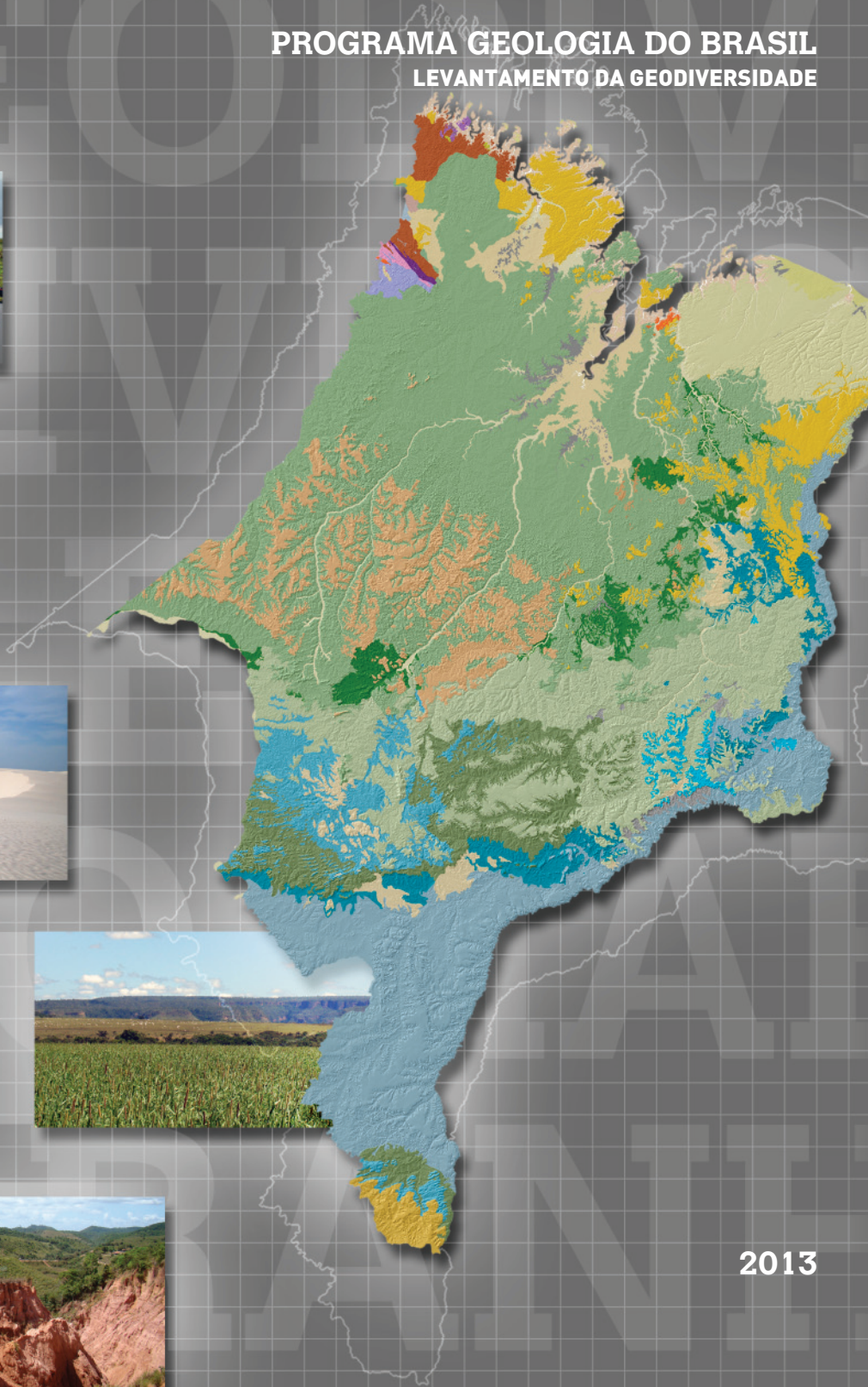


GEODIVERSIDADE DO ESTADO DO MARANHÃO

PROGRAMA GEOLOGIA DO BRASIL
LEVANTAMENTO DA GEODIVERSIDADE



2013

GEODIVERSIDADE DO ESTADO DO MARANHÃO

**PROGRAMA GEOLOGIA DO BRASIL
LEVANTAMENTO DA GEODIVERSIDADE**

CASA CIVIL DA PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA

Ministra-Chefe Gleisi Helena Hoffmann

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA

SECRETARIA DE GEOLOGIA, MINERAÇÃO E TRANSFORMAÇÃO MINERAL

MINISTRO DE ESTADO

Edison Lobão

SECRETÁRIO EXECUTIVO

Márcio Pereira Zimmermann

SECRETÁRIO DE GEOLOGIA, MINERAÇÃO E TRANSFORMAÇÃO MINERAL

Carlos Nogueira da Costa Junior

CPRM – SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL

CONSELHO DE ADMINISTRAÇÃO

Presidente

Carlos Nogueira da Costa Junior

Vice-Presidente

Manoel Barretto da Rocha Neto

Conselheiros

Jarbas Raimundo de Aldano Matos

Ladice Pontes Peixoto

Luiz Gonzaga Baião

Oswaldo Castanheira

DIRETORIA EXECUTIVA

Diretor-Presidente

Manoel Barretto da Rocha Neto

Diretor de Hidrologia e Gestão Territorial

Thales de Queiroz Sampaio

Diretor de Geologia e Recursos Minerais

Roberto Ventura Santos

Diretor de Relações Institucionais e Desenvolvimento

Antônio Carlos Bacelar Nunes

Diretor de Administração e Finanças

Eduardo Santa Helena da Silva

SUPERINTENDÊNCIA REGIONAL DE RECIFE

Superintendente

José Wilson de Castro Temóteo

RESIDÊNCIA DE TERESINA

Chefe de Residência

Francisco Lages Correia Filho

Assistente de Hidrologia e Gestão Territorial

Carlos Antônio Luz

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA
SECRETARIA DE GEOLOGIA, MINERAÇÃO E TRANSFORMAÇÃO MINERAL
CPRM – SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL

GEODIVERSIDADE DO ESTADO DO MARANHÃO

PROGRAMA GEOLOGIA DO BRASIL
LEVANTAMENTO DA GEODIVERSIDADE

ORGANIZAÇÃO

Iris Celeste Nascimento Bandeira

Teresina, Brasil

2013

CRÉDITOS TÉCNICOS

LEVANTAMENTO DA GEODIVERSIDADE DO ESTADO DO MARANHÃO

COORDENAÇÃO NACIONAL

Departamento de Gestão Territorial

Cassio Roberto da Silva

COORDENAÇÃO TEMÁTICA

Geodiversidade

Antonio Theodorovicz

Geomorfologia

Marcelo Eduardo Dantas

Solos

Edgar Shinzato

Cenários

Valter José Marques

Coordenação de Geoprocessamento e da Base de Dados de Geodiversidade

Maria Angélica Barreto Ramos

Maria Adelaide Mansini Maia

Execução Técnica

Iris Celeste Nascimento Bandeira

Marcelo Eduardo Dantas

Antonio Theodorovicz

Edgar Shinzato

Elaboração e Organização do Relatório Técnico da Geodiversidade do Estado do Maranhão

Iris Celeste Nascimento Bandeira

Sistema de Informação Geográfica e Leiaute do Mapa

Iris Celeste Nascimento Bandeira

Maria Tereza Barradas

Maria Adelaide Mansini Maia

Apoio Banco de Dados, SIG e Desenvolvimento da Base Geodiversidade

Divisão de Geoprocessamento (DIGEOP)

João Henrique Gonçalves

Reginaldo Leão Neto

Leonardo Brandão Araújo
Elias Bernard da Silva do Espírito Santo
Gabriela Figueiredo de Castro Simão

Colaboração

Elem Cristina dos Santos Lopes
Manoel C. Costa Neto
Cristiane Silva Souza
Evandro Luiz Klein
Sheila Gatinho Teixeira
José Sidney Barros
Edlene Pereira da Silva
Maria Angélica Barreto Ramos
Sandra Fernandes da Silva
Pedro Pfaltzgraff
Valter José Marques
Mônica Cordulina da Silva

Revisão Técnica

Valter José Marques

Revisão Linguística

Sueli Cardoso de Araújo

Projeto Gráfico/Editoração/Multimídia

Departamento de Relações Institucionais (DERID)

Divisão de Marketing e Divulgação (DIMARK) (padrão capa/embalagem)

Ernesto von Sperling

José Marcio Henriques Soares

Traço Leal Comunicação

Departamento de Apoio Técnico (DEPAT)

Divisão de Editoração Geral (DIEDIG) (projeto de editoração/diagramação)

Valter Alvarenga Barradas

Andréia Amado Continentino
Agmar Alves Lopes

(supervisão de editoração)

Andréia Amado Continentino

(editoração)

Pedro da Silva

(edição de imagem)

Juliana Colussi

Leila Maria Rosa de Alcantara

Nathalia Valladares Leal (estagiário)

Thaynara Pinheiro Rodrigues de Paiva (estagiário)

Yuri Correa de Souza (estagiário)

Superintendência Regional de Manaus (MANAUS-MA)

Gerência de Relações Institucionais e Desenvolvimento (GERIDE) (projeto de multimídia e editoração)

Maria Tereza da Costa Dias

Aldenir Justino de Oliveira

Agradecimentos

Núcleo Geoambiental da Universidade Estadual do Maranhão (UEMA)

Defesa Civil do Estado do Maranhão

Secretaria de Minas e Energia do Estado do Maranhão

Secretaria de Turismo do Estado do Maranhão

Secretaria de Planejamento do Estado do Maranhão

Secretaria de Agricultura do Estado do Maranhão

Secretaria de Meio Ambiente do Estado do Maranhão

FOTOS DA CAPA:

1. Aspecto hidrológico: pesca nas lagoas intermitentes da planície fluvio-marinha da Baixada Maranhense. Área periurbana da cidade de Anajatuba (MA).
2. Atrativo geoturístico: dunas móveis e lagoas com águas verde-azuladas, com alto potencial turístico. Parque Nacional dos Lençóis Maranhenses, município de Barreirinhas (MA).
3. Aspecto geomorfológico: topos de planaltos, cobertos por plantações de sorgo e vegetação de gramíneas. Rodovia MA-006, município de Tasso Fragoso (MA).
4. Aspecto geotécnico: feição erosiva (ravina) formada em saprólito sedimentar areno-siltoso-argiloso e relevo de colinas dissecadas e morros baixos. Rodovia BR-222, município de Santa Luzia (MA).

Bandeira, Iris Celeste Nascimento.

Geodiversidade do estado do Maranhão / Organização

Iris Celeste Nascimento. – Teresina : CPRM, 2013.

294 p. ; 30 cm + 1 DVD-ROM

Programa Geologia do Brasil. Levantamento da Geodiversidade.

1. Geodiversidade – Brasil – Maranhão. 2. Meio ambiente – Brasil – Maranhão. 3. Planejamento territorial – Brasil – Maranhão. 4. Geologia ambiental – Brasil – Maranhão. I. Título.

CDD 551.098121

APRESENTAÇÃO

Sustentabilidade é um conceito hodiernamente consagrado, intrinsecamente ligado ao desenvolvimento e à sobrevivência das sociedades.

Compreender a sua complexidade e a dinâmica do meio ambiente, rompendo com o processo de desenvolvimento a qualquer custo e adotando o desenvolvimento sustentável, é tarefa do cidadão, do Estado e do setor produtivo.

Para o alcance dessa meta, inevitavelmente, necessita-se dispor de estudos sobre o papel dos recursos naturais e a forma economicamente racional de usá-los, renováveis ou não.

Nesse sentido, a Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – o Serviço Geológico do Brasil –, em estreita parceria com a Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral do Ministério de Minas e Energia, vem conduzindo o levantamento sobre a geodiversidade dos estados brasileiros, com informações sobre o meio físico, concebidas de forma integrada, para as mais diversificadas aplicações no campo da mineração, agricultura, turismo, recursos hídricos, engenharia, planejamento e gestão territorial.

Representa uma contribuição do conhecimento geológico para além de sua conhecida dimensão econômica, estendendo o seu campo de aplicação às áreas social e ambiental.

É na continuidade desse esforço que se insere o Levantamento da Geodiversidade do Estado do Maranhão, em uma clara demonstração de que a CPRM/SGB exerce papel relevante na construção de respostas capazes de criar um quadro de ação que visa a diminuir as pressões sobre o ambiente e os recursos naturais, sem penalizar o desenvolvimento econômico.

Thales de Queiroz Sampaio
Diretor de Hidrologia e Gestão Territorial
CPRM – Serviço Geológico do Brasil

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	09
Pedro Augusto dos Santos Pfaltzgraff, Iris Celeste Nascimento Bandeira	
2. CONTEXTO GEOLÓGICO	15
Elem Cristina dos Santos Lopes, Sheila Gatinho Teixeira	
3. COMPARTIMENTAÇÃO GEOMORFOLÓGICA	31
Marcelo Eduardo Dantas, Edgar Shinzato, Iris Celeste Nascimento Bandeira, Lívia Vargas de Souza, Jennifer Fortes Cavalcante Renk	
4. RECURSOS HÍDRICOS SUPERFICIAIS	63
Cláudio Damasceno de Sousa, Djalena Marques de Melo, Jean Ricardo do Nascimento	
5. RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÂNEOS	77
Adson Brito Monteiro, Francisco Lages Correia Filho João Alberto de Oliveira Diniz, Rafael Rolim de Souza	
6. CARTOGRAFIA DA VULNERABILIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS	91
Paulo Pontes Araújo, Cesar Lisboa Chaves Helder Ribeiro da Silva	
7. RECURSOS MINERAIS	95
Evandro L. Klein	
8. RECURSOS ENERGÉTICOS FÓSSEIS	107
Juliana Ribeiro Vieira, Eliane Petersohn, Marina Abelha	
9. ATRATIVOS GEOTURÍSTICOS, POLOS TURÍSTICOS E UNIDADES DE CONSERVAÇÃO	113
Iris Celeste Nascimento Bandeira, Marcelo Eduardo Dantas	
10. ANÁLISE DE PADRÕES DE RELEVO: UM INSTRUMENTO APLICADO AO MAPEAMENTO DA GEODIVERSIDADE	133
Marcelo Eduardo Dantas	
11. METODOLOGIA E ESTRUTURAÇÃO DA BASE DE DADOS EM SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA	141
Maria Angélica Barreto Ramos, Marcelo Eduardo Dantas, Antonio Theodorovicz, Valter José Marques, Vítório Orlandi Filho, Maria Adelaide Mansini Maia, Pedro Augusto dos Santos Pfaltzgraff	
12. GEODIVERSIDADE: ADEQUABILIDADES/POTENCIALIDADES E LIMITAÇÕES FRENTE AO USO E À OCUPAÇÃO	157
Iris Celeste Nascimento Bandeira	
13. CENÁRIOS DA GEODIVERSIDADE DO MARANHÃO	231
Valter José Marques (<i>valter.marques@cprm.gov.br</i>) Suely Serfaty Marques (<i>suely.marques@cprm.gov.br</i>)	

APÊNDICES

I – DESCRIÇÃO DOS DOMÍNIOS DE GEODIVERSIDADE

II – BIBLIOTECA DE RELEVO DO TERRITÓRIO BRASILEIRO

Marcelo Eduardo Dantas

NOTA SOBRE OS AUTORES



1

INTRODUÇÃO

Pedro Augusto dos Santos Pfaltzgraff (*pedro.augusto@cprm.gov.br*)
Iris Celeste Nascimento Bandeira (*iris.bandeira@cprm.gov.br*)

CPRM – Serviço Geológico do Brasil

SUMÁRIO

Geodiversidade	11
Aplicações.....	12
Referências.....	14

GEODIVERSIDADE

O planeta Terra se comporta como um sistema vivo, por meio de um conjunto de grandes engrenagens que se movimentam, modifica, acolhe e sustenta uma imensidade de seres vivos em sua superfície. A sua “vida” se expressa pelo movimento do planeta no entorno do Sol e de seu eixo de rotação e no movimento interno por meio das correntes de convecção que se desenvolvem abaixo da crosta terrestre. Em decorrência, tem-se, em superfície, a deriva dos continentes, vulcões e terremotos, além do movimento dos ventos e diversos agentes climáticos que atuam na modelagem das paisagens.

Embora seja o sustentáculo para o desenvolvimento da vida na superfície terrestre, o substrato tem recebido menos atenção e estudo que os seres que se assentam sobre ele. Partindo dessa afirmação, são mais antigos e conhecidos o termo e o conceito de biodiversidade que os referentes a **geodiversidade**.

O termo “geodiversidade” foi empregado pela primeira vez em 1993, na Conferência de Malvern (Reino Unido) sobre “Conservação Geológica e Paisagística”. Inicialmente, o vocábulo foi aplicado para gestão de áreas de proteção ambiental, como contraponto a “biodiversidade”, já que havia necessidade de um termo que englobasse os elementos não bióticos do meio natural (SERRANO e RUIZ FLAÑO, 2007). Todavia, essa expressão havia sido empregada, na década de 1940, pelo geógrafo argentino Federico Alberto Daus, para diferenciar áreas da superfície terrestre, com conotação de Geografia Cultural (ROJAS citado por SERRANO e RUIZ FLAÑO, 2007, p. 81).

Em 1997, Eberhard (citado por SILVA et al., 2008a, p. 12) definiu geodiversidade como a *diversidade natural entre aspectos geológicos, do relevo e dos solos*.

O primeiro livro dedicado exclusivamente à temática da geodiversidade foi lançado em 2004. Trata-se da obra de Murray Gray (professor do Departamento de Geografia da Universidade de Londres) intitulada “Geodiversity: Valuing and Conserving Abiotic Nature”. Sua definição de geodiversidade é bastante similar à de Eberhard.

Owen et al. (2005), em seu livro “Gloucestershire Cotswolds: Geodiversity Audit & Local Geodiversity Action Plan”, consideram que:

Geodiversidade é a variação natural (diversidade) da geologia (rochas minerais, fósseis, estruturas), geomorfologia (formas e processos) e solos. Essa variedade de ambientes geológicos, fenômenos e processos faz com que essas rochas, minerais, fósseis e solos sejam o substrato para a vida na Terra. Isso inclui suas relações, propriedades, interpretações e sistemas que se inter-relacionam com a paisagem, as pessoas e culturas.

Em 2007, Galopim de Carvalho, em seu artigo “Natureza: Biodiversidade e Geodiversidade”, assume esta definição:

Biodiversidade é uma forma de dizer, numa só palavra, diversidade biológica, ou seja, o conjunto dos seres

vivos. É, para muitos, a parte mais visível da natureza, mas não é, seguramente, a mais importante. Outra parte, com idêntica importância, é a geodiversidade, sendo esta entendida como o conjunto das rochas, dos minerais e das suas expressões no subsolo e nas paisagens. No meu tempo de escola ainda se aprendia que a natureza abarcava três reinos: o reino animal, o reino vegetal e o reino mineral. A biodiversidade abrange os dois primeiros e a geodiversidade, o terceiro.

Geodiversidade, para Brilha et al. (2008), é a *variedade de ambientes geológicos, fenômenos e processos activos que dão origem a paisagens, rochas, minerais, fósseis, solos e outros depósitos superficiais que são o suporte para a vida na Terra*.

No Brasil, os conceitos de geodiversidade se desenvolveram praticamente de forma simultânea ao pensamento internacional, entretanto, com foco direcionado para o planejamento territorial, embora os estudos voltados para geoconservação não sejam desconsiderados (SILVA et al., 2008a).

Na opinião de Veiga (2006), a *geodiversidade expressa as particularidades do meio físico, abrangendo rochas, relevo, clima, solos e águas, subterrâneas e superficiais*.

A Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais/Serviço Geológico do Brasil (CPRM/SGB) define geodiversidade como:

O estudo da natureza abiótica (meio físico) constituída por uma variedade de ambientes, composição, fenômenos e processos geológicos que dão origem a paisagens, rochas, minerais, águas, fósseis, solos, clima e outros depósitos superficiais que propiciam o desenvolvimento da vida na Terra, tendo como valores intrínsecos a cultura, o estético, o econômico, o científico, o educativo e o turístico (CPRM, 2006).

Já autores como Xavier da Silva e Carvalho Filho (citados por SILVA et al., 2008a, p. 12) apresentam definições diferentes da maioria dos autores nacionais e internacionais, definindo geodiversidade a partir da *variabilidade das características ambientais de uma determinada área geográfica*.

Embora os conceitos de geodiversidade sejam menos conhecidos do grande público que os de biodiversidade, esta é dependente daquela, conforme afirmam Silva et al. (2008a, p. 12):

A biodiversidade está assentada sobre a geodiversidade e, por conseguinte, é dependente direta desta, pois as rochas, quando intemperizadas, juntamente com o relevo e o clima, contribuem para a formação dos solos, disponibilizando, assim, nutrientes e micronutrientes, os quais são absorvidos pelas plantas, sustentando e desenvolvendo a vida no planeta Terra. Em síntese, pode-se considerar que o conceito de geodiversidade abrange a porção abiótica do geossistema (o qual é constituído pelo tripé que envolve a análise integrada de fatores abióticos, bióticos e antrópicos) (Figura 1.1).



Figura 1.1 - Relação de interdependência entre os meios físico, biótico e a sociedade.

APLICAÇÕES

O conhecimento da geodiversidade nos leva a identificar, de maneira mais segura, as aptidões e restrições de uso do meio físico de uma área, bem como os impactos advindos de seu uso inadequado. Além disso, ampliam-se as possibilidades de melhor conhecer os recursos minerais, os riscos geológicos e as paisagens naturais inerentes a determinada região composta por tipos específicos de rochas, relevo, solos e clima. Dessa forma, obtém-se um diagnóstico do meio físico e de sua capacidade de suporte para subsidiar atividades produtivas sustentáveis (Figura 1.2).

Exemplos práticos da importância do conhecimento da geodiversidade de uma região para subsidiar o aproveitamento e a gestão do meio físico podem ser vistos no estado do Maranhão, o qual é composto, em sua maior parte, por rochas sedimentares de textura arenoargilosa, sobre as quais, em relevo plano a suave ondulado e em clima tropical e equatorial (porção oriental do estado), formam-se solos profundos (Figura 1.3), com baixa fertilidade natural, excessivamente ácidos e com baixa capacidade para reter nutrientes. No entanto, a forma de relevo plana possibilita que os processos pedogenéticos sobreponham-se aos morfogenéticos, formando, assim, solos espessos, com média a alta porosidade, alta permeabilidade, baixo potencial de erosão hídrica, propícios a uma agricultura sem impedimento ao uso de maquinários motorizados. Ressalta-se, no entanto, que essa atividade deverá ser bem planejada, para que fertilizantes químicos não contaminem as águas subterâneas subjacentes.

O conhecimento e a consideração das características dos materiais geológicos formadores do substrato, assim como a dinâmica ambiental dos recursos hídricos de uma região, auxiliam na indicação de aptidões e restrições de uso desses materiais, como também apontam alguma forma de prevenção. Por exemplo, as planícies fluviolagunares (Figura 1.4), sazonalmente alagadas, da Baixada Maranhense, com declividade e amplitude baixas, são constituídas de material argiloso inconsolidado, mole, com baixa capacidade de suporte, que se compacta e deforma bastante quando submetido a cargas elevadas. Portanto, com restrições à ocupação urbana e implantação de edificações, as quais podem apresentar problemas de trincamentos e abatimentos frequentes.

Grandes projetos nacionais na área de infraestrutura já se utilizam do conhecimento sobre a geodiversidade da área proposta para sua implantação. Como exemplo,



Figura 1.2 - Principais aplicações da geodiversidade
Fonte: Silva et al. (2008b, p. 182).



Figura 1.3 - Latossolo Amarelo desenvolvido em relevo plano e clima tropical, com potencial para agricultura mecanizada. Rodovia BR-316, município de Caxias (MA).



Figura 1.4 - Planície fluviolagunar, parcialmente coberta por água pluvial, vegetação de pasto e palmeiras de babaçu ao fundo. Rodovia BR-222, município Arari (MA).

o levantamento ao longo do percurso planejado para as ferrovias Transnordestina, Este-Oeste e Norte-Sul, onde o conhecimento das características da geodiversidade da região se faz importante para escolha não só dos métodos construtivos do empreendimento como também para o aproveitamento econômico das regiões no entorno desses projetos.

Convém ressaltar que o conhecimento da geodiversidade implica o conhecimento do meio físico no tocante às suas limitações e potencialidades, possibilitando a planejadores e administradores uma melhor visão do tipo de aproveitamento e do uso mais adequado para determinada área ou região.

REFERÊNCIAS

- BRILHA, J.; PEREIRA, D.; PEREIRA, P. **Geodiversidade: valores e usos**. Braga: Universidade do Minho, 2008.
- CPRM. **Mapa geodiversidade do Brasil**. Brasília, DF: CPRM, 2006. Escala 1:2.500.000. Legenda expandida. 1 CD-ROM.
- GALOPIM DE CARVALHO, A.M. **Natureza: biodiversidade e geodiversidade**. [S.l.: s.n.], 2007. Disponível em: <<http://terraquegira.blogspot.com/2007/05/natureza-biodiversidade-e.html>>. Acesso em: 25 jan. 2010.
- GRAY, M. **Geodiversity: valuing and conserving abiotic nature**. New York: John Wiley & Sons, 2004. 434 p.
- OWEN, D.; PRICE, W.; REID, C. **Gloucestershire cotswolds: geodiversity audit & local geodiversity action plan**. Gloucester: Gloucestershire Geoconservation Trust, 2005.
- SERRANO CAÑADAS, E.; RUIZ FLAÑO, P. Geodiversidad: concepto, evaluación y aplicación territorial: el caso de Tiermes-Caracena (Soria). **Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles**, La Rioja, n. 45, p. 79-98, 2007.
- SILVA, C.R.; RAMOS, M.A.B.; PEDREIRA, A.J.; DANTAS, M.E. Começo de tudo. In: SILVA, C.R. da (Ed.). **Geodiversidade do Brasil: conhecer o passado, para entender o presente e prever o futuro**. Rio de Janeiro: CPRM, 2008a. 264 p. il. p. 11-20.
- SILVA, C.R.; MARQUES, V.J.; DANTAS, M.E.; SHINZATO, E. Aplicações múltiplas do conhecimento da geodiversidade. In: SILVA, C.R. da (Ed.). **Geodiversidade do Brasil: conhecer o passado, para entender o presente e prever o futuro**. Rio de Janeiro: CPRM, 2008b. 264 p. il. p. 181-202.
- XAVIER DA SILVA, J.; CARVALHO FILHO, L.M. Índice de geodiversidade da restinga da Marambaia (RJ): um exemplo do geoprocessamento aplicado à geografia física. **Revista de Geografia**, Recife: DCG/UFPE, v. 1, p. 57-64, 2001.
- VEIGA, T. A geodiversidade do cerrado. **Pequi**, Brasília, DF, 2006. Disponível em: <<http://www.pequi.org.br/geologia.html>>. Acesso em: 25 jan. 2010.

2

CONTEXTO GEOLÓGICO

Elem Cristina dos Santos Lopes (*elem.lopes@cprm.gov.br*)

Sheila Gatinho Teixeira (*sheila.teixeira@cprm.gov.br*)

CPRM – Serviço Geológico do Brasil

SUMÁRIO

Introdução	17
Rochas Pré-Cambrianas	19
Fragmento Cratônico São Luís	19
Cinturão Gurupi	22
Rochas e Sedimentos Fanerozoicos	23
Bacia Sedimentar do Parnaíba	23
Rochas da era paleozoica.....	24
Rochas da era mesozoica.....	25
Bacia Sedimentar Sanfranciscana	25
Rochas da era cenozoica.....	26
Referências.....	27

INTRODUÇÃO

O estado do Maranhão é predominantemente composto por rochas sedimentares e sedimentos, sendo que, na porção noroeste, possui rochas de origem ígnea e metamórfica. Rochas sedimentares e sedimentos são formados por fragmentos e grãos de rochas preexistentes (como as rochas ígneas e metamórficas e as próprias rochas sedimentares). Tais fragmentos se acumulam em depressões da superfície terrestre denominadas bacias sedimentares.

As rochas ígneas são formadas a partir de material fundido existente a grandes profundidades, que, em situações especiais, extravasa na superfície do planeta, como, por exemplo, os vulcões. Já as rochas metamórficas sofreram alterações físico-químicas no estado sólido (transformações minerais, de textura, estrutura etc.) e deram origem a uma nova rocha, com características distintas das apresentadas antes de sofrerem metamorfismo.

Essa variedade de rochas é produto de vários ambientes existentes na superfície terrestre, os quais estão intimamente relacionados à teoria da tectônica de placas, proposta por Alfred Wegener em 1915, segundo a qual todos os continentes estiveram unidos no passado, separando-se posteriormente (deriva continental).

Somente nas décadas de 1950 e 1960, com o aperfeiçoamento das técnicas de geocronologia e estudos magnéticos, surgiram subsídios e provas das forças que movimentam as massas continentais. Os continentes estão localizados nas placas tectônicas – conjunto de blocos gigantes que compõem a superfície sólida da Terra (litosfera) (Figura 2.1) –, que se movimentam de forma divergente, convergente ou lateralmente entre si (Figura 2.2), em decorrência das forças de arrasto das correntes de convecção do manto (astenosfera).

A aglutinação e a fragmentação de massas continentais (ou placas tectônicas) ocorreram diversas vezes no

passado geológico (Quadro 2.1). Os primeiros blocos de crosta continental se formaram há 3,96 bilhões de anos e foram crescendo com o desenvolvimento de nova crosta continental, até atingirem as dimensões atuais (SCHOBENHAUS; BRITO NEVES, 2003; TASSINARI, 2000).

Há dois bilhões de anos, as massas continentais estavam reunidas em três microcontinentes: Ártica, Atlântica e Ur (Figura 2.3). Entre 2 e 1 bilhão de anos, esses microcontinentes se fragmentaram e colidiram entre si, para gerar novas configurações continentais maiores, denominado supercontinente Colúmbia (Figura 2.4) (SCHOBENHAUS; BRITO NEVES, 2003). Entre 1,3 e 1 bilhão de anos atrás, os principais blocos de crosta continental se juntaram, originando o primeiro supercontinente, chamado Rodínia (Figura 2.5), rodeado pelo oceano Miróvia (SCHOBENHAUS; BRITO NEVES, 2003; TASSINARI, 2000).

Entre 1.000 e 800 milhões de anos (Ma), o Rodínia se fragmentou. Entre 800 e 500 Ma, os fragmentos colidiram entre si, formando o supercontinente Gondwana e dois outros menores: Laurência-Báltica e Sibéria. Há 550 Ma, esses três continentes estiveram juntos por curto período de tempo, formando o supercontinente Panótia. Há cerca de 500 Ma, Panótia se fragmentou, permanecendo o Gondwana inteiro unido à América do Sul e à África e outra grande massa continental constituída por Laurência-Báltica, Sibéria, América do Norte, Europa e Ásia.

Aproximadamente há 340 Ma, todas as massas continentais existentes começaram a se juntar novamente, culminando, há cerca de 230 Ma, na formação do supercontinente Pangeia, circundado por um único oceano, denominado Pantalassa. Desde cerca de 200 Ma, o Pangeia veio se fragmentando. A América do Sul e África começaram a se separar em 180 Ma, a uma velocidade em torno de alguns centímetros por ano, até chegar à configuração atual.

As rochas ígneas, metamórficas e sedimentares se formam em diversos ambientes ao longo da crosta terres-

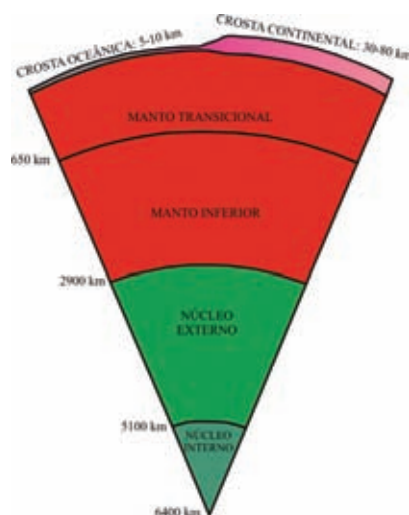


Figura 2.1 - Estrutura interna da Terra. Fonte: Modificado de Tassinari (2000).



Figura 2.2 - Distribuição geográfica das placas tectônicas e dos continentes na superfície terrestre.

Fonte: Modificado de Tassinari (2000).

Nota: As setas azuis indicam o sentido de movimento atual das placas.

Quadro 2.1 – Escala do tempo geológico e os principais eventos da evolução da Terra.

Subdivisão do Tempo Geológico		Idade (em milhões de anos)	Eventos		
ÉON ARQUEANO		4.560-4.000	Formação da Terra, com estruturação do núcleo, manto e crosta.		
		4.200-4.100	Mais antigos materiais terrestres.		
		4.030-3.960	Mais antigas rochas preservadas na Terra (no Canadá).		
		4.000-2.500	A tectônica de placas é uma dança frenética de pequenas placas.		
		3.800	Mais antigas evidências de vida?		
		3.500	Mais antigos vestígios de vida (fósseis).		
		2.500	Consolidação final dos primeiros grandes continentes.		
ÉON PROTEROZOICO	Era Paleoproterozoica	2.500	Fósseis, granitos e rochas carbonáticas tornam-se mais comuns.		
		2.100	Primeira evidência de clima glacial em grande escala.		
		2.500 a 2.100	A tectônica global avança, passando de um regime de pequena para grandes placas. Isso vai se estender até o fim do "Ano-Terra".		
	Era Mesoproterozoica	2.500	Em função da expansão de micróbios fotossintetizadores nos mares, a atmosfera se torna oxidante após longo período de transição. Depositaram-se os maiores depósitos de ferro conhecidos, como Quadrilátero Ferrífero (MG) e Serra dos Carajás (PA). Surgem os primeiros organismos eucarióticos em um mundo dominado por procariontes.		
	Era Neoproterozoica	1.000	Os organismos eucarióticos começam a se diversificar (advento da sexualidade).		
		545	Mais antigas evidências de animais invertebrados, de "corpo mole", desprovidos de conchas ou carapaças.		
ÉON FANEROZOICO	Era Paleozoica	Cambriano	545-448	Explosão adaptativa de invertebrados com conchas e carapaças.	
		Ordoviciano	448-443	Plantas não vasculares aparecem nos continentes. Os peixes despontam no meio aquático. Os grandes paleocontinentes do Paleozoico (Gondwana, Laurência, Báltica e outros) tomam forma.	
		Siluriano	443-416	Plantas vasculares iniciam a conquista dos continentes.	
		Devoniano	416-359	Os continentes paleozoicos colidem, agregando-se no supercontinente Pangeia. Formam-se grandes cadeias montanhosas, como Apalaches, Urais, pré-Cordilheira Andina. Os primeiros vertebrados saem da água (anfíbios). Aparecem as primeiras florestas de plantas vasculares primitivas e as primeiras plantas com sementes (gimnospermas).	
		Carbonífero	359-299	Primeiros répteis. Florestas pantanosas de licófitas, astenófitas e samambaias fornecem material para grandes depósitos de carvão.	
		Permiano	299-251	Ocorre uma grande extinção.	
	Era Mesozoica	Triássico	251-199	O supercontinente Pangeia começa a se desagregar, dando origem aos continentes modernos. Os répteis diversificam-se. Surgem os dinossauros e os mamíferos.	
		Jurássico	199-145	No processo do dismantelamento do Pangeia, a América do Sul separa-se da África e migra para sua posição atual, juntamente com os outros continentes.	
		Cretáceo	145-65	Surgem as plantas com flores (angiospermas), que rapidamente dominam a flora continental. Extinção dos dinossauros e muitos organismos.	
	Era Cenozoica	Período Paleógeno	Paleoceno	65-55	Domínio dos mamíferos, angiospermas e insetos. Forte intemperismo das rochas pré-cambrianas e fanerozoicas, originando os grandes depósitos lateríticos bauxíticos e fosfáticos.
			Eoceno	55-33	
			Oligoceno	33-23	
		Período Neógeno	Mioceno	23-5.3	Grande transgressão e regressão marinha na costa brasileira.
			Plioceno	5.3-2.5	Ocorreu nova transgressão marinha.
		Período Quaternário	Pleistoceno	2.5 milhões de anos até 10 mil anos	Há 2 milhões de anos, os primeiros membros de nosso gênero (Homo) aparecem na África.
		Holoceno	10 mil anos até hoje		

Fonte: Modificado de Teixeira et al. (2000).

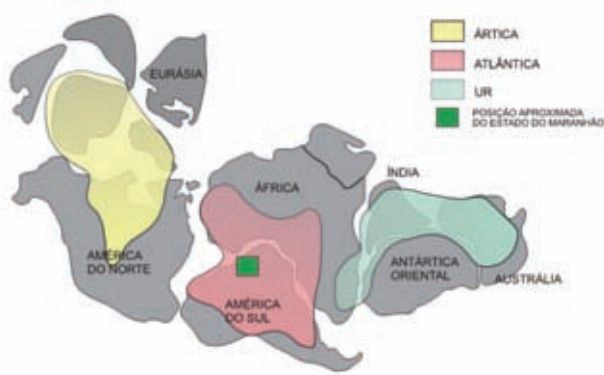


Figura 2.3 - Configuração dos microcontinentes Ártica, Atlântica e Ur, com a posição aproximada do estado do Maranhão.
Fonte: Modificado de Schobbenhaus e Brito Neves (2003).

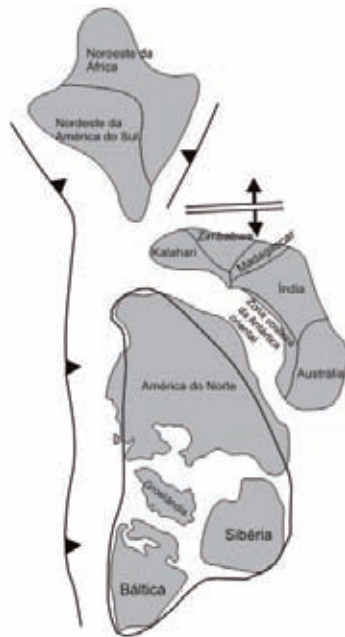


Figura 2.4 - Configuração do supercontinente Colúmbia.
Fonte: Modificado de Schobbenhaus e Brito Neves (2003).



Figura 2.5 - Configuração do supercontinente Rodínia.
Fonte: Modificado de Scotese, C.R. Paleomap project (disponível em: <<http://www.scotese.com/>>).

tre e das placas tectônicas (Figura 2.6). Simplificadamente, as rochas ígneas se originam devido à fusão de material rochoso ou de material diretamente expelido do manto. Já as rochas metamórficas se originam no contato entre duas placas – a compressão gerada pelo choque entre elas deforma e recristaliza minerais, podendo, inclusive, fundir rochas preexistentes. As rochas sedimentares são acumuladas em depressões na crosta continental ou oceânica e são constituídas por minerais e fragmentos de rochas que são carreados por meio de agentes exógenos, como rios, mares, vento etc.

Para diferenciar os diversos tipos de rochas e sedimentos, na elaboração de mapas geológicos são designadas cores distintas às unidades (formação rochosa, depósitos ou coberturas) que possuem características, origens e idades diferenciadas, como se observa no mapa geológico simplificado do estado do Maranhão (Figura 2.7). Com relação à nomenclatura, os nomes atribuídos a essas unidades são devidos ao lugar em que foram descritas, como Formação Codó (nome do município maranhense em que se registra a ocorrência dessa formação). Se um conjunto de formações possuir ambientes de geração relacionados, recebe a denominação de grupo, a exemplo do Grupo Balsas, composto pelas formações Piauí, Pedra de Fogo, Motuca e Sambaíba.

Para facilitar o entendimento sobre a diversidade de rochas que compõem o estado do Maranhão, o texto foi dividido em dois grandes grupos: Rochas Pré-Cambrianas e Rochas e Sedimentos Fanerozoicos.

ROCHAS PRÉ-CAMBRIANAS

As rochas mais antigas aflorantes no estado do Maranhão situam-se, principalmente, na porção noroeste. Entretanto, na porção norte, mais especificamente nas cercanias da cidade de Rosário, aflora um pequeno corpo granítico. Esse conjunto rochoso apresenta uma história geológica condicionada a duas unidades geotectônicas – Cráton São Luís e Cinturão Gurupi –, que englobam rochas com idades entre 2,25-2,10 bilhões de anos (era paleoproterozoica), 2,17 bilhões de anos até 545 milhões de anos (era mesoproterozoica) (Figura 2.8).

Fragmento Cratônico São Luís

Cráton é uma região geologicamente estável, sobre a qual se assentam outras estruturas geológicas, possuindo raízes profundas no manto da Terra. Nesse contexto se encontram as rochas paleoproterozoicas do Cráton São Luís. Essa unidade geológica é composta por rochas ígneas e metamórficas, diferenciadas em Grupo Aurizona, Granófiro Piaba, Suíte Intrusiva Tromaí, Suíte Intrusiva Rosário, Unidade Vulcânica Serra do Jacaré, Formação Rio Diamante, Granito Negra Velha e Unidade Vulcânica Rosilha.

O Grupo Aurizona é formado por rochas vulcânicas metamorfizadas (Figura 2.9), originadas em arco de ilhas (KLEIN, 2004), tal como hoje são Japão e Filipinas, com ida-

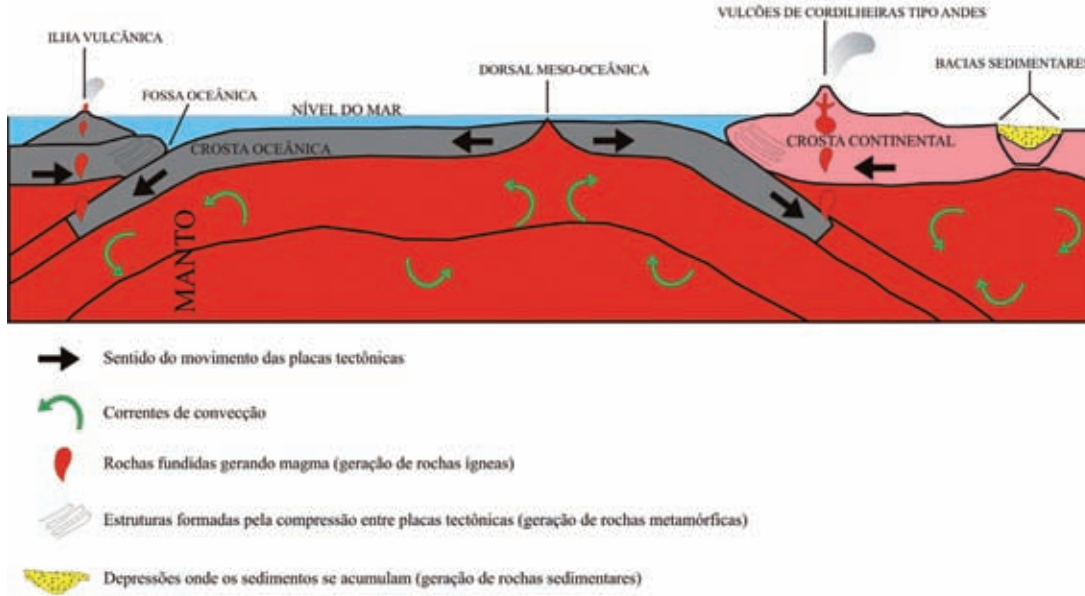


Figura 2.6 - Ambientes existentes na crosta terrestre e que possibilitam a criação e sedimentação de vários tipos de rochas. Fonte: Modificado de Tassinari (2000).

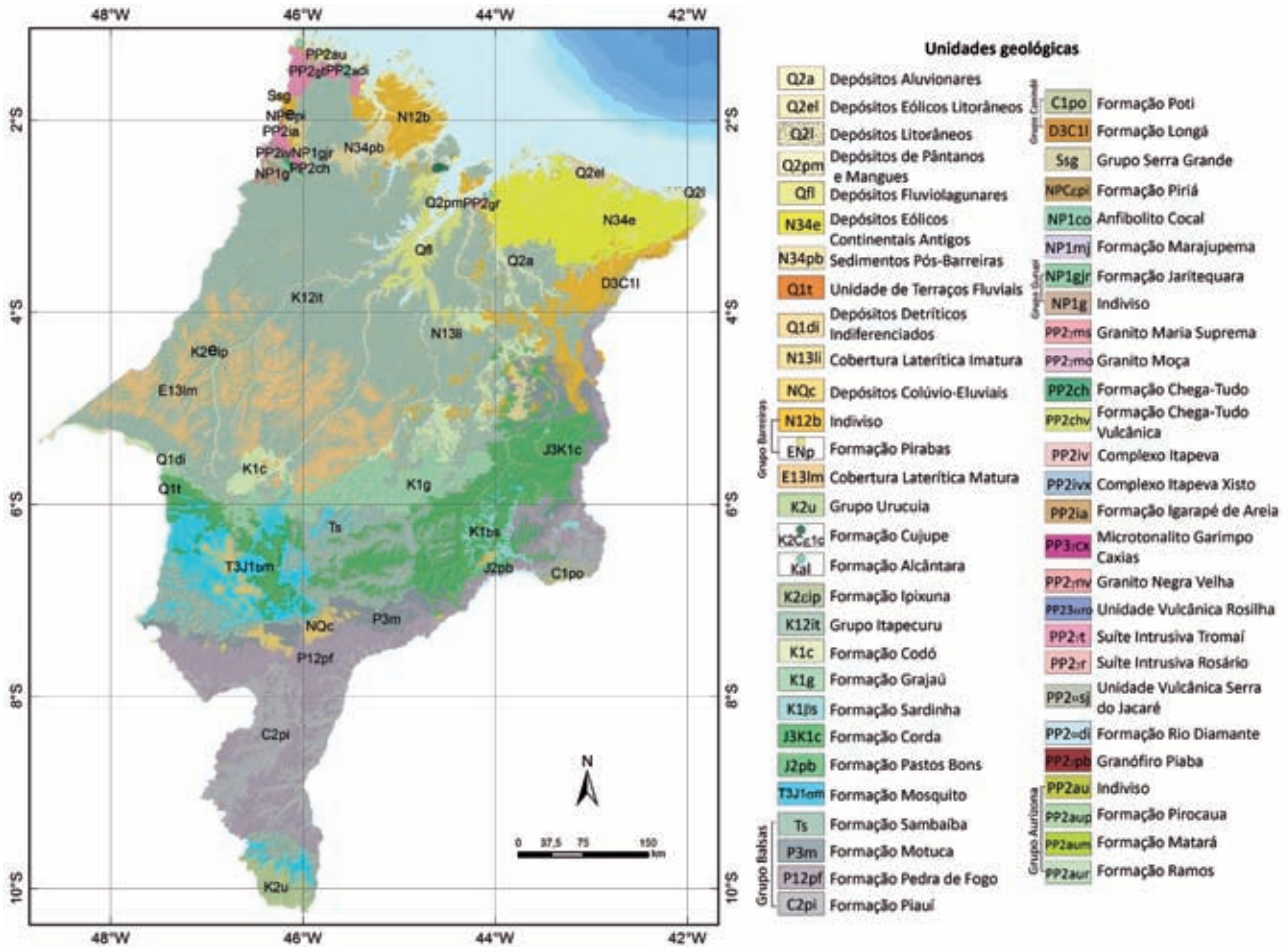


Figura 2.7 - Mapa geológico do estado do Maranhão (simplificado). Fonte: Klein e Sousa (2012).

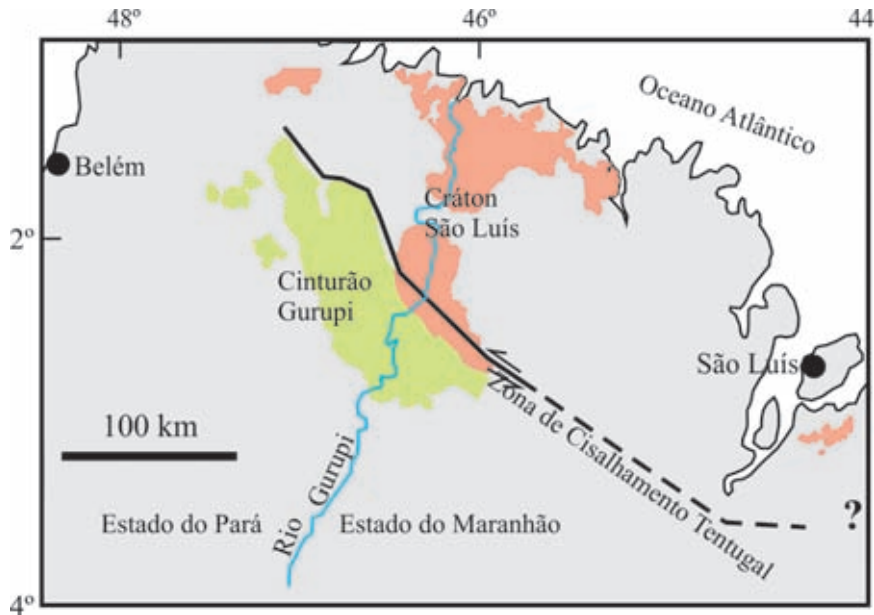


Figura 2.8 - Limites do cráton São Luís e cinturão Gurupi.

de de 2.240 Ma (KLEIN; MOURA, 2001). Klein et al. (2008a) propuseram a subdivisão do grupo em três formações: Matará, Pirocaua e Ramos.

A Formação Matará (KLEIN et al., 2008a) engloba as rochas metavulcânicas básicas e ultrabásicas do Grupo Aurizona e inclui anfíbolito, xistos máficos, tremolita-xisto e talco-tremolita-xisto. Estruturalmente, são caracterizadas pela presença de xistosidade.

A Formação Pirocaua (KLEIN et al., 2008a) engloba o conjunto de rochas piroclásticas e vulcânicas ácidas metamorfizadas que incluem metatufo félsico/riolítico, tufo cinerítico, aglomerado vulcânico, riolito, dacito e felsitos. Em geral, são rochas com foliação bem desenvolvida.

A Formação Ramos (KLEIN et al., 2008a) engloba as rochas metassedimentares do Grupo Aurizona, como quartzito (puro, ferruginoso ou manganífero), quartzito ± muscovita ± clorita-xistos, filito, filito grafitoso, metassilito manganífero, metachert puro ou ferruginoso ou grafitoso, metarenito e grauvacalítica.

O Granófiro Piaba ocorre na área do depósito aurífero de Piaba e corresponde a granitoides finos com textura granofírica e composição granodiorítica a tonalítica, que se intrudem no Grupo Aurizona e apresentam idade de 2214 ± 3 Ma (KLEIN et al., 2008a; MINERAÇÃO AURIZONA S/A, 1995).

A Suíte Intrusiva Tromai é um grande corpo ígneo, com variada composição mineralógica (Figura 2.10), decorrente de duas fontes distintas: uma parte seria do manto terrestre e outra, de uma placa oceânica preexistente fundida (KLEIN, 2004). Tais eventos ocorreram entre 2.168 a 2.147 Ma (KLEIN, 2004; KLEIN; MOURA, 2001).

A Suíte Rosário (GORAYEB; ABREU, 1996; RODRIGUES et al., 1994) é um conjunto de granitoides (tonalitos e granodioritos) que sofreram metamorfismo. Possuem idade variando de 2.079 a 2.130 Ma (GORAYEB et al., 1999).

A Unidade Vulcânica Serra do Jacaré é composta por rochas vulcânicas e, subordinadamente, rochas vulcanoclásticas de composição ácida a predominantemente intermediária (raramente básica), não metamorfizadas, que afloram principalmente na porção sudoeste da área de ocorrência do Grupo Aurizona. Possuem idade variando de 2,37 a 2,38 Ma (KLEIN et al., 2009).

A Formação Rio Diamante é constituída por rochas vulcânicas ácidas não metamorfizadas (Figura 2.11), que formam, predominantemente, derrames e, secundariamente, depósitos vulcanoclásticos. Essas rochas foram formadas em margem continental, a partir do retrabalhamento de rochas de arco de ilhas não muito mais antigas. Possuem idade de 2160 ± 8 Ma (KLEIN et al., 2008a; KLEIN et al., 2009).

O Granito Negra Velha (KLEIN et al., 2008a) engloba dois corpos de granitoides expostos às margens do igarapé Negra Velha. O tipo petrográfico predominante é o monzo-



Figura 2.9 - Tufo dacítico do grupo Aurizona.
Fonte: Klein et al. (2008a).



Figura 2.10 - Rocha granítica da suíte intrusiva Tromai.
Fonte: Klein e Lopes (2011).



Figura 2.11 - Vulcânicas ácidas da formação rio Diamante.
Fonte: Klein et al. (2008a).

granito, ocorrendo também sienogranito e quartzomonzonito. Dados geocronológicos em zircão (KLEIN et al., 2008b), embora pouco precisos, indicam claramente que a intrusão do Granito Negra Velha ocorreu entre 2056-2076 Ma.

A Unidade Vulcânica Rosilha é uma denominação informal proposta por Klein et al. (2008a) para as rochas vulcânicas e vulcanoclásticas que ocorrem na área do Igarapé e garimpo Rosilha. Petrograficamente, as rochas são riolitos, dacitos e tufos líticos de cristal. Uma tentativa preliminar de datação de amostra dessa unidade (KLEIN et al., 2009) mostrou idades entre 1920 ± 9 Ma e 2068 ± 7 Ma por evaporação de Pb, não sendo possível a definição de uma idade mais precisa até o momento.

Cinturão Gurupi

A designação “cinturão” é dada a uma faixa estreita e alongada localizada na borda sul-sudeste do Cráton São Luís, caracterizada por um conjunto de rochas metamórficas e ígneas formadas a partir da colisão de duas placas tectônicas pretéritas. O cinturão apresenta fragmentos retrabalhados do Cráton São Luís e de porções do embasamento sobre o qual as rochas do cinturão se desenvolveram.

O Cinturão Gurupi é composto por: Complexo Itapeva, Formação Chega Tudo, Formação Igarapé de Areia, Granito Maria Suprema, Granito Moça, Grupo Gurupi (Formação Jaritequara), Formação Marajupema, Anfibolito Cocal e Formação Piriá.

O Complexo Itapeva é composto por rochas ígneas (tonalitos e granodioritos) metamorfizadas gerando gnaiesses (Figura 2.12). Às vezes, são identificados xistos grossos derivados de rochas sedimentares denominados Itapeva Xisto (KLEIN; LOPES, 2012). Essas rochas apresentam idade de 2.167 Ma (KLEIN et al., 2005).

A Formação Chega Tudo é constituída por alternâncias de variadas rochas vulcânicas (ígneas), como dacitos, andesitos, tufos com rochas sedimentares que foram metamorfizadas e datadas com idade entre 2.148 e 2.160 Ma (KLEIN; MOURA, 2001).

A Formação Igarapé de Areia compõe-se de arenitos depositados sobre a Formação Chega Tudo, que, devido

a processos tectônicos, foram juntamente deformadas, originando metarenitos (Figura 2.13) (KLEIN; LOPES, 2012).

O Granito Maria Suprema, formado por pequenos corpos de muscovita-granito intrusivos no Complexo Itapeva, possui idade de 2.100 Ma (KLEIN; MOURA, 2001).

Granito Moça são rochas ígneas (sienogranito e monzogranito) intrusivas no Complexo Itapeva, com idade de 2.099 Ma (KLEIN; LOPES, 2012).

A Formação Jaritequara (Grupo Gurupi) é composta por sedimentos finos (Figura 2.14) de uma bacia marinha marginal (COSTA et al., 1996), que foram metamorfizados, gerando xistos micáceos e quartzosos (COSTA; RICCI, 2000).

A Formação Marajupema é constituída por arenitos depositados em margem continental, que, metamorfizados, geraram um quartzito feldspático (KLEIN, 2004), de idade variando de 2.635 a 1.100 Ma (KLEIN et al., 2005).

Outra porção indivisa do Grupo Gurupi (composta por xistos alterados, sem identificação de seu protólito, ígneo ou sedimentar) foi cartografada por Klein e Lopes (2012).

O Anfibolito Cocal corresponde a rochas ígneas básicas metamorfizadas (Figura 2.15), com idade de 1 Ga (KLEIN; LOPES, 2012).

A Formação Piriá é composta por arenitos arcoseanos (Figura 2.16), pelitos e, subordinadamente, conglomerados, grauvacas e subarcóseos. Truckenbrodt et al. (2005) atribuíram-lhe ambiente de deposição em águas rasas (lacustres? marinhas?), sobre plataforma relativamente estável, a partir de áreas-fonte predominantemente constituídas por rochas metamórficas próximas aos depocentros. A idade de sedimentação da Formação Piriá ainda carece de definição mais precisa. Cristais detríticos de zircão, oriundos de um conglomerado aflorante no vizinho estado do Pará e atribuído à Formação Piriá, indicam idade máxima para a deposição do conglomerado em torno de 1.500 Ma (LUCAS, 2009). No entanto, Klein e Lopes (2012), a partir de revisão dos estudos de Pinheiro et al. (2003), consideram que a idade limite para a sedimentação dessa unidade seria 550 Ma.



Figura 2.12 - Rocha gnáissica dobrada do complexo Itapeva.
Fonte: Klein e Lopes (2012).

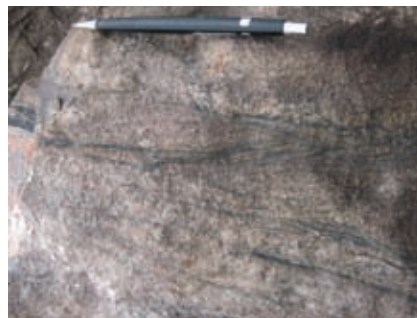


Figura 2.13 - Metarenito da formação Igarapé de Areia, preservando estratificação.
Fonte: Klein e Lopes (2012).



Figura 2.14 - Xistos siltosos intercalados com filito do grupo Gurupi.
Fonte: Klein e Lopes (2012).

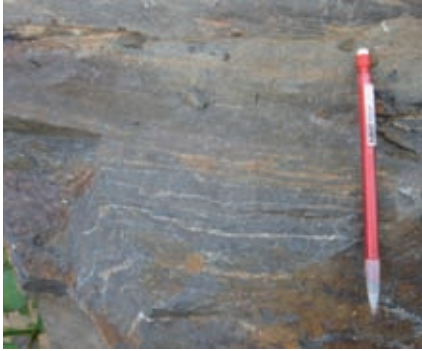


Figura 2.15 - Rocha ígnea básica metamorfozada em fácies anfibolito da unidade Anfibolito Cocal.
Fonte: Klein e Lopes (2011).

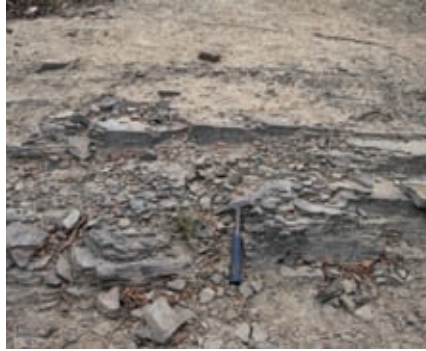


Figura 2.16 - Arenito arcoseano laminado da formação Piriá.
Fonte: Klein e Lopes (2012).

ciscana e São Luís) e as Coberturas Superficiais Cenozoicas (Figura 2.17).

Bacia Sedimentar do Parnaíba

A Bacia do Parnaíba possui certa peculiaridade na sedimentação de seus litótipos. Uma parte foi depositada na era paleozoica (grupos Serra Grande, Canindé e Balsas), durante a junção/formação do grande continente Pangeia. Após a fragmentação dessa grande massa continental, na era mesozoica, evoluindo para formar o atual oceano

Atlântico, depositaram-se as rochas das formações Mosquito, Pastos Bons, Corda, Grajaú, Codó, Itapecuru, Ipixuna e Sedimentos Cenozoicos até os dias atuais, inclusive a formação das bacias costeiras brasileiras, de onde se extrai petróleo e gás natural.

ROCHAS E SEDIMENTOS FANEROZOICOS

As rochas sedimentares ocupam aproximadamente 98% do estado do Maranhão, englobando os domínios tectônicos das bacias sedimentares (Parnaíba, Sanfran-

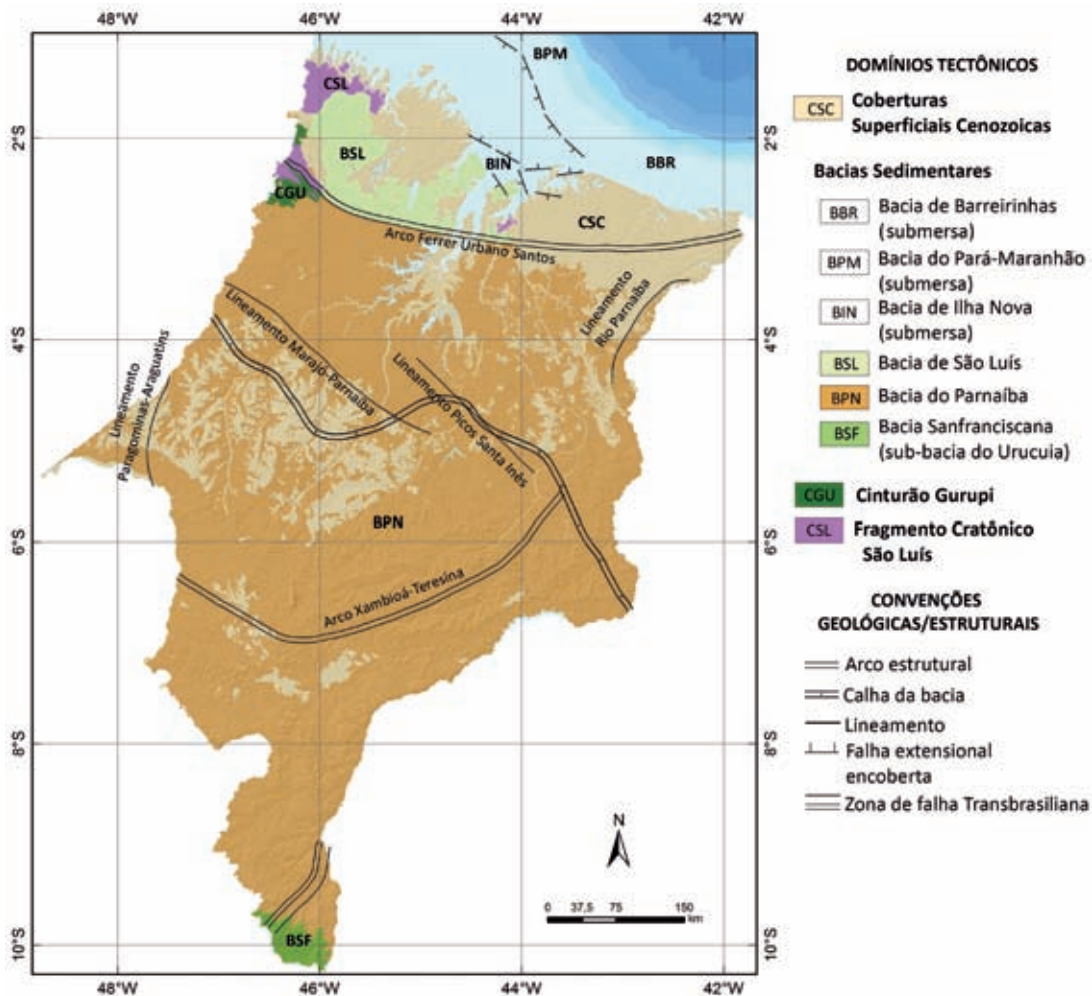


Figura 2.17 - Domínios tectônicos do estado do Maranhão.
Fonte: Klein e Sousa (2012).

Rochas da era paleozoica

Grupo Serra Grande

Esse grupo é composto por rochas das formações Ipu, Tianguá e Jaicós, com idade entre 443 a 416 Ma (Período Siluriano). Somente uma área pequena (0,025%) desse grupo aflora no noroeste do estado do Maranhão.

A Formação Ipu é composta por arenitos, conglomerados, arenitos conglomeráticos e diamictitos, depositados em ambientes de leques deltaicos e frente de leque deltaico, no interior da Bacia do Parnaíba, e marinho raso nas partes distais (CAPUTO; LIMA, 1984).

A Formação Tianguá é composta por folhelho preto a cinza-escuro; arenito, com intercalações de folhelho; folhelho e siltito intercalados, depositados em ambiente marinho raso (CAPUTO; LIMA, 1984).

A Formação Jaicós é constituída por arenitos médios a conglomeráticos, depositados em leques aluviais e *fandeltas* (CAPUTO; LIMA, 1984), e eventuais pelitos, depositados por sistemas de rios entrelaçados no final do Siluriano (GÓES; FEIJÓ, 1994).

Grupo Canindé

As rochas que compõem esse grupo são as formações Itaim, Pimenteiras, Cabeças, Longá e Poti. Porém, somente as formações Longá e Poti afloram em pequenas áreas do nordeste e oeste do estado do Maranhão.

A Formação Longá é constituída por folhelhos cinza-escuro, pretos a roxos; siltitos argilosos; arenitos e siltitos cinza-claro a esbranquiçados (LIMA; LEITE, 1978), depositados em ambiente costeiro-deltaico dominado por ondas e tempestades (LOBATO; BORGHI, 2007). Essas rochas possuem idade de 374 Ma (Estágio Fameniano, Período Devoniano) a 345 Ma (Estágio Tournaisiano, Período Carbonífero) (LIMA; LEITE, 1978, LOBOZIAK et al., 2000; MELO et al., 1998).

A Formação Poti é composta por arenitos cinza-esbranquiçado, com intercalações esparsas de siltito cinza-claro, e arenitos finos a médios, cinza, com camadas de siltito e folhelhos carbonosos (LIMA; LEITE, 1978). Essas rochas foram depositadas em ambiente de origem marinha, de águas rasas, ambiente fluvial e ambiente fluviodeltaico, com influência marinha (LIMA; LEITE, 1978). De acordo com Melo e Loboziak (2000), essa formação tem idade variando de 345 a 326 Ma (Estágio Viseano, Período Carbonífero).

Grupo Balsas

É composto por rochas das formações Piauí, Pedra de Fogo, Motuca e Sambaíba. Essas formações afloram na porção central e em todo o sul do estado do Maranhão.

A Formação Piauí é composta por arenitos (Figura 2.18), com intercalações de siltitos e argilitos, e folhelhos contendo intercalações lenticulares de calcário de origem marinha (LIMA; LEITE, 1978). O ambiente deposicional dessa formação é fluvial, com contribuição eólica, clima semiárido a desértico, com breves incursões marinhas (LIMA; LEITE, 1978). De acordo com os trabalhos de Müller

(1962), essas rochas possuem idade variando de 318 a 299 Ma (Época Pensilvaniana, Período Carbonífero).

A Formação Pedra de Fogo é composta por uma variedade de rochas, como siltitos, folhelhos (Figura 2.19), calcários e silexitos, depositados em ambiente marinho raso a litorâneo, com planícies do tipo *sabkha*, sob ocasional influência de tempestades (GÓES; FEIJÓ, 1994). Essa formação possui idade de 299 a 253 Ma (Período Permiano), segundo Dino et al. (2002).

A Formação Motuca engloba siltitos, arenitos e, subordinadamente, folhelhos, depositados em sistema desértico, com lagos associados (GÓES; FEIJÓ, 1994). A unidade possui idade variando de 253 a 251 Ma, correspondente ao final do Permiano.

A Formação Sambaíba é uma sequência de arenitos avermelhados e esbranquiçados, depositados em ambiente desértico com contribuição fluvial (LIMA; LEITE, 1978). Possui idade variando de 251 a 199 Ma (Período Triássico), de acordo com Klein e Sousa (2012).



Figura 2.18 - Arenitos estratificados da formação Piauí.
Fonte: Elem Lopes (2011).



Figura 2.19 - Siltitos e folhelhos silicificados da formação Pedra de Fogo.
Fonte: Elem Lopes (2011).

Rochas da era mesozoica

Com a fragmentação do supercontinente Pangeia, surgiu um grande evento tectonomagmático, que resultou na separação da África e América do Sul, sendo também responsável pela configuração atual dos continentes. Tal evento provocou magmatismo e deposição de outra sequência de rochas na Bacia Sedimentar do Parnaíba, descrita a seguir.

A Formação Mosquito é composta por derrames de basaltos (rocha vulcânica), de idade que varia de 220 a 150 Ma (Período Triássico Superior ao Jurássico), de acordo com Góes et al. (1993).

A Formação Pastos Bons é constituída por arenitos, siltitos e, predominantemente, por folhelhos depositados em ambiente de lagos interduna e fluvial (CAPUTO, 1984; REZENDE, 2002). Essas rochas possuem idade variando de 161 a 145 Ma (Período Jurássico Superior) (VAZ et al., 2007).

A Formação Corda é constituída, predominantemente, por arenitos depositados em sistema desértico, com contribuição lacustre interdunas e fluvial (CAPUTO, 1984; REZENDE, 2002; VAZ et al., 2007). Esses arenitos possuem idade variando de 161 a 125 Ma (COSTA NETO et al., 2012).

A Formação Grajaú é constituída, predominantemente, por arenitos (Figura 2.20) e conglomerados (LIMA; LEITE, 1978) depositados em ambiente fluvial, deltaico e eólico (MESNER; WOOLDRIDGE, 1964; LIMA; LEITE, 1978). Essas rochas possuem idade variando de 130 a 112 Ma (COSTA NETO et al., 2012).

A Formação Codó é constituída, predominantemente, por folhelhos negros, argilitos calcíferos, pelitos, calcário e arenito com gipso (Figura 2.21) de ambiente lagunar (PAZ; ROSSETTI, 2001; ROSSETTI et al., 2001). Possui idade variando de 125 a 99 Ma (Período Cretáceo Inferior).

O Grupo Itapecuru é um conjunto de formações composto por variados tipos de rochas, como arenitos (Figura 2.22), argilitos, siltitos, folhelhos intercalados com arenitos depositados em vários ambientes (fluvial, deltaico e lagunar) (ANAISSE JÚNIOR, 1999; GONÇALVES; CARVALHO, 1996; LIMA; LEITE, 1978). Possui idade variando de 90 a 93 Ma (Cretáceo Superior) (ROSSETTI et al., 2001). Essa variedade de rochas não pôde ser individualizada no mapa geológico.

A Formação Ipixuna é constituída por conglomerados, arenitos e pelitos depositados em sistema de rios meandantes (VILLAS BOAS; ARAÚJO, 1999). Possui idade variando de 70 a 23 Ma (Cretáceo Superior e Paleógeno) (JUPIASSÚ, 1970).

A Formação Sardinha é composta por corpos de diabásio (rocha vulcânica) de idade que varia de 150 a 110 Ma (Cretáceo Superior) (GÓES et al., 1993).

Bacia Sedimentar Sanfranciscana

No extremo sul do estado do Maranhão afloram rochas do Grupo Urucua, pertencente à Bacia Sedimentar Sanfranciscana, presente, também, em grandes áreas dos



Figura 2.20 - Arenito eólico com pelitos vermelhos da formação Grajaú.
Fonte: Elem Lopes (2011).

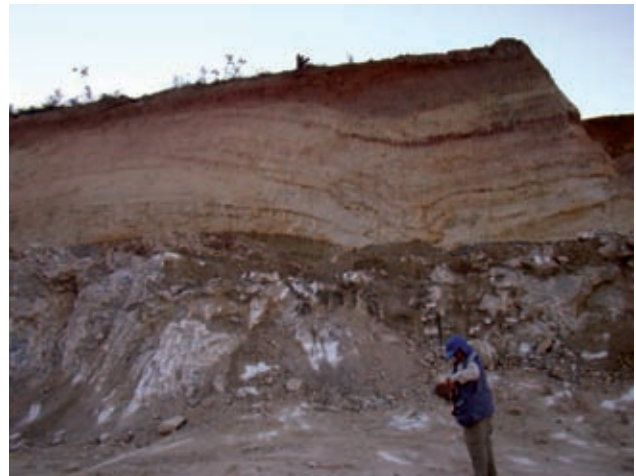


Figura 2.21 - Gipsita (camada branca e cinza) com calcário (camada amarelada) da formação Codó.
Fonte: Iris Bandeira (2011)

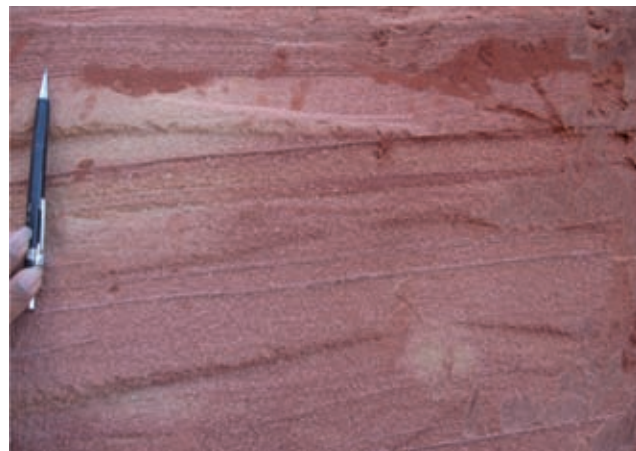


Figura 2.22 - Arenitos estratificados do grupo Itapecuru.
Fonte: Elem Lopes (2011).

estados de Minas Gerais e Bahia e pequenas partes de Goiás, Tocantins e Piauí.

De acordo com Campos e Dardenne (1997), o Grupo Uruçuia é composto pelas formações Posse e Serra das Araras, com idade cenomaniano-campaniana (Neocretáceo), entre 83,5 e 70,6 Ma.

A Formação Posse é constituída por arenitos de dunas eólicas e de rios entrelaçados. Já a Formação Serra das Araras é composta de arenitos, argilitos e conglomerados de planície aluvionar (CAMPOS; DARDENNE, 1997).

Rochas da era cenozoica

Essas rochas fazem parte do domínio da Bacia São Luís e das Coberturas Superficiais que foram depositadas durante a expansão do oceano Atlântico, em período aparentemente de calma, sem grandes eventos geológicos. Porém, evidenciam fase de aplainamento das superfícies antigas, marcam eventos climáticos importantes e grandes flutuações do nível do mar.

Uma das unidades associadas a esses eventos climáticos é a Cobertura Laterítica Madura, formada por volta de 26-24 Ma (COSTA et al., 2005), pela alteração química de rochas preexistentes (Figura 2.23). Nela se acumularam depósitos de alumínio, fosfato, caulim etc. (Figura 2.24).

Entre 23 e 11 Ma (Mioceno Inferior), houve grande elevação do nível do mar, que propiciou a deposição de



Figura 2.23 - Perfil geológico de lateritos maduros bauxíticos autóctones na Amazônia.
Fonte: Costa (1991).



Figura 2.24 - Caulim, produto de alteração intempérica de rochas preexistentes. Unidade geológica das coberturas lateríticas maduras.
Fonte: Elem Lopes (2011).

sedimentos formadores das rochas do Grupo Barreiras (Figura 2.25), constituído por arenitos com inúmeras intercalações de folhelhos de origem fluvial, estuarina e marinha (ARAI, 2006).

Durante o Mioceno Superior ao Plioceno (11 a 1.8Ma), o clima era tropical úmido na região do estado do Maranhão. Em escala global, ocorreram rebaixamento do nível do mar e glaciação, que possibilitaram a instalação de processos de alteração química das rochas do Grupo Barreiras e a formação das Coberturas Lateríticas Imaturas (COSTA, 1991; OLIVEIRA; SILVA, 2011).

Desde o Neógeno até o Quaternário (23 Ma até hoje), há um processo de alteração pela água das chuvas nas rochas dos platôs da região central do Maranhão e, às vezes, há desagregação e transporte desse material para as encostas desses platôs, que formam os chamados Depósitos Colúvio-Eluviais.

Entre 1.8 Ma e 10 mil anos atrás (Pleistoceno), houve elevação e rebaixamento do nível do mar (OLIVEIRA; SILVA, 2011), que possibilitou a deposição dos Sedimentos Pós-Barreiras, que são constituídos por areias inconsolidadas, com pouca argila e seixos, de ambientes eólico, mangue, fluvial etc. (ROSSETTI et al., 2001).

Desde o Pleistoceno Médio, há cerca de 120 mil anos (máximo da última transgressão marinha) até os dias de hoje, houve a formação dos Depósitos Eólicos Continentais Antigos, na região nordeste do estado do Maranhão, os quais são caracterizados por campos de dunas fixas constituídos por areias esbranquiçadas, de granulometria fina a média, bem selecionadas e maduras (SANTOS; SILVA, 2009; VEIGA JÚNIOR, 2000).

Entre 12-11 mil anos (Pleistoceno Superior), houve a formação dos Depósitos de Terraços, que são antigos depósitos que foram abandonados por rios de grande porte, como o Tocantins, e ficaram registrados fora do canal atual do rio, compostos por areias e seixos (COSTA NETO et al., 2012).

Durante essa mesma época, deu-se início à formação dos Depósitos Fluviolagunares (Figura 2.26), que, a partir de um evento transgressivo, provocou o afogamento dos baixos cursos dos rios Pindaré, Mearim, Itapecuru e Munim, ocasionando a deposição de argilas adensadas com areia fina disseminada (RODRIGUES et al., 1994).

Os Depósitos Aluvionares são constituídos por areias e argilas que estão sendo transportadas e depositadas pelos rios e igarapés desde os últimos 10 mil anos.

No litoral oriental do estado do Maranhão, nos últimos 10 mil anos ocorreu a deposição dos campos de dunas livres ativas (Lençóis Maranhenses), que compõem os Depósitos Eólicos Litorâneos (Figura 2.27), constituídos por areias esbranquiçadas, de granulometria fina a média, bem selecionadas e grãos arredondados (VEIGA JÚNIOR, 2000).

Nessa mesma época, ocorreu a formação dos Depósitos Litorâneos, que compreendem os depósitos de dunas costeiras (constituídos por areias quartzosas de granulometria muito fina), praias (areias quartzosas de granulometria muito fina a fina), planície arenosa (areias quartzosas de granulometria fina a média) e cordões litorâneos antigos (areias quartzosas de granulometria muito fina a fina), que apresentam maior expressão na região costeira a oeste da ilha de São Luís (KLEIN et al., 2009; VEIGA JÚNIOR, 2000).

Também durante a época holocênica ocorreu a sedimentação dos Depósitos de Pântanos e Mangues, principalmente na costa ocidental maranhense, que é caracterizada pela presença de inúmeros estuários, com uma série de ilhas, baías e canais. São constituídos, predominantemente, por sedimentos lamosos (argila e silte), de coloração cinza, não adensados, maciços e bioturbados (RODRIGUES et al., 1994).



Figura 2.26 - Depósitos fluviolagunares.

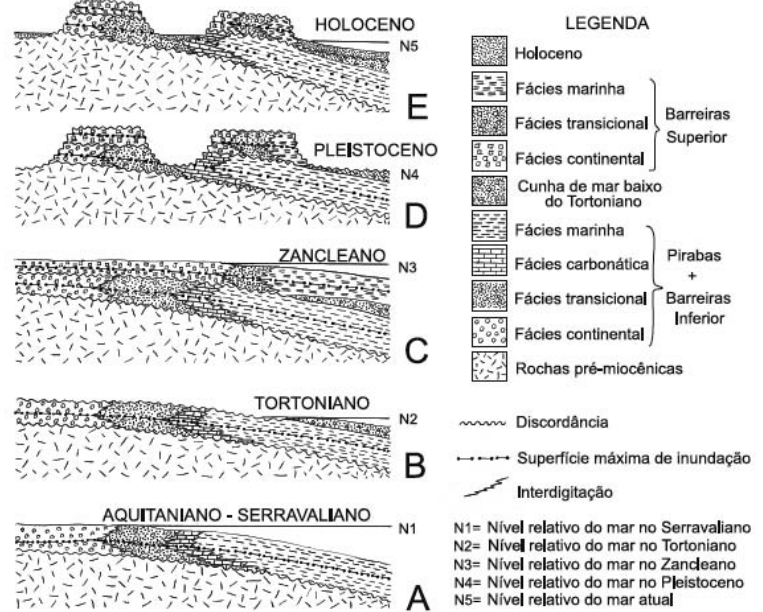


Figura 2.25 - Evolução tectonossedimentar do grupo Barreiras
 Fonte: Arai (2006).



Figura 2.27 - Depósitos eólicos litorâneos (Lençóis Maranhenses).

REFERÊNCIAS

ANAISSE JÚNIOR, J. **Fácies costeiras dos depósitos Itapecuru (Cretáceo), região de Açailândia, bacia do Grajaú.** 1999. 86 f. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Universidade Federal do Pará, Belém, 1999.

ARAI, M.A. Grande elevação eustática do Mioceno e sua influência na origem do grupo Barreiras. **Geol. USP, Sér. cient.**, São Paulo, v. 6, n. 2, p. 1-6, out. 2006.

CAMPOS, J.E.G.; DARDENNE, M.A. Estratigrafia e sedimentação da bacia Sanfranciscana: uma revisão.

Revista Brasileira de Geociências, São Paulo, v. 27, n. 3, p. 269-282, set. 1997.

CAPUTO, M.V. **Stratigraphy, tectonics, paleoclimatology and paleogeography of northern basins of Brazil**. 1984. 586 f. Tese (Doutorado em Geologia) – University of California, Santa Barbara, USA, 1984.

CAPUTO, M.V.; LIMA E. Estratigrafia, idade e correlação do grupo Serra Grande. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 33., 1984, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: SBG, 1984. v. 2. p. 740-753.

COSTA, J.L.; ALMEIDA, H.G.G.; RICCI, P.S.F. Metamorfismo e divisão tectonoestratigráfica do grupo Gurupi no nordeste do Pará e noroeste do Maranhão. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 5., 1996, Belém. **Resumos...** Belém: SGB-Núcleo Norte, 1996. p. 110-112.

COSTA, J.L.; RICCI, P.S.F. Estratigrafia. In: COSTA, J.L. (Org.). **Castanhal**: folha SA.23-V-C, estado do Pará, escala 1:250.000. Brasília, DF: CPRM, 2000. 1 CD-ROM. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil.

COSTA, M.L. Aspectos geológicos dos lateritos da Amazônia. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v. 21, n. 2, p. 146-160, jun. 1991.

COSTA, M.L. et al. O depósito de manganês do Azul, Carajás: estratigrafia, geoquímica e evolução geológica. In: MARINI, O.J.; QUEIROZ, E.T.; RAMOS, B.W. (Eds.). **Caracterização de depósitos minerais em distritos mineiros da Amazônia**. Brasília, DF: DNPM-CT/Mineral/ADIMB, 2005. p. 227-333.

COSTA NETO, M.C. et al. **Geologia e recursos minerais da folha Imperatriz**: SB.23-V-C-V, estado do Maranhão, escala: 1:100.000. Belém: CPRM, 2012. No prelo.

DINO, R.; ANTONIOLI, L.; BRAZ, S.M. Palynological data from the Trisidela member of Upper Pedra de Fogo formation ("Upper Permian") of the Parnaíba basin, northeastern Brazil. **Revista Brasileira de Paleontologia**, São Leopoldo, n. 3, p. 24-35, 2002.

GÓES, A.M.O.; FEIJÓ, F.J. Bacia do Parnaíba. **Boletim de Geociências da Petrobras**, Rio de Janeiro, v. 8, n. 1, p. 57-67, jan./mar. 1994.

GÓES, A.M.O.; TRAVASSOS, W.A.; NUNES, K.C. **Projeto Parnaíba**: reavaliação da bacia e perspectivas exploratórias. Belém: PETROBRAS, 1993. v. 1.

GONÇALVES, R.A.; CARVALHO, I.S. Contribuição ao estudo da sedimentação da formação Itapecuru, região de Itapecuru-Mirim, bacia do Parnaíba (Cretáceo inferior), Maranhão, Brasil. **Revista de Geologia**, Fortaleza, v. 9, p. 75-81, 1996.

GORAYEB, P.S.S.; ABREU, F.A.M. Feições magmáticas e transformações tectonometamórficas em granitoides da suíte Rosário-MA. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 39., 1996, Salvador. **Anais...** Salvador: SBG, 1996. p. 94-97.

GORAYEB, P.S.S. et al. Geologia e geocronologia da suíte Rosário, nordeste do Brasil, e sua contextualização geotectônica. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v. 29, n. 4, p. 435-449, 1999.

JUPIASSÚ, A.M.S. Madeira fóssil – *Humiriaceae* de Irituia, estado do Pará. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi**, Belém, n. 14, p. 1-12, 1970. (Nova Série Geologia).

KLEIN, E.L. **Evolução geológica pré-cambriana e aspectos da metalogênese do ouro do cráton São Luís e do cinturão Gurupi, NE-Pará/NW-Maranhão, Brasil**. 2004. 303 f. Tese (Doutorado em Geoquímica e Petrologia) – Universidade Federal do Pará, Belém, 2004.

KLEIN, E.L.; MOURA, C.A.V. Age constraints on granitoids and metavolcanic rocks of the São Luís craton and Gurupi belt, northern Brazil: implications for lithostratigraphy and geological evolution. **International Geology Review**, v. 43, p. 237-253, 2001.

KLEIN, E.L.; LOPES, E.C.S. **Geologia e recursos minerais da folha Centro Novo do Maranhão**. Belém: CPRM, 2011.

KLEIN, E.L.; LOPES, E.C.S. **Projeto metalogenia do cinturão Gurupi**. Belém: CPRM, 2012. No prelo.

KLEIN, E.L.; SOUSA, C.S. (Orgs.). **Geologia e recursos minerais do estado do Maranhão**: sistema de informação geográfica (SIG). Belém: CPRM, 2012. Escala 1:750.000. No prelo.

Klein, E.L. et al. The Gurupi belt in northern Brazil: lithostratigraphy, geochronology, and geodynamic evolution. **Precambrian Research**, v. 141, p. 83-105, 2005.

KLEIN, E.L. et al. **Geologia e recursos minerais da folha Cândido Mendes – SA.23-V-D-II**: estado do Maranhão: escala 1:100.000. Belém: CPRM, 2008a. 146 p.

- KLEIN, E.L. et al. Geochemistry and geochronology of paleoproterozoic granitoid magmatism: further evidence on the crustal evolution of the São Luís craton, Brazil. **Precambrian Research**, v. 165, n. 3/4, p. 221-242, 2008b.
- KLEIN, E.L. et al. Geochronology, Nd isotopes and reconnaissance geochemistry of volcanic and metavolcanic rocks of the São Luís craton, northern Brazil: implications for tectonic setting and crustal evolution. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 27, p. 129-145, 2009.
- LIMA, E.A.M.; LEITE, J.F. **Projeto estudo global dos recursos minerais da bacia sedimentar do Parnaíba: integração geológico-metalogenética**. Relatório final, etapa III. Belém: DNPM/CPRM, 1978. 190 p. v. 1.
- LOBATO, G.; BORGHI, L. Análise estratigráfica de alta resolução do limite formacional Longá/Poti, bacia do Parnaíba: um caso de investigação de possíveis corpos isolados de arenito. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM PETRÓLEO E GÁS, 4., 2007, Campinas, SP. **Anais...** Campinas, SP: ABPG/PDPETRO, 2007. p. 1-10.
- LOBOZIAK, S.; CAPUTO, M.V.; MELO, J.H.G. Middle Devonian-Tournaisian miospore biostratigraphy in the southwestern outcrop belt of the Parnaíba basin, north-central Brazil. **Revue de Micropaléontologie**, v. 43, n. 4, p. 303-318, 2000.
- LUCAS, F.R.A. **Estudo geológico das rochas conglomeráticas da região do Japiim, nordeste do Pará**. 2009. 54 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Geologia) – Universidade Federal do Pará, Belém, 2009.
- MELO, J.H.G.; LOBOZIAK, S. Miospore biostratigraphy and correlation of the Poti formation (Parnaíba basin, northern Brazil). **Review of Paleobotany and Palynology**, v. 112, p. 147-165, 2000.
- MELO, J.H.G.; LOBOZIAK, S.; STREEL, M. Latest Devonian to early Late Carboniferous biostratigraphy of northern Brazil: an update. **Bulletin du Centre de Recherches Elf Exploration Production**, v. 22, n. 1, p. 13-33, 1998.
- MESNER, J.C.; WOOLDRIDGE, L.C.P. Estratigrafia das bacias paleozoicas e cretáceas do Maranhão. **Boletim Técnico da Petrobras**, Rio de Janeiro, v. 7, n. 2, p. 137-164, abr./jun. 1964.
- MINERAÇÃO AURIZONA S/A. **Aurizona Project**. 1995. 35 p. Relatório inédito.
- MÜLLER, H. **Report palynological results of samples examined from wells in Maranhão**. Salvador: PETROBRAS, 1962. (Relatório, 500).
- OLIVEIRA, J.G.F.; SILVA, R.C.S. **Geologia e recursos minerais da folha Belém – SA.22-X-D-III: estado do Pará, escala: 1:100.000**. Belém: CPRM, 2011. 91 p.
- PAZ, J.D.S.; ROSSETTI, D.F. Caracterização de um sistema lacustre salino: formação Codó (Aptiano), região de Codó (MA), bacia de São Luís-Grajaú. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 7., 2001, Belém. **Anais...** Belém: SGB-Núcleo Norte, 2001. CD-ROM.
- PINHEIRO, B.L.S.; MOURA, C.A.V.; KLEIN, E.L. Estudo de proveniência em arenitos das formações Igarapé de Areia e Viseu, nordeste do Pará, com base em datação de monocristais de zircão por evaporação de chumbo. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 8., 2003, Manaus. **Resumos...** Manaus: SBG-Núcleo Norte, 2003. v. 8. 1 CD-ROM.
- REZENDE, N.A.G.M. **A zona zeolítica da formação Corda, bacia do Parnaíba**. 2002. 142 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Pará, Belém, 2002. 1 CD-ROM.
- RODRIGUES, T.L.N. et al. (Org.). **São Luís folha SA.23-Z-A, Cururupu folha SA.23-X-C: estado do Maranhão, escala 1:250.000**. Brasília, DF: CPRM, 1994. 185 p. Programa Levantamentos Geológicos Básicos.
- ROSSETTI, D.F.; GOES, A.M.; SOUZA, L.S.B. Estratigrafia da sucessão sedimentar pós-Barreiras (zona Bragantina, Pará) com base em radar de penetração no solo. **Revista Brasileira de Geofísica**, São Paulo, v. 19, n. 2, p. 113-130, 2001.
- SANTOS, J.H. S.; SILVA, J.X. Datação e evolução dos campos de dunas eólicas inativas dos Lençóis Maranhenses. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, 13., 2009, Viçosa, MG. **Resumos Expandidos...** Viçosa, MG: [s. n.], 2009. v. 1, p. 1-17.
- SCHOBENHAUS, C.; BRITO NEVES, B.B. A geologia do Brasil no contexto da Plataforma Sul-Americana. In: BIZZI, L.A.; SCHOBENHAUS, C.; VIDOTTI, R.M.; GONÇALVES, J.H. (Eds.). **Geologia, tectônica e recursos minerais do Brasil**. Brasília, DF: CPRM, 2003. 692 p. [Texto, mapas & SIG]. v. 1. p. 1-54.
- TASSINARI, C.C.G. Tectônica global. In: TEIXEIRA, W.; TOLEDO, M.C.M. de; FAIRCHILD, T.R.; TAIOLI, F. (Orgs.) **Decifrando a Terra**. São Paulo: Oficina de Textos, 2000. 568 p. cap. 6. p. 97-112.

TEIXEIRA, W.; TOLEDO, M.C.M. de; FAIRCHILD, T.R.; TAIOLI, F. (Orgs.) **Decifrando a Terra**. São Paulo: Oficina de Textos, 2000. 568 p.

TRUCKENBRODT, W.; NASCIMENTO, M.S.; GÓES, A.M. Distribuição de minerais pesados em arenitos de formações fanerozoicas no nordeste do Pará e noroeste do Maranhão. In: GOES, A.M.; NASCIMENTO, M.S.; TRUCKENBRODT, W. (Org.). **Contribuições à geologia da Amazônia**. Belém: SBG, 2005. v. 4. p. 180-189.

VAZ, P.T.; REZENDE, N.G.A.M.; WANDERLEY FILHO, J.R.; TRAVASSOS, W.A.S. Bacia do Parnaíba. **Boletim de**

Geociências da Petrobras, Rio de Janeiro, v. 15, n. 2, p. 253-263, 2007.

VEIGA JÚNIOR, J.P. **São Luís NE/SE, folhas SA-23-X e SA-23-Z**: estados do Maranhão e Piauí. Brasília, DF: CPRM, 2000. p. 5-23. Escala 1:500.000. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil.

VILLAS BOAS, J.M.; ARAÚJO, C.C. **Açailândia, folha SB.23-V-A**: estados do Pará e Maranhão. Brasília, DF: CPRM, 1999. Escala 1:250.000. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. 1 CD-ROM.

3

COMPARTIMENTAÇÃO GEOMORFOLÓGICA

Marcelo Eduardo Dantas (*marcelo.dantas@cprm.gov.br*)

Edgar Shinzato (*edgar.shinzato@cprm.gov.br*)

Iris Celeste Nascimento Bandeira (*iris.bandeira@cprm.gov.br*)

Lívia Vargas de Souza (*livia.souza@cprm.gov.br*)

Jennifer Fortes Cavalcante Renk (*jennifer.renk@cprm.gov.br*)

CPRM – Serviço Geológico do Brasil

SUMÁRIO

Introdução	33
Domínios Geomorfológicos	36
Planície Costeira do Maranhão	36
Litoral das Reentrâncias Maranhenses	36
Golfão e Baixada Maranhense	37
Lençóis Maranhenses.....	39
Delta do Parnaíba	41
Tabuleiros Costeiros	42
Tabuleiros de Chapadinha.....	42
Tabuleiros de São Luís e Alcântara-Guimarães.....	42
Superfícies Aplainadas do Noroeste do Maranhão	43
Superfície Sublitorânea de Bacabal.....	44
Superfícies Aplainadas da Bacia do Rio Parnaíba	45
Superfícies Tabulares das Bacias dos Rios Itapecuru e Munim	46
Superfícies Tabulares da Bacia do Rio Parnaíba	48
Planalto Dissecado Gurupi-Grajaú	49
Baixos Platôs de Barra do Corda	51
Chapadas do Alto Rio Itapecuru	52
Depressão do Médio Vale do Rio Tocantins	54
Chapadas e Mesetas de Estreito-Carolina.....	56
Depressão Interplanáltica de Balsas.....	58
Chapadas do Alto Rio Parnaíba.....	59
Chapada das Mangabeiras.....	60
Referências	60

INTRODUÇÃO

A geografia física do estado do Maranhão se caracteriza por um relevo representado por baixas superfícies de aplainamento em meio a extensas planícies fluviomarinhas, baixos platôs e chapadas. Esse conjunto de formas é sustentado por rochas ígneas e metamórficas pré-cambrianas do Cráton São Luís e Cinturão Gurupi (perfazendo escassos 1,6% da área total do estado); rochas paleozoicas e mesozoicas da Bacia Sedimentar do Parnaíba constituída pelas formações Serra Grande, Longá, Poti, Piauí, Pedra de Fogo, Motuca, Sambaíba, Pastos Bons, Corda, Grajaú, Codó, Itapecuru e derrames basálticos das formações Mosquito e Sardinha (com aproximadamente 73,4% da área total); depósitos cretácicos da Formação Urucuia (Bacia Sanfranciscana) (perfazendo apenas 1% da área total); e Coberturas Superficiais mais recentes (cenozoicas), como depósitos detrítico-lateríticos, Grupo Barreiras, Sedimentos Pós-Barreiras, planícies aluvionares, depósitos fluviolagunares, terraços fluviais e depósitos eólicos, perfazendo 24% da área total (ALMEIDA et al., 1977; GÓES; FEIJÓ, 1994; KLEIN; SOUSA, 2012; VILAS-BOAS; ARAÚJO, 1999).

Esse conjunto geológico, associado a prolongados eventos tectônicos decorrentes da abertura do oceano Atlântico Equatorial (CORDANI et al., 2000), propiciou a formação de três superfícies regionais de aplainamento:

- *Superfícies aplainadas*, elaboradas durante o Neógeno, ajustadas ao atual nível de base regional e modeladas em diversas rochas sedimentares da Bacia Sedimentar do Parnaíba ou esculpidas sobre o embasamento ígneo-metamórfico do Cráton São Luís e Cinturão Gurupi.
- *Coberturas detrítico-lateríticas* resistentes ao intemperismo e à erosão, em sua maioria, elaboradas durante o Paleógeno. Essas coberturas, constituídas por crostas ferruginosas (ou petroplintita), sustentam relevos tabulares em distintas cotas altimétricas representadas por baixos platôs e chapadas.
- *Chapada do Espigão Mestre*, superfície de aplainamento mais elevada, de idade cretácica e sustentada pelo arenito Urucuia, restrita ao extremo sul do estado do Maranhão. Trata-se de uma superfície cimeira em escala subcontinental, projetando-se sobre extensa parte do Brasil Central, nos estados do Maranhão, Piauí, Bahia e Tocantins.

O relevo do estado do Maranhão é caracterizado por um conjunto de superfícies tabulares desdobradas, de forma complexa, em diferentes cotas altimétricas, alçadas por processo diferencial de soerguimento tectônico pós-cretácico da Bacia Sedimentar do Parnaíba e delineadas por ação de diferentes eventos de aplainamento regional (BARBOSA et al., 1973; ROSS, 1985). Tais processos denudacionais promoveram a dissecação diferencial desses terrenos modelados em rochas sedimentares dos mais variados ambientes deposicionais da Bacia do Parnaíba (marinhos, litorâneos, fluviais, carbonáticos e eólicos, apresentando, também, eventos de derrames vulcânicos).

O soerguimento continental dessa bacia sedimentar, ao longo do Cenozoico, originou um cenário geomorfológico representado por um conjunto de extensas chapadas dispostas de forma descontínua, preferencialmente no centro e sul do estado do Maranhão, alçadas em cotas topográficas que variam entre 200 e 800 m de altitude, sendo progressivamente mais elevadas em direção ao sul do estado (FEITOSA, 2006).

A despeito das distintas cotas altimétricas, o conjunto de chapadas, frentes de cuevas e planaltos alçados do estado do Maranhão, tais como as chapadas das Mangabeiras, Penitente, Alpercatas e Tiracambu, dentre as mais importantes, pode ser relacionado a uma antiga superfície de aplainamento de idade paleógena, correlacionável à Superfície Sul-Americana segundo King (1956), desnivelada, posteriormente, por processos de aplainamentos parciais e soerguimento diferencial ou basculamento de blocos da Bacia do Parnaíba ao longo do Cenozoico (BARBOSA et al., 1973; BARBOSA; NOVAES PINTO, 1973). O registro generalizado de coberturas detríticas ou detrítico-lateríticas, de idades paleógena e neógena, atesta a intensidade dos processos de intemperismo químico e a antiguidade da superfície dos topos dessas chapadas, assim como de todo o conjunto de superfícies tabulares reinantes no Maranhão (Figuras 3.1 e 3.2). Por outro lado, a erosão diferencial das superfícies planálticas delineou o desenvolvimento de amplos vales abertos e superfícies interplanálticas, embutidas dezenas a poucas centenas de metros abaixo dos topos das chapadas, gerando uma superfície de aplainamento mais moderna, de idade neógena, correlacionável à Superfície Velhas, conforme King (1956).

Essas superfícies tabulares podem ser estruturais (controladas pelo acamadamento dos estratos sedimentares) ou, por vezes, erosivas, truncadas por distintas fases de



Figura 3.1 - Baixo platô francamente dissecado em colinas tabulares de topos aplainados ou alongados. Vales entalhados em vertentes declivosas. Pacotes de siltitos e arenitos da formação Itapecuru com desenvolvimento de laterita no topo. Profundo manto de intemperismo em clima subequatorial úmido. Rodovia BR-222, entre as localidades de Chapadinha e Vargem Grande.



Figura 3.2 - Desenvolvimento de nível ferruginoso endurecido (ironstone) sobre camadas de arenitos e argilitos com grande variação de permeabilidade da formação Itapecuru. Rodovia BR-316, entre as localidades de Caxias e Peritoró.

aplainamento. Em diversas situações foi verificado que os topos de chapadas estão mantidos por níveis de quartzarenitos silicificados ou, mais frequentemente, por resistentes couraças detrito-lateríticas, fato comum em todo o Brasil Central e na Amazônia.

Nos baixos platôs do oeste do Maranhão, assim como em extensas áreas da Amazônia Oriental, são identificados, em larga escala, dois eventos de laterização (COSTA, 1991): um, mais antigo, caracterizado por crostas lateríticas maduras, com desenvolvimento de horizonte aluminoso (bauxítico), de horizonte ferruginoso e concrecionário, e, no topo, por Latossolo Amarelo argiloso de cobertura, resultante do intemperismo moderno; outro, mais recente, caracterizado por crostas lateríticas imaturas, com desenvolvimento similar às maduras, porém incompleto, sem elaboração de horizonte aluminoso.

Durante grande parte do Paleógeno, caracterizado por um período de notável estabilidade morfodinâmica e pouca atividade tectônica, ocorreu o desenvolvimento de espessos mantos de alteração de espessura decamétrica. O contínuo processo de intemperismo e remobilização de óxidos e hidróxidos de ferro, manganês e alumínio originou, em vastas extensões, perfis lateríticos, bauxítico-ferruginosos, maduros, de expressiva importância mineral, correlacionados Aaoceno-Oligoceno. (COSTA, 1991; KOTSCHOUBEY et al., 2005; KOTSCHOUBEY; TRUCKENBRODT, 1981). Esses perfis lateríticos, muito antigos e desenvolvidos, registrados sobre os diversos topos aplainados e posicionados em cotas que variam entre 270 e 420 m, correspondem à serra de Tiracambu e aos vastos interflúvios entre os rios Gurupi, Pindaré, Buriticupu, Zutiua e Grajaú.

A geodiversidade do Maranhão mostra-se mais diversificada pelo fato de esse estado, juntamente com o Piauí, estar inserido em uma das mais esplêndidas faixas de transição fitoclimática do território brasileiro (AB'SABER, 1969, 1977). Essa região geográfica, tradicionalmente

denominada Meio-Norte ou Zona das Matas de Cocais, está posicionada entre o Domínio Morfoclimático das Terras Baixas Equatoriais da Amazônia, a oeste; o Domínio das Depressões Semiáridas Tropicais da Caatinga, a leste; e Domínio dos Chapadões Semiúmidos Tropicais do Cerrado, a sul.

Assim, no oeste e noroeste do estado do Maranhão nota-se o domínio original da Floresta Amazônica sob clima equatorial úmido regido pelo deslocamento sazonal da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e pela massa Equatorial Continental (mEc), ambas com marcante atuação no verão e outono. Desse modo, registra-se curto período seco de inverno e parte da primavera que varia entre dois a três meses. Em contraposição, no sul e sudeste do estado prevalece a vegetação original de cerrado sob clima tropical semiúmido, apresentando marcada estiagem de cinco a seis meses entre o inverno e a primavera, devido à influência menos expressiva dos sistemas atmosféricos supracitados, associada a uma atuação mais expressiva da massa Tropical Atlântica (mTa), o que confere maior estabilidade climática (NIMER, 1989). Observa-se, também, expressivo decréscimo dos totais pluviométricos observados de noroeste (2.000 a 2.500 mm/ano) para sul e sudeste (1.000 a 1.200 mm/ano) (FEITOSA; TROVÃO, 2006).

Entretanto, na maior parte do estado, especialmente em sua porção central, desenvolve-se uma vegetação florestal de porte baixo, rica em palmeiras (em especial o babaçu), conferindo certa originalidade à paisagem natural do Golfão e Baixada Maranhense e de sua hinterlândia. Entretanto, essa vegetação caracteriza-se por ser transicional entre a caatinga, o cerrado e a floresta.

Deve-se mencionar, também, o complexo processo de ocupação do território maranhense, calcado em diversas frentes de povoamento desde os idos coloniais (FEITOSA; TROVÃO, 2006; TROVÃO, 2008) e desconectadas entre si, destacando-se as frentes litorânea e interiorana. A primeira, implementada após a expulsão dos franceses, no início do século XVII, visou à colonização da extensa linha de costa, do Golfão Maranhense e dos baixos vales dos rios principais que convergem para o Golfão. Os rios Itapecuru, Mearim e Pindaré consistiram nos principais eixos de penetração do povoamento da frente litorânea, calcado no cultivo de culturas de exportação, em especial, a cana-de-açúcar e o algodão. Nesse sentido, entre os séculos XVII e XIX, foram fundadas as povoações de Cajari, Pindaré-Mirim e Santa Inês, no vale do rio Pindaré; Vitória do Mearim, Bacabal e Barra do Corda, no vale do rio Mearim; Rosário, Coroatá, Codó e Caxias, no vale do rio Itapecuru (SILVA; CONCEIÇÃO, 2011; TROVÃO, 2008). A frente interiorana, calcada na pecuária extensiva, promoveu o povoamento do sul do estado a partir do Piauí, fundando, a partir do século XVIII, as povoações de Pastos Bons, Balsas, Carolina e Imperatriz, dentre as principais. Apenas no século XIX as duas frentes colonizadoras se conectaram, conferindo certa identidade territorial ao Maranhão. Ao longo do século XX, novas levas de migrantes nordestinos (principalmente,

retirantes da seca) consolidaram o povoamento do estado (TROVÃO, 2008).

A partir das décadas de 1960-70, duas frentes modernas de povoamento alcançam, respectivamente, o oeste e o sul do estado, promovendo significativas transformações no espaço geográfico maranhense. O oeste amazônico registra forte incremento populacional, associado ao desmatamento generalizado da floresta nativa, devido à abertura da Rodovia Belém-Brasília e da Estrada de Ferro Carajás-São Luís, alicerçada na instalação de guserias no entorno de Açailândia e Imperatriz e, posteriormente, na silvicultura de eucalipto. Os baixos platôs e chapadas do sul do estado, por sua vez, foram incorporados pelo avanço da fronteira agrícola e franca migração de agricultores gaúchos, que implementaram uma policultura tecnificada de soja, milho, algodão e sorgo sobre os vastos topos planos, outrora revestidos de cerrados, de Balsas, Pastos Bons, Tasso Fragoso e Alto Parnaíba.

Para melhor entendimento de sua geodiversidade, o território maranhense foi compartimentado em 19 domínios geomorfológicos: Planície Costeira do Maranhão (subdividida em Reentrâncias Maranhenses, Golfão e Baixada Maranhense, Lençóis Maranhenses e Delta do Parnaíba); Tabuleiros Costeiros (subdivididos em Tabuleiros de Chapadinha e Tabuleiros de São Luís e Alcântara-Guimarães); Superfícies Aplainadas do Noroeste do Maranhão; Superfície Sublitorânea de Bacabal (Mesopotâmia Maranhense); Superfícies Aplainadas da Bacia do Rio Parnaíba; Superfícies Tabulares das Bacias dos Rios Itapecuru e Munim; Superfícies Tabulares da Bacia do Rio Parnaíba; Planalto Dissecado Gurupi-Grajaú; Baixos Platôs de Barra do Corda; Chapadas do Alto Rio Itapecuru; Depressão do Médio Vale do Rio Tocantins; Chapadas e Mesetas de Estreito-Carolina; Depressão Interplanáltica de Balsas; Chapadas do Alto Rio Parnaíba e Chapada das Mangabeiras (Figura 3.3).

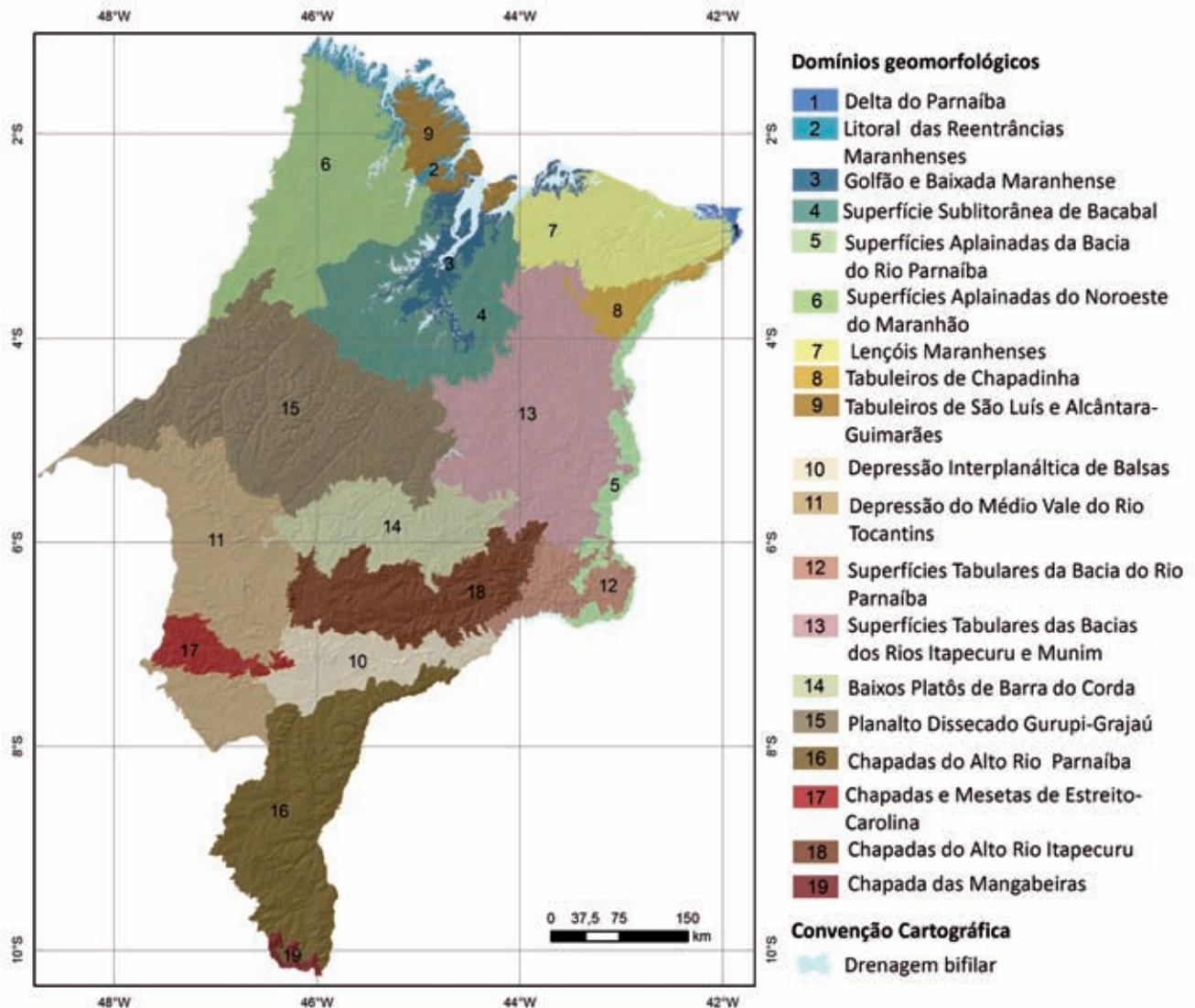


Figura 3.3 - Domínios geomorfológicos propostos para o estado do Maranhão.

Os diversos padrões de relevo do estado (Quadro 3.1), inseridos nos 19 domínios geomorfológicos supra-mencionados, encontram-se representados no Mapa de Padrões de Relevo do Estado do Maranhão, que serviu de subsídio para a elaboração do Mapa Geodiversidade do Estado do Maranhão. A individualização dos diversos compartimentos de relevo (Apêndice II – Biblioteca de Padrões de Relevo do Território Brasileiro) foi obtida com base em análises e interpretação de imagens SRTM (Shuttle Radar Topography Mission), com pixel de 90 x 90 m, e de imagens GeoCover, sendo as unidades de relevo agrupadas de acordo com a caracterização da textura e rugosidade das imagens. A escala de trabalho variou de 1:100.000 a 1:500.000, considerando que o trabalho foi desenvolvido em modo digital, permitindo a utilização da ferramenta de zoom para distinção das unidades. A escala de publicação foi de 1:1.000.000.

DOMÍNIOS GEOMORFOLÓGICOS

A partir de uma breve avaliação sobre a origem e evolução das paisagens do estado do Maranhão, é possível promover uma caracterização dos compartimentos geomorfológicos existentes. Com base na análise dos produtos de sensoriamento remoto disponíveis, perfis de campo e estudos geomorfológicos regionais anteriores (IBGE, 1995; ROSS, 1985, 1997, dentre outros), os terrenos maranhenses foram compartimentados, neste estudo, em 19 domínios geomorfológicos.

Planície Costeira do Maranhão

A Planície Costeira do Maranhão espraia-se por ampla franja litorânea com aproximadamente 640 km de extensão e representa um domínio geomorfológico que pode ser subdividido em quatro setores marcadamente diferenciados, conforme Feitosa (2006): a úmida costa oeste-noroeste das Reentrâncias Maranhenses, dominada por vastas planícies de marés (mangues); sua mais pronunciada reentrância, constituída pelo Golfão Maranhense; a costa leste, de clima semiúmido, dominada por extensos campos de dunas móveis ou fixas; e a planície deltaica do rio Parnaíba.

Litoral das Reentrâncias Maranhenses

A porção noroeste do litoral maranhense foi caracterizada por Souza Filho (2005) como “a Costa de Manguezais de Macromaré da Amazônia”, abrangendo, também, a costa nordeste do estado do Pará. Segundo esse autor, tal domínio de mangues, que se estende da Baía de Marajó à Baía de São José, consiste na mais extensa planície de maré contínua no mundo, atingindo 650 km de extensão e 7.500 km² de área, o que corresponde a mais da metade de toda a extensão de manguezais no Brasil.

Esse litoral, dominado por clima equatorial com precipitação média entre 1.800 e 2.500 mm anuais, notabiliza-se por seu contorno extremamente recortado em rias e estuários (BARBOSA; NOVAES PINTO, 1973), al-

Quadro 3.1 - Declividade e amplitude topográfica das formas de relevo identificadas no estado do Maranhão.

Padrões de Relevo	Declividade (graus)	Amplitude Topográfica (m)
Planícies Fluviais ou Fluviolacustres (R1a)	0 a 3	Zero
Planícies Fluviomarinhas (R1d)	0	Zero
Planícies Costeiras (R1e)	0 a 5	2 a 20
Campos de Dunas (R1f)	3 a 30	5 a 40
Tabuleiros (R2a1)	0 a 3	20 a 50
Tabuleiros Dissecados (R2a2)	2 a 5	0 a 20
Baixos Platôs (R2b1)	0 a 5	20 a 50
Baixos Platôs Dissecados (R2b2)	0 a 5	20 a 50
Planaltos (R2b3)	0 a 5	20 a 50
Chapadas e Platôs (R2c)	0 a 5	0 a 20
Superfícies Aplainadas Conservadas (R3a1)	0 a 5	0 a 10
Superfícies Aplainadas Degradadas (R3a2)	0 a 5	10 a 30
Inselbergs (R3b)	25 a 60	50 a 500
Colinas Amplas e Suaves (R4a1)	3 a 10	20 a 50
Colinas Dissecadas e Morros Baixos (R4a2)	5 a 20	30 a 80
Morros e Serras Baixas (R4b)	15 a 35	80 a 200
Escarpas Serranas (R4d)	25 a 60	300 a 2.000
Degraus Estruturais e Rebordos Erosivos (R4e)	10 a 45	50 a 200
Vales Encaixados (R4f)	10 a 45	100 a 300

ternando prolongados espigões de manguezais e planícies salinas, frequentemente ancoradas por cordões de areia (cheniers) que geram, a sua retaguarda, um ambiente de baixa energia, propício à sedimentação das planícies fluviomarinhas, com extensos canais de maré que adentram até cerca de 20 km o continente, sendo dominados por macromarés de até 7 m de amplitude diurna. Dentre essas zonas estuarinas, com paleofalésias modeladas pela Transgressão Flandriana de idade holocênica, destacam-se as “baías” de Gurupi, Turiaçu e do Cumã, correspondendo, também, à desembocadura em forma de ria dos rios homônimos (Figura 3.4). Essas extensas zonas estuarinas, em litoral recortado, estão diretamente associadas ao entalhe dos baixos platôs em condições de linha de costa regressiva nos períodos glaciais que ocorreram ao longo do Quaternário.

Segundo Borges et al. (1995) e Ferreira Jr. et al. (1996a), a gênese dessas rias está relacionada à ocorrência de movimentos neotectônicos, assim como sua orientação está associada à atuação de falhas transcorrentes de direção SW-NE durante o Mioceno-Plioceno.

Essa unidade está inserida entre a linha de costa e a vasta superfície do noroeste do Maranhão (**R3a2**), drenada pelos rios Gurupi e Turiaçu, dentre os principais, assim como pelos tabuleiros costeiros embasados por rochas sedimentares pouco litificadas do Grupo Barreiras ou da Formação Itapecuru (**R2a1** e **R2a2**). Esses tabuleiros estão, por vezes, delimitados por proeminentes falésias ativas na península de Alcântara e na costa oeste da Baía de São Marcos. A unidade, gerada em ambiente deposicional de macromarés, apresenta um conjunto de feições deposicionais de origens fluvial e marinha. Esse domínio abrange extensas planícies fluviomarinhas (**R1d**), ressaltando-se a ocorrência de exíguas planícies costeiras (**R1e**) e aluviais (**R1a**). Destaca-se, nesse contexto, vasto domínio de terras baixas e inundáveis, com recobrimento espreado de formações pioneiras de interface entre os ambientes continental e marinho, ocu-



Figura 3.4 - Baía de Turiaçu, orlada com vegetação de mangue. Fundo de estuário do rio Turiaçu em costa extremamente recortada das reentrâncias maranhenses. Sítio urbano de Turiaçu.

padas por vastos manguezais. As planícies fluviomarinhas intermarés, constituídas por sedimentos inconsolidados de idade holocênica, consistem de terrenos argilosos ou argiloarenosos ricos em matéria orgânica, caracterizados como Solos de Manguê, Gleissolos Sálcos e Gleissolos Tiomórficos (IBGE, 2011a).

A despeito da grande fragilidade ambiental desses terrenos, dominados por extensos manguezais, o processo de ocupação humana empreendido por comunidades tradicionais com uma população rarefeita, calcada na pesca tradicional e no extrativismo, não tem promovido significativos impactos ambientais na região (SOUZA; FEITOSA, 2009). São, em sua maioria, áreas protegidas por lei, destinadas à preservação da flora e da fauna segundo a Resolução CONAMA nº 303 (BRASIL, 2002a).

Os principais canais que deságuam nos estuários do Litoral das Reentrâncias Maranhenses são os rios Gurupi (perfazendo a divisa com o estado do Pará), Maraçumê, Turiaçu, Uru e Pericumã. As cidades principais que se assentam na linha de costa ou no fundo das rias são: Carutapera, Luís Domingues, Godofredo Viana, Cândido Mendes, Turiaçu, Apicum-Açu, Curupuru, Porto Rico do Maranhão, Cedral, Guimarães e Alcântara (essa última situada na entrada da borda ocidental da Baía de São Marcos).

Golfão e Baixada Maranhense

O Golfão Maranhense consiste na grande reentrância central do litoral do estado do Maranhão constituída pelas baías do Cumã, São José, São Marcos e Tubarão (FEITOSA, 2006), gerando, em sua retroárea, vasta planície fluviomarinha de topografia extremamente plana e praticamente ajustada ao nível de base geral, denominada Baixada Maranhense. Essa extensa planície interior é constituída por uma superfície sazonalmente inundada de pântanos de água doce (ou campos hidrófilos de várzea), lagos intermitentes, campos halófilos de várzea (Figura 3.5), pântanos salinos (ou apicuns), manguezais, planícies de maré lamosa (ou coroas de lama) (Figura 3.6) e canais estuarinos (TEIXEIRA; SOUZA FILHO, 2009), para onde convergem os principais rios genuinamente maranhenses: Itapecuru, Munim, Mearim, Grajaú e Pindaré. Trata-se de um “Pantanal Maranhense”. Extensos manguezais são observados ao longo da orla das baías e dos estuários e na ilha do Caranguejo. Ab’Saber (1960) destaca a gênese dessa vasta planície inundável interiorana, elaborada à retaguarda da ilha de São Luís, pontilhada de morrotes residuais e extensos lagos, denominada Baixada de Perizes.

A oeste da Baía de São José e ao longo da Baía do Cumã, o Golfão Maranhense está bruscamente delimitado por falésias e colinas tabulares dos Tabuleiros Costeiros de Alcântara-Guimarães. A leste das baías de São José e de Tubarão, o Golfão Maranhense delimita-se com os Lençóis Maranhenses. Por fim, o recôncavo da Baixada Maranhense é amplamente circundado por terrenos aplainados da Superfície Sublitorânea de Bacabal.



Figura 3.5 - Extensa planície fluviomarinha com campos halófilos de várzea (campo de Perizes). Rodovia BR-135, entre as cidades de São Luís e Bacabeira.



Figura 3.6 - Planície de maré (manguezais e coroas de lama), situada na orla oeste da baía de São Marcos. Imedições do porto de Cojupe.

Essa unidade parece estar associada a extensa zona de subsidência tectônica, controlada por falhas normais e transcorrentes de direções NNE-SSW e ENE-WSW (IBGE, 2011b), que orientam a direção principal do Golfão, o contorno da ilha de São Luís e os baixos cursos dos rios principais convergentes (COSTA et al., 1996; FERREIRA JR. et al., 1996a). Em superfície, registra-se diversificado conjunto de ambientes deposicionais de origens fluvial, fluviomarinha, lacustre ou mista. Em toda a região destaca-se grande domínio das planícies fluviomarinhas (**R1d**), com predomínio de mangues na orla das baías e estuários e de vegetação de brejo na baixada interior. Na porção norte-nordeste da ilha de São Luís e em trechos restritos de esporões da Baía de Tubarão, verificam-se exíguos cordões arenosos litorâneos (**R1e**), sendo que alguns deles apresentam retrabalhamento eólico gerando restritos campos de dunas.

Dentre os vastos terrenos baixos e alagadiços que caracterizam a extensa zona deposicional da Baixada Maranhense, ressalta-se a ilha de São Luís. Esta, posicionada no meio do Golfão Maranhense, representa um alto topográfico em meio ao litoral afogado, caracterizado por baixos platôs dissecados, por vezes desfeitos em relevo colinoso (NOVAES et al., 2007), estando sustentados por arenitos cretácicos da Formação Itapecuru e sedimentos pouco litificados de idade neógena do Grupo Barreiras, em condição similar à dos Tabuleiros Costeiros de Alcântara-Guimarães.

A ilha de São Luís consiste, portanto, de uma feição remanescente da erosão diferencial pela ação fluvial dos rios que convergem para o Golfão, podendo ser considerada uma ilha-península. Seu caráter insular é devido à existência de um estreito canal (canal dos Mosquitos) que a separa da Baixada de Perizes e interliga as baías de São José e São Marcos. Assim, durante as fases glaciais pleistocênicas de nível marinho mais baixo (nível de base geral em torno de 100 m abaixo do nível atual), a superfície tabular cretácico-terciária foi esculpida em baixos platôs dissecados ou desfeita em relevo de colinas, tendo sido entalhados profundos vales no eixo central do Golfão Maranhense. Destacam-se, nesse contexto, os vales escavados dos rios Itapecuru-Munim e Mearim-Grajaú-Pindaré (AB'SABER, 1960).

A partir da transgressão flandriana, registrada no atual período interglacial holocênico, processou-se expressivo entulhamento sedimentar da vasta depressão topográfica representada pelo Golfão Maranhense. Esses vales escavados foram submersos, gerando, respectivamente, as atuais baías de São José e de São Marcos, individualizadas, justamente, pela ilha de São Luís (AB'SABER, 1960).

Deve-se ressaltar, portanto, que as baías de São José e de São Marcos configuram-se, respectivamente, nos notáveis estuários dos rios Itapecuru e Mearim, que se prolongam por dezenas de quilômetros continente adentro, assim como toda a rede de drenagem que aflui para essas imensas rias consiste de canais meândricos divagantes, de moderada a alta sinuosidade, submetidos, periodicamente, a condições de refluxos de macromarés do Golfão (Figura 3.7) (AB'SABER, 1960; BARBOSA; NOVAES PINTO, 1973).

Destacam-se, ainda, na porção mais interiorana do Golfão Maranhense, grandes formações lacustres situadas no interior da planície fluviomarinha, mas já a montante do estuário do Mearim, tais como os lagos Açú, de Viana, Cajari, Penalva e de Pindaré-Mirim, dentre os maiores. Esses corpos d'água foram gerados por sedimentação fluvial dos baixos cursos dos rios Pindaré e Mearim, que bloquearam pequenos vales tributários escavados, originando tais lagos em meio à baixada (AB'SABER, 1960). Teixeira e Souza Filho (2009) ressaltam que os referidos lagos são bastante rasos e intermitentes, secando durante o período de estiagem. Ferreira Jr. et al. (1996a) sugerem origem neotectônica para alguns desses lagos, resultantes de bloqueio dos rios Turiaçu e Pericumã, devido a rotação de blocos basculados.

Registra-se, na costa ocidental da ilha de São Luís, banhada pela baía de São Marcos, a implantação do Porto de Itaqui – complexo portuário-industrial destinado à exportação de minérios (especialmente, minério de ferro e bauxita) da Província Mineral de Carajás pela Companhia Vale do Rio Doce. Na costa setentrional, ressaltam-se exíguas planícies costeiras e acumulações de dunas em bairros de São Luís, muito valorizados pelo capital imobiliário e com grande potencial turístico (Figura 3.8).

Capital do estado e polo econômico regional, São Luís apresenta grande potencial para turismo histórico e geoturismo. Entretanto, há desafios a serem solucionados na conservação do patrimônio histórico, além de problemas ambientais urbanos, culminados com o lançamento de efluentes domésticos nas belas praias da orla urbana, onde se situam os melhores equipamentos turísticos e hoteleiros do Maranhão. Do mesmo modo, os manguezais



Figura 3.7 - Gleissolos com campos hidrófilos de várzea sazonalmente inundados, junto à zona estuarina do rio Mearim. "Pantanal Maranhense", cercanias de Anajatuba.



Figura 3.8 - Estreita planície costeira da praia do Calhau, na zona urbana de São Luís, delimitada por campos de dunas e paleofalésias do grupo Barreiras. Linha de costa com intenso uso turístico.

que ocupam a borda das baías de São Marcos e de São José são muito vulneráveis aos impactos ambientais promovidos pela expansão urbana desordenada de São Luís e das atividades do Porto de Itaqui (NOVAES et al., 2007; SOUZA; FEITOSA, 2009).

O rio Itapecuru exerce função primordial no abastecimento de água da capital maranhense, sendo, portanto, estratégico o monitoramento de sua bacia hidrográfica, tendo em vista a conservação desse manancial hídrico. Nesse sentido, especial atenção deve ser conferida à ocorrência generalizada de processos erosivos ao longo da bacia, que conduzem ao assoreamento da calha do rio, e ao lançamento indiscriminado de efluentes domésticos pelo conjunto de cidades ribeirinhas que também utilizam as águas do rio Itapecuru (SILVA; CONCEIÇÃO, 2011).

Nos terrenos embrejados do recôncavo do Golfão Maranhense, o processo de ocupação humana baseia-se na pesca tradicional e na pecuária de subsistência (bovinos e bubalinos), sem promover significativos impactos ambientais nas vastas áreas planas e maldrenadas da Baixada Maranhense (SOUZA; FEITOSA, 2009).

Essa unidade consiste, portanto, de vastas planícies fluviolacustres e fluviomarinhas constituídas por sedimentos inconsolidados de idade holocênica. São terrenos argilosos e ricos em matéria orgânica, com predomínio de Gleissolos Háplicos, Gleissolos Sálidos, Gleissolos Tiomórficos e Solos de Manguê (IBGE, 2011a).

As cidades principais do Golfão Maranhense se situam no entorno das baías: Cedral e Guimarães (na Baía de Cumã), Alcântara e a capital São Luís (na Baía de São Marcos), São José do Ribamar, Icatu e Axixá (na Baía de São Luís). Na planície fluviolacustre da Baixada Maranhense destacam-se: Anajatuba, Cajapió, Viana, Cajari, Arari e Vitória do Mearim.

Lençóis Maranhenses

Os Lençóis Maranhenses abrangem a porção centro-leste da Planície Costeira Maranhense, posicionada entre as baías de São Luís e do Tubarão, a oeste; e o Delta do Parnaíba, a leste. Essa unidade situa-se entre a linha de costa e a planície fluvial do rio Munim e os Tabuleiros Costeiros da região de Chapadinha, sendo que estes são, em grande parte, sustentados por rochas sedimentares pouco litificadas do Grupo Barreiras.

Esse domínio abrange diversificado conjunto de padrões de relevo deposicionais de origem eólica (**R1f**) e representa a mais extensa área de sedimentação eólica de idade quaternária no Brasil, apresentando grande diversidade de dunas, tais como barcanas e parabólicas, dentre as principais (GONÇALVES et al., 2003). Predominam solos essencialmente quartzosos, muito profundos, com pequena adesão e coesão entre suas partículas, com baixa capacidade de retenção de umidade e de nutrientes, correspondendo a Neossolos Quartzarênicos. Quando ocorre acúmulo de matéria orgânica em profundidade, devido à

translocação, formam-se Espodosolos Ferri-Humilúvicos. Importantes áreas de manguezais também se desenvolvem ao longo dos baixos cursos dos rios Piriá, Preguiças e Novo.

Os Lençóis Maranhenses podem ser subdivididos de duas maneiras. Primeiramente, destaca-se o contraste entre as dunas móveis e as fixas (Figura 3.9). As dunas móveis, predominantemente do tipo barcanas (GASTÃO; MAIA, 2010), de grande beleza cênica e com acumulações que atingem 30 a 40 m de altura, ocupam áreas mais restritas junto à linha de costa, próximo às localidades de Santo Amaro do Maranhão, Barreirinhas, Paulino Neves e Tutoia. Em sua retaguarda, desenvolvem-se vastos campos de dunas fixas sobre planícies quaternárias ou galgando os tabuleiros costeiros, revestidas com vegetação pioneira ou de campo-cerrado. Esses campos de dunas, que se espriam em meio aos tabuleiros do Grupo Barreiras, estendem-se de 50 a 120 km interior adentro, atingindo as localidades de Urbano Santos e Santana do Maranhão.

Entretanto, a compartimentação geotectônica da costa leste do estado do Maranhão permite também proceder a uma divisão distinta dos Lençóis Maranhenses, sendo delimitada por nítido lineamento SW-NE entre as localidades de Presidente Vargas, Belágua e Barreirinhas, condicionado pelo arco tectônico Ferrer-Urbano Santos, originado durante a abertura do oceano Atlântico (BARBOSA; NOVAES PINTO, 1973; GASTÃO; MAIA, 2010; GÓES; ROSSETTI, 2001).

Registra-se, a noroeste de Urbano Santos, sobre terrenos abatidos da Bacia Sedimentar Barreirinhas, extensa superfície plana recoberta por dunas fixas, posicionadas em cotas entre 20 e 80 m, progressivamente crescentes em direção ao interior. A sudeste de Urbano Santos ressaltam-se terrenos sobrelevados do alto estrutural homônimo, sendo este possivelmente reativado por neotectônica. Ab'Saber (1960) advoga a ocorrência de processos epiro-

genéticos que soergueram a Faixa Costeira do Maranhão durante o Pliopleistoceno. A configuração resultante é a de uma superfície ondulada de tabuleiros pouco dissecados, embasada por arenitos pouco litificados de idade neógena do Grupo Barreiras e revestidos por dunas fixas. Tais tabuleiros, por sua vez, estão alçados em cotas entre 60 e 120 m. Gastão e Maia (2010) ressaltam a ocorrência de um padrão de drenagem paralelo a retangular sobre esses terrenos soerguidos dos Lençóis Maranhenses, o que reforça o controle estrutural sobre a porção leste-sudeste dessa unidade geomorfológica.

Datações por termoluminescência realizadas por Santos (2008) e Santos e Silva (2009) registram esparsas idades pleistocênicas para os campos de dunas mais interioranos (até 23.800 anos AP). Entretanto, a maioria dos registros acusa idades holocênicas, entre 7.200 e 3.000 anos AP. Segundo os autores citados, a maior atividade eólica associada à geração dos campos de dunas nos Lençóis Maranhenses está diretamente associada à ocorrência de paleoclimas mais áridos durante o Holoceno.

Dunas intercaladas com lagoas rasas interdunares sazonais (Figura 3.10), cujo piso é formado pelo Grupo Barreiras, representam as feições dominantes nos Lençóis Maranhenses. Tais lagoas são geradas durante o período úmido, quando o nível freático regional está mais elevado, formando um cenário geomorfológico de espetacular beleza e grande potencial geoturístico para todo o litoral leste maranhense, com aproveitamento turístico na cidade de Barreirinhas, com expressiva geração de emprego e renda para a população local.

Essa unidade consiste, portanto, de vastos campos de dunas móveis e fixas constituídas por sedimentos eólicos inconsolidados de idade holocênica. São terrenos arenosos e bem selecionados, que, quando revestidos de vegetação, geram Neossolos Quartzarênicos órticos e, subordinada-



Figura 3.9 - Relevo ondulado dos campos de dunas fixas, apresentando amplitude de relevo entre 20 e 30 m. Baixo vale do rio Munim, no limite ocidental dos Lençóis Maranhenses. Cercanias da localidade de Axixá.



Figura 3.10 - Vastos campos de dunas móveis, compreendendo lagoas rasas interdunares geradas durante o período úmido quando o nível freático regional está mais elevado. Limite oriental do Parque Nacional dos Lençóis Maranhenses. Cercanias da localidade de Barreirinhas.

mente, Latossolos Amarelos distróficos, principalmente em direção ao interior, onde se verifica maior participação dos sedimentos do Grupo Barreiras (IBGE, 2011a). As áreas de dunas são protegidas por lei e destinadas à preservação da fauna e da flora. Se submetidas ao uso, este deve ser de maneira sustentável, com a elaboração de planos de manejo, conforme Resolução CONAMA nº 303 (BRASIL, 2002a).

As cidades principais dos Lençóis Maranhenses e de seu entorno são: junto à Baía de Tubarão: Humberto Campos e Primeira Cruz; próximo ao litoral: Santo Amaro do Maranhão, Barreirinhas, Paulino Neves e Tutoia; na porção mais interiorana: Morros, Urbano Santos, Belágua e Santana do Maranhão.

Delta do Parnaíba

Na extremidade leste da Planície Costeira Maranhense, desenvolve-se o Delta do Parnaíba, a mais bem delineada feição deltaica em leque fluvial do litoral brasileiro (AB'SABER, 1960), localizado entre os estados do Piauí e Maranhão. A porção ocidental do Delta do Parnaíba está situada no estado do Maranhão e é delimitada, a sul e a oeste, pelos Lençóis Maranhenses.

Essa unidade, caracterizada por um ambiente deltaico de interface entre os sistemas sedimentares fluviais

e marinhos, apresenta diversificado conjunto de feições deposicionais de origens fluvial, fluviomarinha, eólica e marinha, com marcante domínio das planícies fluviomarinhas e mangues (**R1d**). Destaca-se, todavia, a ocorrência de canais distributários paralelos à linha de costa, bloqueados por cordões arenosos (**R1e**), por vezes retrabalhados em campos de dunas (**R1f**) gerados junto ao litoral (Figura 3.11). Nesse ambiente de baixa energia do interior da planície deltaica desenvolvem-se extensas áreas de manguezais. A vegetação de mangue tem grande importância para a bioestabilização da planície fluviomarinha e na deposição de sedimentos fluviais em suas margens. Na planície deltaica do rio Parnaíba, os manguezais funcionam como área de amortecimento dos impactos provocados por inundações fluviais e avanços do mar (FERREIRA; DANTAS, 2010). Acrescente-se sua importância ecológica, por se tratar de berçário para reprodução de várias espécies de crustáceos e peixes. Apenas a montante da localidade de Araíoses observa-se uma sedimentação tipicamente aluvial, gerando as amplas planícies de inundação (**R1a**) do baixo curso do rio Parnaíba.

Essa planície fluviodeltaica, constituída por sedimentos inconsolidados de idade holocênica, consistem de terrenos argilosos ou argiloarenosos ricos em matéria orgânica, caracterizados como Solos de Mangue e Gleissolos

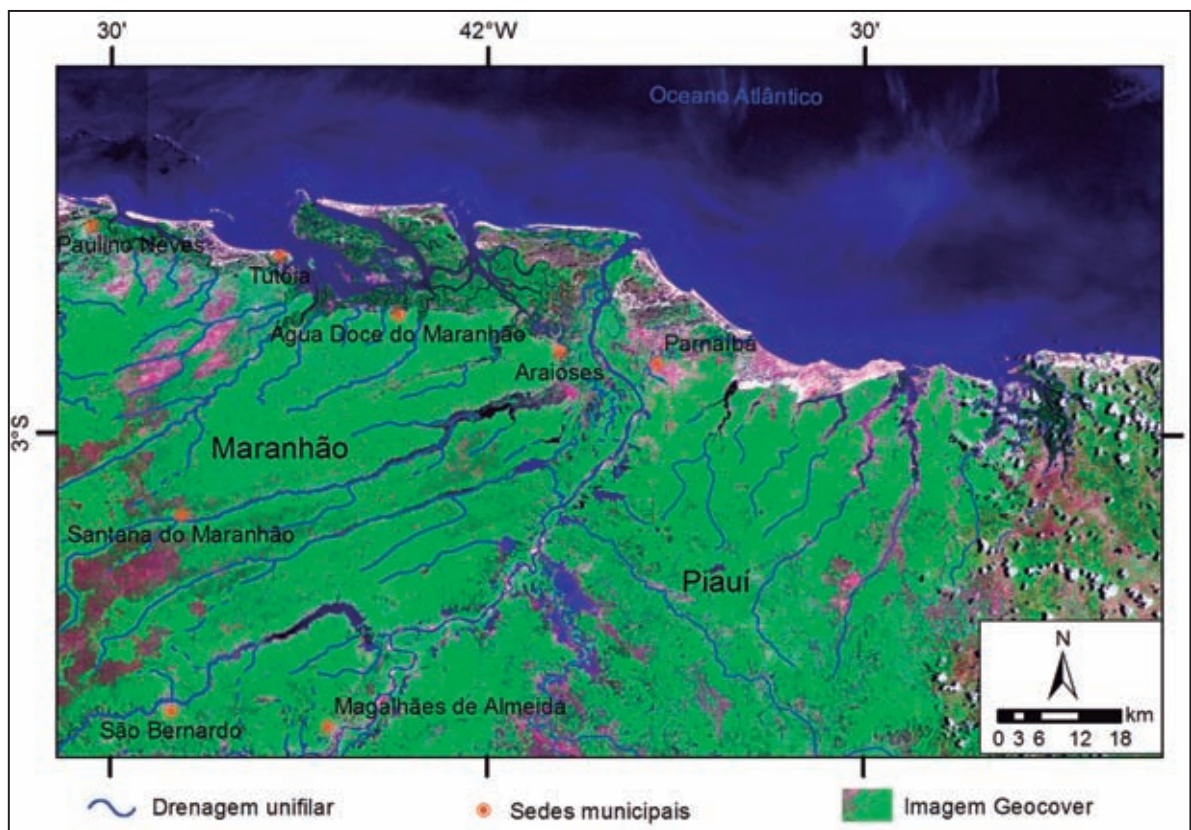


Figura 3.11 - Imagem de satélite Geocover da planície deltaica do rio Parnaíba, com franco predomínio de manguezais (cor verde-escuro) em meio à extensa rede de canais distributários. Junto à linha de costa, destacam-se cordões arenosos retrabalhados por ação eólica, originando estreitas faixas de dunas, acompanhando o litoral. A oeste, ressaltam-se campos de dunas fixas (cores verde-claro ou rósea) e campos de dunas móveis (cor branca) dos Lençóis Maranhenses.

Sálcos. Na porção interna do delta, dominada pela planície aluvionar, predominam solos profundos, estratificados, de boa fertilidade natural, compreendendo Neossolos Flúvicos eutróficos (IBGE, 2011a). Os estudos efetuados no âmbito do ZEE Baixo Parnaíba (BRASIL, 2002b) enfatizam a riqueza natural da região e seu potencial geoturístico, além de sua expressiva fragilidade ambiental. As cidades principais do Delta do Parnaíba são: Tutoia, Água Doce do Maranhão e Araiões.

Tabuleiros Costeiros

Os Tabuleiros Costeiros, no estado do Maranhão, representam o domínio geomorfológico que ocorre em duas áreas principais: Tabuleiros de Chapadinha, a sul dos vastos campos de dunas fixas dos Lençóis Maranhenses, e Tabuleiros de São Luís e Alcântara-Guimarães, entre o Golfão Maranhense e o noroeste do estado. Esses tabuleiros são sustentados, em geral, por rochas sedimentares pouco litificadas, de idade neógena, do Grupo Barreiras, sobrepostas a rochas sedimentares da Formação Itapecuru. Consistem de formas de relevo tabulares, apresentando extensos topos planos, com predomínio de processos de pedogênese e formação de solos espessos e bem drenados, com baixa suscetibilidade à erosão.

Tabuleiros de Chapadinha

Os Tabuleiros de Chapadinha, denominados Tabuleiros Sublitorâneos por IBGE (2011c), ocupam extensa superfície tabular não dissecada a sul dos vastos campos de dunas fixas dos Lençóis Maranhenses. Esses tabuleiros são sustentados por sedimentos do Grupo Barreiras, sendo, frequentemente, capeados por coberturas detrito-lateríticas bem elaboradas (IBGE, 2011b).

A unidade é delimitada, a norte, pelos Lençóis Maranhenses; a leste, pelo baixo vale do rio Parnaíba; a sul e oeste, pelas Superfícies Tabulares da Bacia dos Rios Munim e Itapecuru. É representada por extensa superfície planáltica conservada e demarcada por curtos rebordos erosivos, com caimento muito suave de sul para norte, apresentando baixíssima densidade de drenagem (**R2b1**), todavia, ligeiramente mais elevada que as superfícies dissecadas circunjacentes (**R2b2**). Essa vasta superfície tabular registra, portanto, cotas baixas, que variam entre 80 e 120 m.

Sobre esses baixos platôs não dissecados desenvolvem-se solos muito profundos (>2.0 m), bem drenados e de baixa fertilidade natural, predominando, nas planuras dos topos dos baixos platôs, Latossolos Amarelos distróficos, e, nas áreas levemente dissecadas, Plintossolos Pétricos concrecionários argissólicos e Argissolos Vermelho-Amarelos distróficos petroplínticos (IBGE, 2011a). A ocorrência de solos concrecionários sugere que houve alternância de períodos de encharcamento e secagem no passado, estando hoje esse processo superado, sendo os solos permeáveis.

Dentre as principais localidades que se situam nessa

unidade, destacam-se: Chapadinha (posicionada no limite ocidental dos tabuleiros), Anapurus, Mata Roma. No rebordo oriental, voltado para o vale do rio Parnaíba, os lugarejos de Brejo e Buriti.

Tabuleiros de São Luís e Alcântara-Guimarães

Os tabuleiros de São Luís e Alcântara-Guimarães, denominados Tabuleiros Costeiros Maranhenses por IBGE (2011c), abrangem parte do Golfão Maranhense e o litoral noroeste do estado do Maranhão, entre as baías de São Luís, São Marcos e Turiaçu, incluindo a ilha de São Luís. Esses tabuleiros são sustentados por sedimentos do Grupo Barreiras ou, subordinadamente, por espessos regolitos de arenitos muito intemperizados, de idade cretácica, da Formação Itapecuru.

Essa unidade é seccionada por profundas reentrâncias formadas pelas baías ou estuários de Turiaçu, do Cumã e São Marcos e está delimitada, a sul e sudoeste, pela Superfície do Noroeste do Maranhão e Baixada Maranhense. A norte, os tabuleiros se encerram, por vezes, de forma abrupta, por meio de falésias e paleofalésias, com extensas planícies fluviomarinhas e mangues (**R1d**) do litoral noroeste do Maranhão. É representada por extensos tabuleiros de baixa amplitude de relevo (invariavelmente inferiores a 30 m) (**R2a1**). Entretanto, na porção interior da península de Alcântara e da ilha-península de São Luís, os tabuleiros encontram-se mais intensamente esculpidos em relevo de baixos platôs dissecados (**R2a2**) e colinas tabulares (**R4a1** e **R4a2**), francamente entalhados por uma rede de canais de moderada densidade de drenagem (Figura 3.12). Essa vasta superfície tabular, mais ou menos dissecada, apresenta cotas baixas que variam entre 30 e 70 m. Em situação diversa à observada no conjunto dos tabuleiros, esses tabuleiros dissecados apresentam suscetibilidade à erosão moderada a alta, devido à franca exposição dos espessos pacotes de arenitos arcoseanos friáveis.

Sobre esses terrenos, utilizados, em grande parte, para atividades agropecuárias, desenvolvem-se solos muito profundos, bem drenados, muito friáveis e de baixa fertilidade natural, espessos e lixiviados, predominando Latossolos Amarelos e Vermelho-Amarelos distróficos. Subordinadamente, são registrados solos com gradiente textural, profundos, mais suscetíveis à erosão que os Latossolos, que correspondem a Argissolos Vermelho-Amarelos distróficos, e solos com problemas de drenagem atual, como Plintossolos Háplicos. Ressaltam-se, ainda, Plintossolos Pétricos concrecionários, que representam solos que tiveram limitações de drenagem no passado e desenvolveram concreções ferruginosas irreversíveis no perfil (IBGE, 2011a).

Dentre as cidades que se localizam nessa unidade destacam-se, na orla das rias dominadas por falésias: Alcântara, Guimarães, Cedral e Curupupu. Sobre os tabuleiros, destacam-se: Mirinzal, Central do Maranhão, Serrano do Maranhão e Bacuri, além de grande parte do sítio urbano da capital (São Luís).

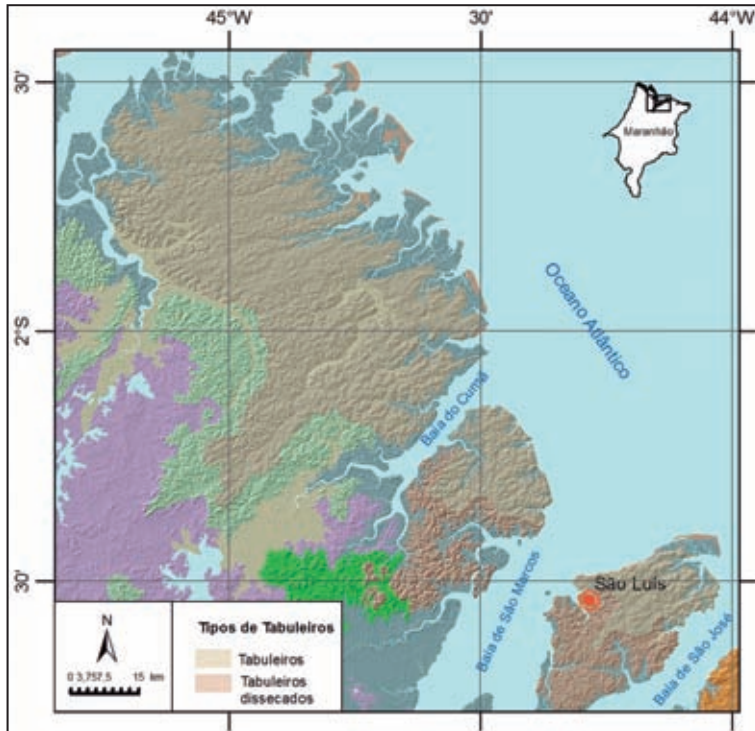


Figura 3.12 - Imagem em relevo sombreado dos tabuleiros e tabuleiros dissecados (cores terrosas) esculpidos em rochas sedimentares dos grupos Barreiras e Itapecuru, formando a ilha de São Luís e a península de Alcântara. Litoral recortado do Golfão Maranhense, com destaque para as baías do Cumã e de São Marcos e espriada sedimentação fluviomarinha em retaguarda (cor cinza) da Baixada Maranhense.

Superfícies Aplainadas do Noroeste do Maranhão

O domínio geomorfológico Superfícies Aplainadas do Noroeste do Maranhão, anteriormente denominado Superfície do Rio Gurupi (IBGE, 1995; DANTAS; TEIXEIRA, 2011), ocupa extensa área rebaixada entre o Golfão Maranhense e a divisa do estado do Pará, sendo sustentado tanto pelo embasamento ígneo-metamórfico do Cráton São Luís quanto por coberturas sedimentares de idade cretácica da Formação Itapecuru. Essa nova proposta de denominação é justificada pelo fato de que esses terrenos transcendem à área drenada pelo rio Gurupi e abrangem, também, extensas porções das bacias hidrográficas dos rios Maracaçumé, Turiaçu e Pericumã, dentre as principais.

Esse domínio é delimitado, a norte, pelas planícies fluviomarinhas das Reentrâncias Maranhenses; a leste, pelo Golfão e Baixada Maranhense; e a sul, pelo *front* entalhado do Planalto Dissecado Gurupi-Grajaú. Por fim, esse domínio estende-se, a oeste, adentrando pelo território do Pará. É representado por extensa superfície arrasada por processos de erosão generalizados do relevo, mantendo-se uma superfície de erosão conservada ou levemente reafeiçoada durante o Quaternário, com caimento muito suave de sul para norte, apresentando densidade de drenagem baixa

a moderada. Esse conjunto de superfícies aplainadas registra, portanto, cotas baixas que variam entre 20 e 130 m, com elevações residuais que não ultrapassam 250 m de altitude.

Consiste, portanto, em relevo modelado em diversificado substrato geológico, profundamente arrasado por prolongados processos de denudação e aplainamento e submetido à forte atuação do intemperismo químico, gerando espessos regolitos. A resultante geomorfológica é um cenário de vastas e monótonas superfícies de aplainamento (**R3a2**) (Figura 3.13), por vezes, desfeitas em relevo colinoso de baixa amplitude de relevo (**R4a1**). Tal relevo torna-se mais expressivo sobre o embasamento ígneo-metamórfico de idade pré-cambriana do Cráton São Luís. Ressaltam-se, de forma esparsa, pequenas cristas isoladas (**R4a2**) e *inselbergs* (R3b), mantidas por rochas muito resistentes ao intemperismo e à erosão, ou baixos platôs dissecados (**R2b2**), sustentados por crostas lateríticas. Todas essas formas estão ligeiramente mais elevadas frente ao piso da paisagem regional.

Destacam-se, ainda, nesse domínio, vastas zonas abaciadas ocupadas por extensas planícies de inundação e formações lacustres (**R1a**), especialmente ao longo dos baixos cursos dos rios Turiaçu e Pericumã. Apresenta padrão de drenagem variável, de dendrítico a subdendrítico, a paralelo e retangular, com ocorrência de cotovelos de drenagem, o que denota expressivo controle estrutural na configuração da rede de drenagem e na gênese dos lagos, devido à reativação neotectônica de estruturas originadas no Mesozoico durante a abertura do oceano Atlântico Equatorial (COSTA et al., 1996; FERREIRA JR. et al., 1996a, 1996b; MARTINS et al., 2007).

Esse conjunto de formas de relevo resulta do arrasamento generalizado de um complexo substrato geológico



Figura 3.13 - Extensa superfície aplainada com relevo levemente ondulado. Rodovia BR-316, entre as localidades de Zé Doca e Araganã..

que compreende arenitos arcoseanos, siltitos e argilitos da Formação Itapecuru, que ocupam a maior parte da área, e rochas do Cráton São Luís. Esse cráton, estabilizado desde o Paleoproterozoico, é constituído, predominantemente, por rochas ígneas da Suíte Intrusiva Tromaí (tonalitos, dioritos, granodioritos e monzogranitos). Em menor proporção, afloram rochas metavulcânicas, anfíbolitos, quartzitos e xistos das formações Aurizona, Pirocaua, Matará e Chega-Tudo. Ao redor do escudo cratônico, aflora uma faixa de dobramentos, de idade neoproterozoica, constituída, predominantemente, por xistos e quartzitos das formações Gurupi e Jaritequara.

Sobre esses terrenos desenvolve-se, originalmente, Floresta Ombrófila Densa de terras baixas (IBGE, 2011d), assentada em solos drenados e de baixa fertilidade natural, predominando Plintossolos Argilúvicos distróficos e Argissolos Vermelho-Amarelos distróficos e plínticos. Ocorrem, subordinadamente, Latossolos Amarelos distróficos, Plintossolos Pétricos e Argissolos Vermelhos distróficos. Nas amplas várzeas ao redor dos lagos de Pinheiro e Turilândia, assim como nos baixos cursos dos rios Gurupi e Maracaçumé, desenvolvem-se solos hidromórficos, por vezes, com influência fluviomarinha, tais como Gleissolos Háplicos eutróficos, Gleissolos solódicos e vérticos e Gleissolos Tiomórficos e Salinos (IBGE, 2011a).

Os terrenos representados pelas Superfícies Aplainadas do Noroeste do Maranhão apresentam-se, em larga escala, desmatados e convertidos em pastagens para pecuária extensiva. As principais cidades que se situam nesse domínio são: Araganã, Nova Olinda do Maranhão, Santa Luzia do Paruá, Presidente Médici, Governador Nunes Freire, Maracaçumé, Turilândia, Santa Helena e Pinheiro.

Superfície Sublitorânea de Bacabal

A Superfície Sublitorânea de Bacabal, seguindo denominação proposta por Barbosa e Novaes Pinto (1973), representa um relevo monótono caracterizado por vastas superfícies de aplainamento (**R3a2**), com topografia plana a levemente ondulada e, subordinadamente, por colinas baixas e suaves (**R4a1**), modeladas em vales amplos com baixa a moderada densidade de drenagem e padrão dendrítico (Figura 3.14). Esse domínio circunda a Baixada Maranhense e representa uma verdadeira região mesopotâmica, entrecruzada pelos rios Pindaré, Grajaú, Mearim e Itapecuru, todos convergentes ao Golfão Maranhense. A Mesopotâmia Maranhense constitui-se de terrenos planos, adjacentes às baixadas alagadas e às formações lacustres, apresentando, inclusive, zonas abaciadas inundáveis em seu interior (Figura 3.15). Tais superfícies aplainadas estão embasadas integralmente por arenitos imaturos, calcários, siltitos e argilitos de idade cretácica da Formação Itapecuru. Frequentemente, esses terrenos estão revestidos com perfis detrito-lateríticos imaturos no nível das superfícies de aplainamento.

Esse domínio circunscreve um amplo arco voltado para norte que abarca a Baixada e o Golfão Maranhense e que adentra em direção a sul, pelo território do Maranhão, por dezenas de quilômetros até atingir localidades como Coroatá, Peritoró, Pedreiras, Paulo Ramos e Santa Luzia. Está delimitado, a leste, pelos Lençóis Maranhenses; a sudeste, pelas Superfícies Tabulares das Bacias dos Rios Itapecuru e Munim; a sul e sudoeste, pelo *front* entalhado Planalto Dissecado Gurupi-Grajaú; a oeste, pelas Superfícies Aplainadas do Noroeste do Maranhão. Consiste em extensa superfície de erosão conservada ou levemente remodelada em colinas muito amplas. Esse conjunto de superfícies aplainadas está ajustado no nível de base do Golfão Maranhense e registra cotas muito baixas, que variam entre 10 e 70 m de altitude, sem ocorrência expressiva de relevos residuais.

Sobre esses terrenos desenvolve-se, originalmente, vegetação transicional de mata de cocais (babaçu) e Floresta Ombrófila Aberta (IBGE, 2011d). São solos moderadamente a bem drenados e de fertilidade natural que varia conforme a fácies deposicional da Formação Itapecuru. Verifica-se predomínio de Plintossolos Argilúvicos distróficos, Plintossolos Pétricos concrecionários argissólicos e Argissolos Vermelho-Amarelos distróficos e plínticos e, subordinadamente, Plintossolos Háplicos distróficos. Nas áreas abaciadas e inundáveis que ocorrem nas depressões embutidas na superfície regional ou nos fundos de vales dos rios principais, predominam solos hidromórficos, tais como Gleissolos Háplicos eutróficos, Gleissolos solódicos e vérticos e Gleissolos Tiomórficos e Salinos (IBGE, 2011a).

Curiosamente, extenso polígono centrado na cidade de Bacabal, cujos vértices estão compreendidos entre as localidades de Pio XI, Lago Verde, Alto Alegre do Maranhão, Lima Campos, Lago da Pedra e Brejo de Areia, apresenta solos de boa fertilidade natural e alto potencial agrícola, com predomínio de Luvisolos Crômicos pálidos (Figura 3.16) e Luvisolos Háplicos órticos, bem como ocorrência de Argissolos Vermelho-Amarelos eutróficos e Chernossolos Argilúvicos órticos (IBGE, 2011a).

O desenvolvimento desses solos em clima subúmido a úmido, tal como verificado nessa área, deve estar associado à ocorrência de rochas que disponibilizem grandes quantidades de bases (K, Ca, Mg, Na) para gerar solos de alta fertilidade natural (rochas carbonáticas, fosfáticas ou rochas pelíticas de ambiente redutor, ricas em argilominerais expansivos existentes no diversificado pacote sedimentar da Formação Itapecuru). De qualquer forma, trata-se de área ideal para implementar projetos agrícolas com uso intensivo de mão de obra e baixo dispêndio de capital e tecnologia (agricultura familiar) em detrimento do atual cenário de grandes pastagens para pecuária extensiva.

Dentre as principais localidades que se situam nesse domínio, destacam-se: Bacabeira, Rosário, Santa Rita, Itapecuru-Mirim, Miranda do Norte, São Mateus do Maranhão, Bacabal, Alto Alegre do Maranhão, Coroatá, Peritoró, Lima Campos, Pedreiras, Trizidela do Vale, Lago dos Rodrigues, Lago do Junco, Lago da Pedra, Paulo Ramos,



Figura 3.14 - Superfície aplainada bem elaborada, apresentando relevo quase plano e esparsos testemunhos, onde percorre a Estrada de Ferro Carajás-São Luís. Rodovia MA-333, entre as localidades de Anajatuba e Colombo..



Figura 3.15 - Vasta superfície aplainada com relevo suavemente ondulado e ocorrência de esparsas elevações residuais e zonas abaciadas, alagáveis, similares à Baixada Maranhense. Argissolos Vermelhos e Vermelho-Amarelos nas suaves elevações (tesos) e Gleissolos nos baixios e planícies fluviais. Rodovia BR-316, entre as localidades de Alto Alegre do Maranhão e Bacabal.



Figura 3.16 - Superfícies aplainadas com relevo levemente ondulado e desenvolvimento de solos de boa fertilidade natural. Rodovia MA-245, entre as localidades de Bacabal e Lago da Pedra.

Vitorino Freire, Pio XII, Bela Vista do Maranhão, Santa Inês, Santa Luzia, Zé Doca, Pindaré-Mirim, Penalva e São Bento.

Superfícies Aplainadas da Bacia do Rio Parnaíba

As Superfícies Aplainadas da Bacia do Rio Parnaíba, seguindo denominação proposta por Ferreira e Dantas (2010) para o estado do Piauí, consistem em um conjunto de superfícies aplainadas em diferentes níveis altimétricos (**R3a2**), invariavelmente em cotas baixas, entre 30 e 200 m. No estado do Maranhão, esse domínio ocupa estreita e comprida faixa situada a oeste do rio Parnaíba, em seu baixo-médio curso, estando imediatamente delimitada por curtas escarpas e rebordos erosivos (**R4e**) dos Tabuleiros de Chapadinha e das Superfícies Tabulares das Bacias dos Rios Itapecuru e Munim, além das Superfícies Tabulares do Rio Parnaíba, mais ao sul. Apenas no baixo curso do rio Parnaíba, a jusante da localidade de Milagres do Maranhão, esse domínio se encontra recoberto por expressiva sedimentação aluvial, gerando amplas planícies fluviais (**R1a**), que se interdigitam, ainda mais a jusante, com as planícies fluviomarinhas do Delta do Parnaíba.

Essa área está embasada, fundamentalmente, por formações da sequência permocarbonífera da Bacia do Parnaíba (arenitos, folhelhos, siltitos e calcários, de idade carbonífera, das formações Poti e Piauí, e de idade permiana, das formações Pedra de Fogo e Motuca). Entretanto, é notável a ausência de expressiva sedimentação ao longo do rio Parnaíba, podendo ser identificadas, esporadicamente, algumas planícies fluviais.

Sobre essas superfícies aplainadas e ajustadas ao nível de base do rio Parnaíba desenvolvem-se diversos tipos de solos, profundos a muito profundos, com concreções, bem drenados e com baixa fertilidade natural, como Plintossolos Pétricos concrecionários argissólicos, Argissolos Vermelho-Amarelos distróficos e, até mesmo, Latossolos Amarelos distróficos (IBGE, 2011a). Os terrenos fortemente dissecados com morros-testemunhos e depósitos de tálus de sopé de encosta, por sua vez, apresentam solos jovens e rasos de boa fertilidade natural (Neossolos Litólicos e Cambissolos) (IBGE, 2011a). Nos fundos de vales, nas superfícies mais rebaixadas, entulhadas por deposição fluvial, e nas rampas de colúvio, embutidas em cotas mais baixas e com maior disponibilidade de água, com predomínio de Neossolos Flúvicos eutróficos e Planossolos Háplicos distróficos, observa-se a expansão do cultivo de cana-de-açúcar e de bambu, em detrimento de culturas de subsistência tradicionais e do babaçu, notadamente nos municípios de Duque Bacelar e Coelho Neto (ESPÍNDOLA, 1992), situados no médio vale do rio Parnaíba (Figura 3.17).

Dentre as principais localidades que se situam nesse domínio, sempre às margens do rio Parnaíba, destacam-se: Santa Quitéria do Maranhão, Milagres do Maranhão, Brejo, Duque Bacelar, Coelho Neto, Timon, Parnarama, São Francisco do Maranhão e Barão do Grajaú.



Figura 3.17 - Amplo fundo de vale entulhado em meio a relevo de colinas dissecadas, resultante do desmonte da superfície tabular pretérita, modelada em arenitos de idade permiana da formação Pedra de Fogo. Plantação de cana-de-açúcar em larga escala nas planícies quaternárias. Rodovia MA-034, próximo à localidade de Coelho Neto.

Superfícies Tabulares das Bacias dos Rios Itapecuru e Munim

As Superfícies Tabulares das Bacias dos Rios Itapecuru e Munim, denominação adaptada da proposta por IBGE (2011c), estão sustentadas, predominantemente, por arenitos cretácicos das formações Corda e Itapecuru, frequentemente capeadas por coberturas detrítico-lateríticas. Secundariamente, afloram, em alguns fundos de vales, siltitos e arenitos finos, de idade permiana, da Formação Motuca, e folhelhos escuros ou esverdeados, calcários e siltitos de idade cretácica, da Formação Codó.

Esse domínio está representado por extenso planalto alçado em altitudes modestas e submetido a processo diferencial de entalhamento e denudação, promovendo progressiva destruição da superfície tabular original. Tal processo de dissecação do relevo ocorre, progressivamente, de sudeste para noroeste, em direção à Baixada Maranhense.

Registram-se formas de relevo variadas que gradam, conforme a intensificação do processo denudacional, de baixos platôs (**R2b1**), caracterizados por superfícies tabulares conservadas (Figura 3.18), para baixos platôs dissecados (**R2b2**), à medida que aumenta o grau de incisão vertical da rede de drenagem (Figura 3.19); em seguida, para colinas dissecadas (**R4a2**), a partir do estágio em que os divisores planos dos baixos platôs são erodidos (Figura 3.20); e em superfícies aplainadas degradadas (**R3a2**), onde se observa a consolidação de uma nova superfície de aplainamento rebaixada e ajustada ao nível de base do Golfão Maranhense, pontilhada por relevos residuais, testemunhos da superfície tabular pretérita. Essa superfície é gerada a partir do espriamento dos atuais fundos de vales dos rios Munim, Iguara, Itapecuru, Codozinho e das



Figura 3.18 - Superfície plana do topo dos baixos platôs capeada por espriada cobertura neógena (NQC), convertida para agricultura. Rodovia MA-034, entre as localidades de Caxias e Coelho Neto.



Figura 3.19 - Baixos platôs incipientemente dissecados; desenvolvimento de Plintossolos Pétricos sobre arenitos finos da formação Corda. Rodovia BR-226, entre as localidades de Presidente Dutra e Baú.



Figura 3.20 - Colinas tabulares e morros-testemunhos sustentados por crostas lateríticas (Plintossolos Pétricos) apresentam-se como relevos residuais em meio à ampla superfície de aplainamento. Rodovia BR-135, entre as localidades de Peritoró e Capinzal do Norte.

Flores (esse último já afluente do rio Mearim) e coalesce com a Superfície Sublitorânea de Bacabal.

O modelo de evolução de relevo descrito para esse domínio é calcado em progressivo dismantelamento de um baixo planalto sustentado por crostas detrito-lateríticas sobrepostas a arenitos friáveis fortemente intemperizados e pode ser perfeitamente explicado por processos de etchplanação em regiões tropicais úmidas e semiúmidas, conforme preconizado por Büdel (1982). As crostas lateríticas retardam, sobremaneira, a erosão e denudação dos baixos platôs, mas, a partir do estágio em que essa capa protetora é removida, todo o regolito subjacente é erodido em um cenário de erosão acelerada e rápido reajuste ao nível de base regional (Figura 3.21).

Ab'Saber (1960) já havia assinalado que entre Miranda do Norte e Peritoró o relevo estava sustentado

por crostas pisolíticas, com ocorrência disseminada de morros-testemunhos modelados em rochas sedimentares que se ressaltam topograficamente na paisagem local. Essa fase de laterização, que atua indistintamente sobre rochas da Formação Itapecuru e do Grupo Barreiras, atesta uma fase de pediplanação de idade neógena (Pliopleistoceno), correspondente à gênese dos lateritos imaturos registrados no Pará (COSTA, 1991).

Destaca-se, assim, intenso processo de dismantelamento da superfície original dos baixos platôs, em reajuste ao nível de base atual, condicionado pela drenagem principal que deságua no Golfão Maranhense. Essa superfície de baixos planaltos é, portanto, destruída por densa rede de canais tributários dos rios Itapecuru e Munim, gerando uma superfície aplainada interplanáltica ajustada ao nível de base regional, marcada pela ocorrência esparsa ou frequente de colinas isoladas de topos tabulares e morros-testemunhos que se impõem na paisagem como remanescentes da superfície tabular original.

Essas superfícies tabulares, mesmo posicionadas em cotas bastante modestas (130 a 250 m), seriam correlacionáveis à Superfície Sul-Americana, de idade paleógena (BARBOSA et al., 1973). Os processos erosivos são significativos, em escala regional, devido à ocorrência de chuvas intensas e concentradas entre os meses de janeiro e abril.

Esse domínio está delimitado, a leste e sudeste, pelas Superfícies Tabulares do Rio Parnaíba e Superfícies Aplainadas da Bacia do Rio Parnaíba, em posição de cavaleiro; a sul, pelas Chapadas do Alto Rio Itapecuru; a sudoeste, pelos Baixos Platôs de Barra do Corda; a oeste, pelo Planalto Dissecado Gurupi-Grajaú; a oeste e noroeste, pela Superfície Sublitorânea de Bacabal.

Sobre esses terrenos desenvolvem-se, originalmente, cerrados e florestas estacionais decíduas a semidecíduas, ou formações transicionais (IBGE, 2011d). Verifica-se, nos topos planos desses baixos platôs não dissecados, predomínio de solos muito profundos, bem drenados, bastante friáveis, de baixa fertilidade natural (Latosolos Amarelos distróficos e, subordinadamente, Neossolos Quartzarênicos) (Figura 3.22). Estão associados a solos profundos, com presença de nódulos e concreções por segregação de ferro (Plintossolos Pétricos concrecionários). Constata-se, pontualmente, expansão das práticas agrícolas associadas à supressão da vegetação original. Nos baixos platôs dissecados e colinas tabulares, dominam solos pouco profundos, em um cenário de intensa morfogênese, tais como Plintossolos Pétricos concrecionários argissólicos e Argisso-

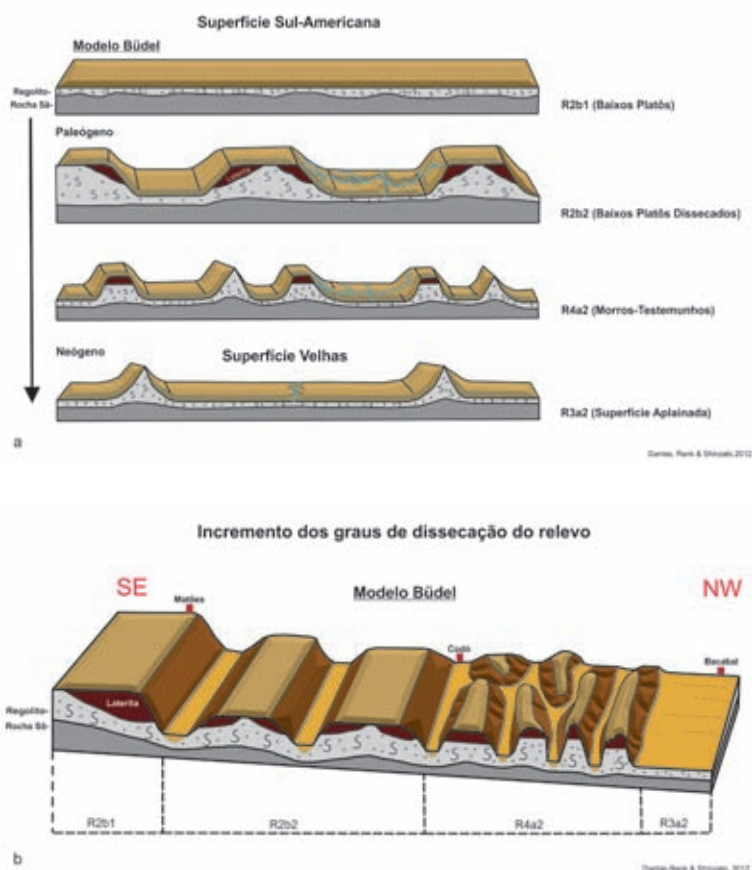


Figura 3.21a/b - Modelo evolutivo do relevo do centro-leste do estado do Maranhão, entre as cidades de Caxias e Bacabal, apresentando evolução geomorfológica similar ao modelo geral formulado por Büdel (1982): a leste, predominam as superfícies tabulares não dissecadas, sustentadas por crostas lateríticas resistentes ao intemperismo e à erosão (R2b1); à medida que se encaminham para o centro e o norte, esses baixos platôs são progressivamente entalhados para um relevo de baixos platôs dissecados (R2b2); a intensificação do grau de dissecção promove o completo dismantelamento dos baixos platôs para um relevo de colinas tabulares (R4a2) e morros-testemunhos (R3b); o arrasamento total da antiga superfície tabular gera, por fim, uma vasta superfície de aplainamento (R3a2) ajustada à Baixada Maranhense (R1d).

los Vermelho-Amarelos plínticos, distróficos e eutróficos. Por fim, nas jovens superfícies aplainadas, desenvolvidas a partir dos atuais fundos de vales, predominam Plintossolos Háplicos distróficos e eutróficos, Neossolos Quartzarênicos órticos e Planossolos Nátricos distróficos (IBGE, 2011a). Esse último apresenta, além do gradiente textural abrupto, concentrações mais elevadas de sódio que dispersam a argila, formando um horizonte subsuperficial com estrutura prismática colunar de drenagem imperfeita.

A ocorrência de solos de boa fertilidade natural – Luvisolos Crômicos associados a Chernossolos Argilúvicos, Argissolos Vermelhos eutróficos e Vertissolos Háplicos – nas imediações das localidades de Presidente Dutra, São José dos Basílios e Tuntun, parece estar correlacionada ao afloramento de folhelhos e calcários da Formação Codó.

Dentre as principais localidades que se situam nesse domínio, destacam-se: Codó, Afonso Cunha, Timbiras, Aldeias Altas, Caxias, Capinzal do Norte, Presidente Dutra, Tuntun, São Domingos do Maranhão e Buriti Bravo.



Figura 3.22 - Solos profundos, lixiviados e bem drenados (Latosolos Amarelos), desenvolvidos em relevo de baixos platôs sustentados por coberturas detríticas de idade neógena. Rodovia BR-316, entre as localidades de Timon e Caxias.

Superfícies Tabulares da Bacia do Rio Parnaíba

As Superfícies Tabulares da Bacia do Rio Parnaíba (denominação adaptada da proposta por IBGE, 2011c) estão representadas por uma superfície planáltica intensamente dissecada, tanto por tributários do rio Parnaíba quanto por tributários do rio Balseiro, afluente do rio Itapecuru. Os remanescentes do planalto original (**R2b3**) e seus rebordos escarpados (**R4e**) estão soerguidos em cotas ligeiramente mais baixas (entre 400 e 450 m) que as da Chapada do Azeitão, localizada a oeste desse domínio (Figura 3.23). Entretanto, o vigoroso processo de entalhamento e denudação promoveu a destruição da superfície tabular original em um relevo de baixos platôs com maior ou menor intensidade de entalhamento fluvial (**R2b2** e **R2b1**). Nos eixos de drenagem, observa-se nítido processo de pedimentação calcado em recuo de vertentes e abertura de amplos vales (Figura 3.24), repetindo, em menor proporção, a dinâmica do relevo registrada nas Chapadas do Alto Rio Itapecuru. Tal processo de dissecção do relevo está diretamente relacionado ao rebaixamento do nível de base regional imposto pelo aprofundamento da calha do rio Parnaíba, embutido em cotas entre 150 e 200 m. No segmento mais encaixado do médio curso desse rio foi construída a Usina Hidrelétrica Boa Esperança, junto à localidade de Nova Iorque.

Esse domínio está sustentado por um conjunto diversificado de litologias, compreendendo formações da sequência permocarbonífera da Bacia Sedimentar do Parnaíba (arenitos, folhelhos, siltitos e calcários, de idade carbonífera, das formações Poti e Piauí; de idade permiana, das formações Pedra de Fogo e Motuca; e de idade jurássica, da Formação Pastos Bons). No topo dos planaltos mais elevados, afloram arenitos cretácicos da Formação Corda, frequentemente capeados por coberturas detrítico-lateríticas.

Essas superfícies tabulares consistem, portanto, em um prolongamento oriental das Chapadas do Alto Rio Itapecuru, todavia, pouco menos soerguidas e muito mais dissecadas. Ao norte, esse domínio está delimitado pelas Superfícies Tabulares do Rio Itapecuru; a leste e sudeste, pelas Superfícies Aplainadas da Bacia do Rio Parnaíba, na divisa com o Piauí.

Sobre esses terrenos desenvolvem-se, originalmente, cerrados e campos-cerrados, intercalados com manchas de floresta estacional decídua (IBGE, 2011d). Essas pastagens naturais representaram um histórico vetor de povoamento empreendido pela frente pecuária vinda de Pernambuco e Piauí em tempos coloniais, principalmente no século XVIII (FEITOSA, 1983; TROVÃO, 2008). Verifica-se, nos topos planos das superfícies planálticas, mais ou menos dissecadas, predomínio de solos espessos, bem drenados e com baixa fertilidade natural (Latosolos Amarelos distróficos), frequentemente pouco profundos e cascalhentos, devido à presença de nódulos ferruginosos, denominados petroplintita (Plintossolos Pétricos concrecionários). Subordinadamente,



Figura 3.23 - Rebordo erosivo da chapada do Azeitão voltado para o vale do rio Parnaíba, junto à represa de Boa Esperança. Espesso pacote de calcarenitos finos, calcilitos e folhelhos da formação Pastos Bons. Rodovia MA-369, entre as localidades de Pastos Bons e Nova Iorque.

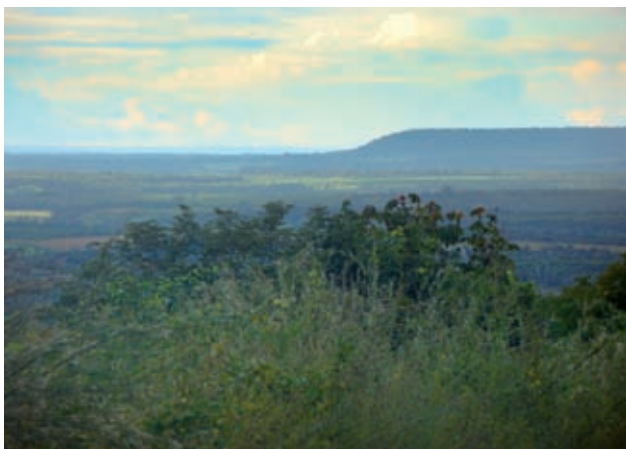


Figura 3.24 - Relevo bimodal de platôs e superfícies aplainadas desfeitas em relevo plano ou suave colinoso. Rodovia BR-230, entre as localidades de Pastos Bons e São João dos Patos.

ocorrem solos com gradiente textural, bem drenados e profundos (Argissolos Amarelos e Vermelho-Amarelos distróficos). No domínio das vertentes e nos fundos de vales esvaziados, predominam solos rasos e pouco profundos, com concreções ferruginosas, em um cenário de intensa morfogênese: Neossolos Litólicos distróficos e Plintossolos Pétricos concrecionários (IBGE, 2011a).

Nesse domínio, sobressaem-se as localidades de Nova Iorque, Orozimbo, Paraibano, São João dos Patos e Sucupira do Riachão.

Planalto Dissecado Gurupi-Grajaú

O Planalto Dissecado Gurupi-Grajaú (segundo denominação proposta por IBGE, 2011c) ocupa o setor centro-ocidental do estado do Maranhão e está representado por um conjunto de superfícies tabulares elevadas

por epirogênese e bruscamente delimitadas em rebordos erosivos, por onde se encaixam vales incisos e aprofundados apresentando desnivelamentos locais, por vezes, superiores a 100 m (Figura 3.25). Esses planaltos (**R2b1** e **R2b3**) estão alçados, irregularmente, em cotas altimétricas diferenciadas, sendo crescentes de leste a oeste, variando entre 200 e 450 m. O planalto dissecado se destaca topograficamente dos relevos planos ou aplainados da Baixada Maranhense, da Superfície Sublitorânea de Bacabal e da Superfície Aplainada do Noroeste do Maranhão, situados a norte e nordeste, por um front movimentado de colinas dissecadas e morros (**R4a2** e **R4b**) (Figura 3.26).

Os interflúvios localizados na porção leste desse domínio, que abrangem os vales dos rios das Flores, Mearim, Grajaú e Zutiua, modelados em cotas mais modestas, apresentam predomínio de baixos platôs (**R2b1**) e baixos platôs dissecados (**R2b2**), francamente entalhados por uma



Figura 3.25 - Vale encaixado do rio Buriticupu, tributário do rio Pindaré, em meio à superfície planáltica, registrando amplitude local de relevo em torno de 80 m. Rodovia BR-222, junto à localidade de Buriticupu.



Figura 3.26 - Relevo profundamente dissecado em morros tabulares no front dos baixos platôs dissecados no interflúvio entre os rios Mearim e Grajaú; erosão laminar frequente. Rodovia MA-245, próximo à localidade de Lago da Pedra.

rede de drenagem de média a alta densidade e padrão subdendrítico a treliça, o que evidencia algum controle estrutural nos processos de dissecação desses baixos planaltos. Apenas os fundos de vales dos rios Mearim e Grajaú apresentam amplas planícies fluviais.

Os interflúvios localizados na porção oeste desse domínio, por sua vez, abrangem os vales dos rios Zutiua, Buriticupu, Pindaré, Açailândia e Gurupi e são modelados em cotas mais elevadas, apresentando predomínio de planaltos mais elevados (**R2b3**), profundamente sulcados em íngremes vales encaixados (**R4f**), entalhados também por densa rede de drenagem padrão subdendrítico a treliça. Desse modo, revela-se um cenário de uma superfície soerguida recentemente durante o Neógeno, tendo em vista a deposição de coberturas terciárias revestindo o topo desses planaltos (Figura 3.27). Atualmente, essas superfícies são fortemente dissecadas, denunciando um processo enérgico de erosão fluvial em escala regional por meio da incisão vertical dos canais-tronco e reajuste do sistema de drenagem ao nível de base local rebaixado. Nesse caso, apenas os fundos de vales dos rios Pindaré e Buriticupu apresentam amplas planícies fluviais.

Esse domínio representa o prolongamento, a leste, dos baixos platôs de Paragominas, no estado do Pará, e é delimitado, a norte e nordeste, pelas Superfícies Aplainadas do Noroeste do Maranhão e Superfície Sublitorânea de Bacabal; a leste, pelas Superfícies Tabulares da Bacia do Rio Itapecuru; a sul, pelos Baixos Platôs de Barra do Corda e pela Depressão do Médio Vale do Rio Tocantins. O topo desses planaltos representa um conjunto de extensas áreas planas com cotas escalonadas, devido ao processo diferencial de soerguimento epirogenético, e estão correlacionadas a uma superfície de idade paleógena (BARBOSA et al., 1973). Marçal e Guerra (2003) também sugerem que essas



Figura 3.27 - Perfil de alteração do arenito Itapecuru, sotoposto à cobertura terciária amarela argiloarenosa (em torno de 4 m de espessura). No meio, espessa crosta detrito-laterítica (1 a 1,5 m de espessura); relevo plano em vastas extensões dos topos de platôs. Rodovia BR-222, entre as localidades de Buriticupu e Bom Jesus das Selvas.

superfícies correspondem à superfície cimeira regional e à mais antiga superfície de aplainamento, que remontam ao Paleógeno, evocando o pediplano Pd3, segundo Bigarella et al. (1965). O desenvolvimento de espessos perfis lateríticos aluminoferruginosos, que se estendem para os baixos planaltos bauxíticos de Paragominas, no Pará, atestam a antiguidade dessas superfícies.

Essas superfícies são sustentadas, indistintamente, por espessos perfis lateríticos maduros, aluminoferruginosos, similares aos descritos no nordeste do Pará (KOTSCHOU-BEY et al., 2005; KOTSCHOUBEY; TRUCKENBRODT, 1981). Essas couraças ferruginosas formam duras cornijas que retardam o processo de dismantelamento e destruição dos planaltos pela ação erosiva. Sotopostos aos espessos perfis lateríticos, jazem os arenitos cretácicos das formações Itapecuru e Ipixuna.

Analisando esse domínio de forma mais detalhada, ressalta-se um relevo movimentado, caracterizado por franca dissecação de extensas superfícies planálticas alçadas em cotas relativamente modestas. Nesse cenário, destacam-se quatro padrões morfológicos: (i) topos planos dos baixos platôs, recobertos por solos espessos e bem drenados, como Latossolos, sendo os mais elevados posicionados em cotas entre 250 e 400 m de altitude, tais como a serra de Tiracambu e o planalto onde estão assentadas as localidades de Buriticupu e Bom Jesus das Selvas; (ii) patamares estruturais, posicionados em cotas intermediárias, resultantes da dissecação diferencial do planalto sedimentar; (iii) vertentes circunjacentes fortemente entalhadas, que, devido ao recuo progressivo dos declivosos rebordos erosivos, vêm destruindo as baixas superfícies planálticas; esse relevo, localmente acidentado, caracteriza-se por colinas e morros dissecados com vertentes declivosas, esculpidas por vales incisivos com alta densidade de drenagem e padrão subdendrítico a treliça, o que denota expressivo controle estrutural no processo de esculturação do relevo regional; (iv) superfícies onduladas, aplainadas ou reafeiçoadas em formas colinosas, que se espriam pelos fundos de vales (Figura 3.28).

Segundo Marçal e Guerra (2003), o relevo de colinas amplas ou aplainado, embutido entre os baixos platôs, consiste na zona mais desmatada e suscetível à ocorrência de processos erosivos em escala regional. Castro et al. (2006) destacam a ocorrência de processos de erosão induzida pela Rodovia BR-222 em Açailândia (Figura 3.29). A recente obra de alargamento dessa rodovia, que interliga São Luís e Açailândia, expõe diversos trechos suscetíveis a processos de erosão laminar, ravinamentos e deslizamentos rasos ao longo dos taludes recém-implantados (Figura 3.30). Esse fato demonstra a fragilidade geotécnica dos mantos de intemperismo dos arenitos das formações Itapecuru e Ipixuna, quando esses regolitos estão situados em relevo acidentado de colinas e morros dissecados.

Sobre esses terrenos desenvolve-se, originalmente, Floresta Ombrófila Densa submontana, gradando para Floresta Estacional Semidecídua, em direção a leste (IBGE, 2011d). São solos bem drenados e de baixa fertilidade

natural, argilosos, espessos e lixiviados, em clima equatorial úmido a subúmido. Sobre os topos planos das superfícies planálticas predominam Latossolos Amarelos distróficos. Ocorrem, subordinadamente, Argissolos Vermelho-Amarelos distróficos e Latossolos Amarelos petroplínticos. Nos baixos platôs dissecados e nas encostas dos vales escavados, os solos são menos profundos e lixiviados, destacando-se Argissolos Vermelho-Amarelos distróficos e eutróficos e Argissolos Vermelhos eutróficos. Nos fundos de vales dos médios cursos dos rios Pindaré, Grajaú e Mearim, por sua vez, predominam Neossolos Flúvicos eutróficos e Gleissolos Háplicos distróficos (IBGE, 2011a).

Configuração Geocológica do Planalto Dissecado Gurupi-Grajaú

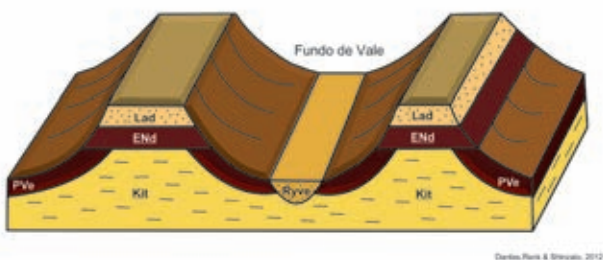


Figura 3.28 - Modelo esquemático da configuração geocológica do planalto dissecado Gurupi-Grajaú, embasado por arenitos arcoseanos de idade cretácica da formação Itapecuru (Kit): topos de platôs sustentados por crostas lateríticas (ENd) e desenvolvimento de solos profundos e bem drenados (Latossolos Amarelos distróficos – LAd); intensa dissecção em vales entalhados, exibindo vertentes declivosas e processos de erosão em área de solos menos espessos (Argissolos Vermelhos eutróficos – PVe); fundos de vale apresentam expressiva sedimentação aluvionar e solos de boa fertilidade natural, com predomínio de Neossolos Flúvicos eutróficos e vérticos (RYve).



Figura 3.29 - Voçorocamento generalizado ao longo da rodovia BR-222; erosão linear e laminar acentuada em áreas de colinas e morros muito dissecados; solos e mantos de intemperismo do arenito Itapecuru apresentando alta vulnerabilidade à erosão. Rodovia BR-222, entre as localidades de Santa Luzia e Buriticupu.

Os terrenos representados pelo Planalto Dissecado Gurupi-Grajaú estão, em sua porção oeste, inseridos em terrenos florestados da Amazônia Oriental, onde subsistem alguns dos principais fragmentos florestais do estado do Maranhão. Dentre as principais cidades que se localizam nesse domínio, destacam-se: Itinga do Maranhão, Bom Jesus das Selvas, Buriticupu, Arame, Itaipava do Grajaú, Jenipapo dos Vieiras, Lagoa Grande do Maranhão e Esperantinópolis.

Baixos Platôs de Barra do Corda

Os Baixos Platôs de Barra do Corda (denominação adaptada da proposta por IBGE, 2011c) consistem em um conjunto de extensas superfícies planálticas pouco dissecadas (**R2b1**) e posicionadas, invariavelmente, em cotas baixas, entre 150 e 250 m. Esses baixos platôs são entalhados por uma rede de drenagem dendrítica a subdendrítica, de baixa a moderada densidade. Em restritas porções com alta densidade de drenagem, os baixos platôs estão francamente dissecados (**R2b2**), em relevo de colinas tabulares. Ab'Saber (1960) descreveu a ocorrência de “pequenos canyons” ladeados por encostas muito íngremes próximo à Barra do Corda. De fato, os canais principais que atravessam esse domínio, em especial, os rios Mearim, Corda e das Flores, escavam canais incisivos e encaixados, o que denuncia um processo enérgico de erosão fluvial em escala regional, devido a processos de epirogênese durante o Neógeno e o consequente reajuste do sistema de drenagem ao nível de base local rebaixado (Figura 3.31), em situação muito similar à do vizinho Planalto Dissecado Gurupi-Grajaú. Junto à cidade de Barra do Corda, os talvegues dos rios Corda e Mearim estão entalhados a mais de 50 m da superfície do baixo platô, em um vale incisivo e



Figura 3.30 - Taludes íngremes e aterros de estrada sobre mantos de alteração com alta suscetibilidade à erosão dos arenitos estratificados da formação Itapecuru em relevo de morros dissecados francamente entalhado por rede de canais de alta densidade de drenagem. Rodovia BR-222, entre as localidades de Santa Luzia e Buriticupu.

sedimentação aluvial ausente. Entretanto, cabe salientar que esse domínio apresenta relevos menos vigorosos e cotas mais modestas em relação ao planalto supracitado.

No estado do Maranhão, esse domínio ocupa uma pequena área central, estando delimitado, a norte, pelo Planalto Dissecado Gurupi-Grajaú; a leste, pelas Superfícies Tabulares das Bacias dos Rios Itapecuru e Munim; a sul, pelas Chapadas do Alto Rio Itapecuru; a oeste, pela Depressão do Médio Vale do Rio Tocantins.

Essa área está embasada, fundamentalmente, por rochas sedimentares cretácicas da Bacia Sedimentar do Parnaíba, abrangendo arenitos fluvioeólicos ortoquartzíticos da Formação Corda, arenitos finos da Formação Grajaú e arenitos e argilitos da Formação Itapecuru. Destaca-se, todavia, amplo predomínio dos arenitos da Formação Grajaú. Frequentemente, os topos planos dos baixos platôs encontram-se sustentados por perfis lateríticos e recobertos por coberturas sedimentares de idade neógena.

Sobre as superfícies planas dos baixos platôs desenvolvem-se, predominantemente, Latossolos Amarelos e Vermelho-Amarelos distróficos. Subordinadamente, ocor-

rem Argissolos Vermelho-Amarelos distróficos e Neossolos Quartzarênicos órticos. Esse domínio, originalmente recoberto por florestas estacionais decíduas e cerrados (IBGE, 2011d), representa áreas de recente expansão da fronteira agrícola, no qual o cerrado nativo está sendo convertido em plantações de soja e milho (Figura 3.32). Nos terrenos mais movimentados dos baixos platôs dissecados, predominam Argissolos Vermelho-Amarelos distróficos. Secundariamente, ocorrem solos de boa fertilidade natural, tais como Argissolos Vermelho-Amarelos eutróficos e Luvisolos Crômicos Háplicos (IBGE, 2011a).

Dentre as localidades que se situam nesse domínio destacam-se: Barra do Corda, Grajaú e Fernando Falcão.

Chapadas do Alto Rio Itapecuru

As Chapadas do Alto Rio Itapecuru (segundo denominação proposta por IBGE, 2011c) representam um relevo caracterizado por um conjunto de superfícies planálticas de extensos topos planos e não dissecados (**R2b3**) – chapadões – que se destacam, topograficamente, por meio de escarpas rochosas (**R4e**), cerca de 150 a 250 m acima do nível de base regional demarcado pelas superfícies aplainadas (**R3a2**), desenvolvidas a partir da abertura dos principais vales na região e do recuo regressivo das escarpas de borda de chapada. Destacam-se, nesse contexto, as chapadas das Alpercatas, Itapecuru, das Cruzeiras, serra Negra, do Agreste e do Azeitão (ALCÂNTARA, 2004; SILVA; CONCEIÇÃO, 2011), onde se ressalta o desenvolvimento de crostas ferruginosas no topo (Figura 3.33).

Esse conjunto de chapadas é individualizado por vales abertos e aprofundados dos rios Itapecuru, Alpercatas, Neves, das Balsas, do Balseiro, alto curso dos rios Mearim e Parnaíba, revestidos por depósitos pedimentares e aluviões (BARBOSA et al., 1973) (Figura 3.34). Apenas os vales dos rios Itapecuru e Mearim, em direção aos seus médios cursos, apresentam reafeiçoamento nítido, onde a



Figura 3.31 - Vale encaixado do rio Grajaú, ladeado por vertentes declivosas, próximo ao sítio urbano da cidade homônima.



Figura 3.32 - Topo dos baixos platôs incipientemente dissecados com plantio de soja. Rodovia BR-226, entre as localidades de Grajaú e Lajeado Novo.



Figura 3.33 - Rebordo erosivo de topo de chapada sustentada por crostas lateríticas ou arenitos duros da formação Sambaíba; encostas declivosas que mergulham para as superfícies aplainadas, modeladas em relevo de topografia suave ondulada. Rodovia BR-230, entre as localidades de São Raimundo das Mangabeiras e São Domingos do Azeitão.

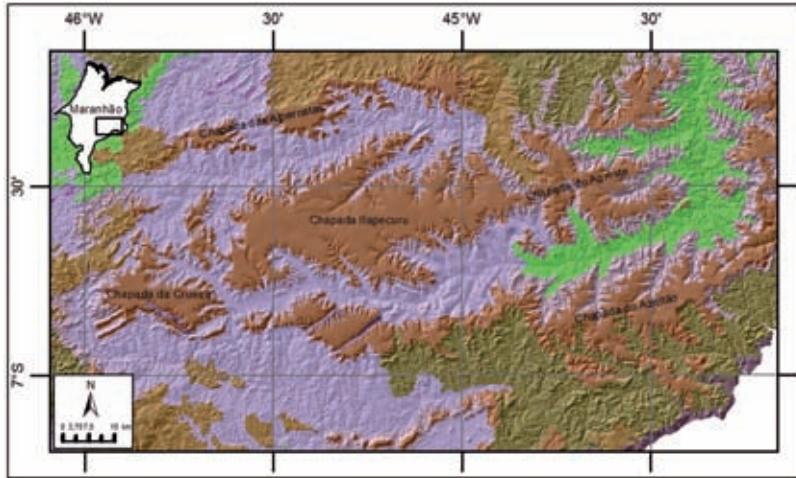


Figura 3.34 - Imagem em relevo sombreado das chapadas das Alpercatas, Cruzeiras, Itapecuru e Azeitão (cor marrom), abruptamente delimitadas por curtas escarpas e rebordos erosivos; desenvolvimento de amplos fundos de vales aplainados (cor lilás) dos rios Itapecuru, Alpercatas e Neves, ajustados ao nível de base regional.

superfície aplainada é desfeita em relevo colinoso (**R4a2**), como registrado no fundo de vale do rio Itapecuru, junto às cidades de Mirador e Colinas. No vale do rio Balseiro, situado na porção leste desse domínio, predomina relevo de baixos platôs (**R2b1**), articulado com as Superfícies Tabulares do Rio Itapecuru.

Esse domínio está situado na porção sudeste do estado do Maranhão e delimita-se, a oeste, com a Depressão do Médio Vale do Rio Tocantins; a norte, com os Baixos Platôs de Barra do Corda; a nordeste, com as Superfícies Tabulares da Bacia do Rio Itapecuru; a sul, com a Depressão Interplanáltica de Balsas; a sudeste e leste, com as Superfícies Tabulares do Rio Parnaíba, na divisa com o Piauí.

Esse relevo de imponentes chapadões encontra-se embasado por arenitos cretácicos da Formação Corda,

frequentemente capeados por coberturas detrito-lateríticas, onde se desenvolvem solos muito profundos, bem drenados, muito friáveis (Latosolos Amarelos e Vermelho-Amarelos distróficos). Nos amplos fundos de vales que circundam esse conjunto de chapadas, afloram os arenitos eólicos ortoquartzíticos de idade triássica da Formação Sambaíba e os derrames vulcânicos e intrusões de idade jurocretácica (basaltos e gabros) das formações Mosquito e Sardinha (Figuras 3.35 e 3.36).

Devido a tais características geológicas e pedológicas, esses terrenos apresentam grande potencial hidrogeológico (ALCÂNTARA, 2004). Os topos das escarpas formam cornijas resistentes mantidas por arenitos silicificados *intertrapp* ou por crostas lateríticas que sustentam o topo das chapadas.

Essas superfícies tabulares, alçadas em cotas altimétricas elevadas (450 a 650 m), comparadas ao conjunto hipsométrico do estado do Maranhão, podem ser consideradas fragmentos de antiga e vasta superfície de aplainamento gerada durante o Paleógeno, correlacionável à Superfície Sul-Americana (BARBOSA et al. 1973). Registra-se ligeiro gradiente de oeste para leste, onde os topos planos das chapadas da Serra Negra e das Cruzeiras (650-600 m) são claramente mais elevados em relação aos topos das chapadas do Agreste e do Azeitão (500-450 m). Tal fato reflete um soerguimento epigenético diferencial da antiga "planície paleógena", com basculamento mais acentuado em seu bordo ocidental. O piso dos vastos fundos de vales aplainados, por sua vez, está embutido em cotas que variam entre 350 e 200 m de altitude, com



Figura 3.35 - Relevo das chapadas do alto rio Itapecuru caracterizado por extensas superfícies planas sustentadas por cornijas lateríticas ou de arenitos silicificados e demarcadas por abruptas escarpas; observam-se, claramente, processos de abertura e alargamento de vales, recuo lateral das vertentes, geração de pedimentos e formação de inselbergs (modelo King). regional.



Figura 3.36 - Manto de intemperismo derivado da decomposição química de sills de diabásio da formação Sardinha que intrudiram arenitos e pelitos da formação Pastos Bons; desenvolvimento de solos profundos, com cerosidade abundante, de boa fertilidade natural. Rodovia MA-270, entre as localidades de Mirador e Colinas.

cotas progressivamente decrescentes, à medida que os fundos de vales convergem a jusante nos canais-tronco.

Verifica-se, nos topos planos dos chapadões, predomínio de solos muito profundos, bem drenados e de baixa fertilidade natural (Latossolos Vermelho-Amarelos distróficos e, subordinadamente, Latossolos Amarelos distróficos e Argissolos Vermelho-Amarelos distróficos). Nas vertentes escarpadas dos rebordos dos chapadões prevalecem solos rasos, como Neossolos Litólicos distróficos e, subordinadamente, Argissolos Vermelho-Amarelos distróficos, Plintossolos Pétricos e Afloramentos de Rocha. Nas superfícies aplainadas, geradas a partir dos atuais fundos de vales, predominam Latossolos Vermelho-Amarelos, Latossolos Amarelos e Latossolos Vermelhos distróficos e Neossolos Quartzarênicos órticos (IBGE, 2011a). Esses últimos estão diretamente associados ao intemperismo do arenito eólico Sambaíba. Subordinadamente, ocorrem solos de boa fertilidade natural, tais como Nitossolos Vermelhos eutróficos, também atrelados ao afloramento de rochas vulcânicas das formações Mosquito e Sardinha.

Esses terrenos inserem-se no domínio dos cerrados, com predomínio de cerrados e cerradões nos topos das chapadas e de campos-cerrados nos fundos de vales abertos (IBGE, 2011d). Tradicionalmente, essa região foi desbravada e ocupada pela pecuária extensiva. Todavia, verifica-se recente expansão do agronegócio. Embora de forma incipiente, os cultivos consorciados de soja, milho e sorgo começam a transformar o espaço geográfico regional ainda caracterizado pelas belas paisagens naturais dos chapadões revestidos por cerrados (Figura 3.37).

Dentre as localidades que se situam nesse domínio, destacam-se: Formosa da Serra Negra, Fortaleza dos Nogueiras, São Domingos do Azeitão, Pastos Bons, Sucupira do Norte, Mirador, Colinas, Passagem Franca e Lagoa do Mato.



Figura 3.37 - Topo de chapada com relevo plano, convertido em plantação de soja em Latossolos. Rodovia MA-006, entre as localidades de Fortaleza dos Nogueiras e Balsas.

Depressão do Médio Vale do Rio Tocantins

A Depressão do Médio Vale do Rio Tocantins, outrora denominada Depressão Ortoclinal do Tocantins por Barbosa et al. (1973), é representada por vasta superfície de aplainamento pontilhada por relevos residuais sob forma de mesetas e morros-testemunhos (Figura 3.38), apresentando o caimento geral de leste para oeste em direção à calha do rio Tocantins, sendo drenados pelos vales dos rios dos Martírios, Cacau, Campo Alegre, Arraias, Lajeado, Itaueiras, Sereno e Manuel Alves Grande (todos afluentes do rio Tocantins), além dos altos cursos dos rios Pindaré e Grajaú.

Esse domínio se estende por uma comprida faixa de direção norte-sul, que abrange o sudoeste do estado do Maranhão. Neste mapeamento, abrange a Depressão de Imperatriz, o Patamar de Porto Franco e a Superfície de Carolina, individualizados por IBGE (2011c). Esse domínio delimita-se, a norte, com o Planalto Dissecado Gurupi-Grajaú; a leste, com os Baixos Platôs de Barra do Corda e as Chapadas do Alto Rio Itapecuru. Em seu interior, estão inseridas as Chapadas e Mesetas de Estreito-Carolina. A sul e a oeste, o domínio se estende, em larga escala, pelo estado do Tocantins.

Seu relevo é constituído por extensas superfícies de aplainamento (**R3a2**), por vezes, ligeiramente retocadas por uma rede de drenagem de baixa densidade, todavia, sem perder seu caráter aplainado (Figura 3.39). De forma esparsa, ocorrem baixos platôs (**R2b1**), ligeiramente ressaltados topograficamente. Nos divisores rebaixados entre a bacia do rio Tocantins e as bacias dos rios Açailândia e Pindaré, predominam terrenos modelados em colinas com grau variável de dissecção (**R4a1** e **R4a2**), ocorrendo, também, esparsas serras alinhadas e pequenas cristas (**R4b**), que se destacam em cotas mais elevadas na paisagem regional. Destaca-se, ainda, a planície aluvial do rio Tocantins (**R1a**), que ocorre de forma descontínua ao longo de seu fundo de vale. Em um dos estrangulamentos rochosos, inclusive, foi construída a Usina Hidrelétrica Estreito, sobre rochas vulcânicas da Formação Mosquito. Entretanto, essa planície torna-se bem mais larga em seu baixo curso, próximo à confluência do rio Araguaia, a jusante da cidade de Imperatriz.

Esse conjunto de formas de relevo resulta do arrasamento generalizado do substrato geológico de uma sequência vulcanossedimentar permocretácica da Bacia Sedimentar do Parnaíba que inclui: siltitos, folhelhos, arenitos e silexitos das formações Motuca e Pedra de Fogo; arenitos e argilitos das formações Corda e Itapecuru; derrames basálticos, em parte zeolíticos, da Formação Mosquito. As zeólitas, encontradas tanto nos basaltos (Figura 3.40) quanto nos arenitos sobrejacentes da Formação Corda, representam jazidas promissoras para incorporação de nutrientes minerais aos solos (insumos agrícolas), utilizando técnicas de rochagem.

Sobre esse conjunto de litologias desenvolveu-se um aplainamento generalizado do relevo e um evento de laterização durante o Neógeno, que geraram perfis

lateríticos imaturos. Tais perfis ocorrem de forma esparsa nesse domínio (principalmente, nos altos cursos dos rios Lajeado e Itaeiras e no vale do rio Manuel Alves, na divisa com o estado do Tocantins) e estão, atualmente,

ressaltados na paisagem regional sob a forma de baixos platôs não dissecados, poucas dezenas de metros acima do piso da superfície de aplainamento regional (Figuras 3.41 e 3.42).



Figura 3.38 - Morro-testemunho de notável beleza cênica, sustentado por arenitos eólicos da formação Sambaíba, em meio às superfícies aplainadas. Rodovia BR-230, entre as localidades de Carolina e Riachão.



Figura 3.39 - Vasta superfície aplainada, com relevo levemente ondulado, modelado em arenitos finos interestratificados com argilitos da formação Motuca, de idade permiana. Rodovia BR-230, entre as localidades de Carolina e Riachão.

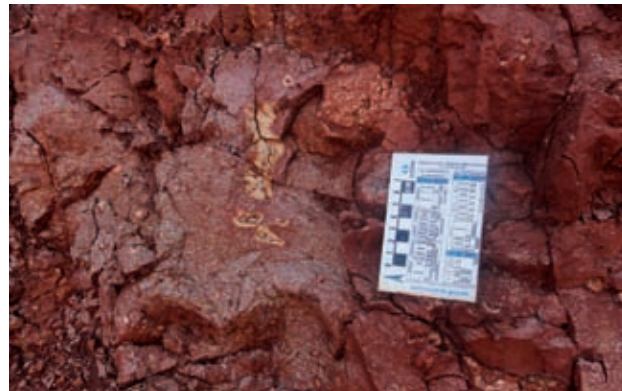


Figura 3.40 - Zeólitas em área de afloramento de basalto da formação Mosquito intertrapeado com quartzarenito de ambiente fluvioeólico da formação Corda. Estrada vicinal nas imediações da Rodovia BR-010, entre as localidades de Governador Edson Lobão e Ribamar Fiquene.



Figuras 3.41 e 3.42 - Superfície aplainada degradada em relevo suave ondulado, com desenvolvimento de Plintossolos Háplicos com horizontes superficiais erodidos; desenvolvimento de perfil laterítico com geração de horizonte mosqueado (plintita) a partir de processos intempéricos de dessilicificação e alitização do regolito. Rodovia BR-010, nas cercanias da cidade de Imperatriz.

Esses terrenos aplainados apresentam cotas baixas, que variam entre 150 e 350 m, sendo que tais cotas são progressivamente mais elevadas de norte para sul, seguindo, em linhas gerais, o curso do vale do rio Tocantins. As planícies aluviais do baixo rio Tocantins encontram-se embutidas em cotas ainda mais baixas, entre 100 e 150 m. Os baixos platôs e as serras ou chapadas esparsas, por sua vez, atingem cotas mais expressivas, entre 350 e 600 m, destacando-se, portanto, na paisagem regional.

Na porção norte do domínio, acima da latitude de Imperatriz, desenvolve-se, originalmente, Floresta Ombrófila Aberta em clima subequatorial úmido. Ao sul de Imperatriz prevalecem Floresta Estacional Semidecídua e as formações transicionais, e, em seguida, predomina o cerrado, já sob domínio climático tropical semiúmido (IBGE, 2011d).

Tal variabilidade geológica e climatobotânica explica a grande profusão de solos desenvolvidos na região. De forma geral, podemos subdividir a Depressão do Médio Vale do Rio Tocantins maranhense em três domínios morfopedológicos:

Acima da latitude de Ribamar Fiquene e o vale do rio Arraias, incluindo a cidade-polo de Imperatriz, predominam solos profundos, friáveis e muito lixiviados, sob forte atuação de intemperismo químico em ambiente de florestas úmidas. Destacam-se, nesse contexto, Argissolos Vermelho-Amarelos e Amarelos distróficos e Latossolos Amarelos e Vermelho-Amarelos distróficos. Ocorrem, também, Plintossolos Háplicos distróficos, Neossolos Quartzarênicos órticos e manchas de solos de boa fertilidade natural, Luvisolos Háplicos e Chernossolos Argilúvicos (particularmente, entre as localidades de Imperatriz e Cidelândia, embasadas por folhelhos da Formação Codó (IBGE, 2011b)). Na planície aluvionar do baixo rio Tocantins, predominam solos estratificados, profundos e com boa fertilidade natural (Neossolos Flúvicos eutróficos) e solos maldrenados, sujeitos a inundações frequentes (Gleissolos Háplicos distróficos) (IBGE, 2011a).

Entre as localidades de Ribamar Fiquene e Estreito, predominam solos muito profundos, todavia, menos lixiviados, sob moderada atuação de intemperismo químico em ambiente de florestas estacionais e cerradões. Destacam-se, nesse contexto, Argissolos Vermelhos distróficos e Nitossolos Vermelhos distróficos e eutróficos, sendo esses últimos derivados da decomposição dos basaltos da Formação Mosquito. Também são relevantes Vertissolos Ebânicos, em áreas abaciadas, e Neossolos Litólicos distróficos, em terrenos íngremes. Ocorrem, subordinadamente, Argissolos Vermelho-Amarelos distróficos, Latossolos Vermelho-Amarelos distróficos, Neossolos Quartzarênicos órticos e Plintossolos Háplicos distróficos (IBGE, 2011a).

No extremo sudoeste do estado, entre as cidades de Carolina e Riachão e a calha do rio Manuel Alves Grande, predominam solos pouco profundos e fortemente laterizados em clima estacional seco-úmido, típico dos cerrados. Destacam-se, nesse contexto, Plintossolos Háplicos distróficos e, em menor proporção, Latossolos Vermelho-Amarelos

distróficos. Ocorrem, subordinadamente, Neossolos Quartzarênicos órticos, Plintossolos Pétricos concrecionários, Argissolos Vermelho-Amarelos distróficos e Neossolos Litólicos distróficos (IBGE, 2011a).

A partir da segunda metade do século XX, a região de Imperatriz e Açailândia tem experimentado uma aceleração do povoamento a partir da construção da Rodovia Belém-Brasília (BR-010) e da Estrada de Ferro Carajás-São Luís, promovendo o desmatamento irrefreável da franja oriental da Floresta Amazônica no sudeste do Pará e no oeste do Maranhão. Tal processo de desmatamento, iniciado na década de 1960 e incrementado nas décadas de 1980 e 1990, está associado ao avanço do extrativismo (atuação de madeiras) e da fronteira agropecuária e, posteriormente, à instalação de guserias movidas a carvão vegetal (MARÇAL et al., 2001). Recentemente, a silvicultura de eucalipto vem ocupando extensas áreas dos baixos platôs do oeste do Maranhão, com o objetivo precípua de fornecer carvão vegetal às guserias e minimizar a pressão econômica sobre os remanescentes florestais na região.

As principais cidades que se localizam na Depressão do Médio Vale do Rio Tocantins são: São Pedro da Água Branca, Vila Nova dos Martírios, Cidelândia, Imperatriz, Davinópolis, João Lisboa, Senador La Roque, Buritirana, Amarante do Maranhão, Governador Edson Lobão, Montes Altos, Sítio Novo, Ribamar Fiquene, Campestre do Maranhão, Lajeado Novo, Porto Franco, Estreito, São João do Paraíso, Feira Nova do Maranhão, São Pedro dos Crentes, Carolina e Riachão.

Chapadas e Mesetas de Estreito-Carolina

As Chapadas e Mesetas de Estreito-Carolina, denominadas Chapadas e Planos do Rio Farinha por IBGE (2011c), consistem em antiga superfície planáltica, intensamente entalhada e fragmentada, submetida a processos de pediplanação, resultando em uma sucessão de morros-testemunhos, mesas, mesetas e platôs isolados (**R2b3**), em meio a vastas superfícies de aplainamento (**R3a2**) desenvolvidas por intermédio do recuo lateral das escarpas de borda de chapada (Figuras 3.43 e 3.44). Salienta-se, ainda, a frequente ocorrência de níveis de base locais (cachoeiras), associados à erosão diferencial nos perfis longitudinais dos canais por diversos condicionantes litoestruturais. Tais feições residuais apresentam topos planos a convexos, frequentemente sustentados por cornijas e paredões rochosos subverticais, apresentando notável beleza cênica e grande potencial geoturístico. Nesse domínio, está inserido o Parque Nacional da Chapada das Mesas.

As superfícies aplainadas estão posicionadas, invariavelmente, em cotas baixas, entre 200 e 350 m. Entretanto, os topos das mesas e dos curtos platôs estão alçados em cotas mais imponentes, que atingem 450 a 600 m, e abruptos desnivelamentos locais, em torno de 150 a 200 m. As cornijas que encimam e sustentam o topo das

mesas podem ser constituídas tanto por quartzarenitos endurecidos, por vezes, silicificados, quanto por derrames basálticos.

Esse domínio é drenado pela bacia hidrográfica do rio Farinha e ocupa pequena área no setor sudoeste do estado do Maranhão, situada entre as cidades de Estreito – a norte – e Carolina – a sul –, estando totalmente englobada pela Depressão do Médio Vale do Rio Tocantins.

Esse peculiar modelado em platôs, mesas e superfícies pediplanadas resulta de intrincado processo de esculturação do relevo, condicionado por linhas de diáclases ou falhas impressas sobre uma sequência vulcanossedimentar da bacia do Parnaíba composta por arenitos ortoquartzíticos, de origem eólica e idade triássica da Formação Sambaíba (Figura 3.45), e por derrames basálticos de idade jurocretaica da Formação Mosquito.

Sobre essas superfícies planálticas constituídas por chapadas e mesas desenvolvem-se, predominantemente, Neossolos Litólicos distróficos. Subordinadamente, ocorrem Plintossolos Pétricos concrecionários e Afloramentos de Rocha. Nas superfícies pediplanadas que se espraiam a partir dos sopés das mesas e, em grande parte, sustentadas por arenitos eólicos da Formação Sambaíba, predominam solos muito profundos, excessivamente drenados, com baixa capacidade de retenção de umidade e de nutrientes, revestidos por vegetação rarefeita de campos-cerrados: Neossolos Quartzarênicos órticos (Figura 3.46). Subordinadamente, ocorrem Latossolos Amarelos e Vermelho-Amarelos distróficos (IBGE, 2011a).

Nesse domínio, não há qualquer aglomerado urbano, sendo atravessado pela Rodovia BR-010 (Belém-Brasília) entre as localidades de Carolina e Estreito.



Figuras 3.43 e 3.44 - Parque Nacional Serra das Mesas. Essas feições residuais apresentam topos planos a convexos, frequentemente sustentados por cornijas e paredões rochosos subverticais. Rodovia BR-010, entre as localidades de Estreito e Carolina.



Figura 3.45 - Desenvolvimento de Neossolos Quartzarênicos sobre arenitos da formação Sambaíba; representam solos muito pobres, friáveis e excessivamente drenados. Rodovia BR-010, entre as localidades de Estreito e Carolina.



Figura 3.46 - Afloramento de grandes dimensões em paredão rochoso exibindo, de forma didática, estratificação cruzada cuneiforme de grande porte do quartzarenito eólico, de idade triássica, da formação Sambaíba. Rodovia BR-010, entre as localidades de Estreito e Carolina

Depressão Interplanáltica de Balsas

A Depressão Interplanáltica de Balsas, denominação adaptada da proposta por IBGE (2011c), consiste em um conjunto de superfícies aplainadas coalescentes (**R3a2**), por vezes, levemente dissecadas em colinas amplas e ajustadas ao nível de base do rio das Balsas e de alguns de seus tributários: rios Neves, Cocal e Maravilha. Esses terrenos estão posicionados, invariavelmente, em cotas baixas, entre 200 e 330 m, e são incipientemente sulcados por rede de drenagem dendrítica de baixa a moderada densidade. Tais superfícies aplainadas encontram-se intercaladas com baixas superfícies planálticas de relevo plano e são muito pouco dissecadas (**R2b1**), exceto no baixo vale do rio das Balsas, onde tais superfícies estão francamente dissecadas em relevo de baixos platôs dissecados (**R2b2**). Os baixos platôs estão alçados entre 300 e 350 m de altitude e cerca de 50 a 80 m acima do piso dos pediplanos (Figura 3.47). Esparsamente, ocorrem imponentes morros-testemunhos, que se salientam na paisagem regional como remanescentes de uma outrora vasta superfície planáltica, que dominava todo o sul e sudeste do Maranhão, como os registrados entre as localidades de Sambaíba e Loreto.

Esse domínio ocupa o setor sudeste do estado do Maranhão, abarcando o médio-baixo vale da bacia hidrográfica do rio das Balsas. Caracteriza-se como uma depressão interplanáltica, pois consiste em uma superfície rebaixada e confinada, a norte, pelas Chapadas do Alto Rio Itapecuru (mais especificamente, as chapadas das Cruzeiras e do Azeitão), e, a sul, pelas Chapadas do Alto Rio Parnaíba. A oeste, esse domínio se comunica com a Depressão do Médio Vale do Rio Tocantins.

Essa área está sustentada, basicamente, por rochas sedimentares da sequência permotriássica da Bacia Sedi-

Figura 3.47 - Superfície plana ligeiramente mais elevada, sob a forma de baixos platôs, sustentada por coberturas terciárias. Plantio de sorgo, milho e soja em larga escala. Rodovia BR-230, entre as localidades de Riachão e Balsas.



Figura 3.48 - Mina de calcário calcítico da formação Pedra de Fogo (Permiano da bacia sedimentar do Parnaíba) em zona de consolidação do novo polo agrícola do sul do Maranhão, com grande demanda por insumos minerais para agricultura. Imediações da cidade de Balsas.

mentar do Parnaíba, constituída por folhelhos, arenitos, silexitos e calcários da Formação Pedra de Fogo (Figura 3.48); siltitos, arenitos e folhelhos da Formação Motuca; arenitos eólicos ortoquartzíticos da Formação Sambaíba. Os topos planos dos baixos platôs encontram-se sustentados por coberturas detríticas continentais de idade neógena.

Os solos desenvolvidos sobre as superfícies aplainadas da Depressão Interplanáltica de Balsas, francamente revestidas por cerrados e campos-cerrados, são, em geral, pobres, profundos e bem drenados, destacando-se Latossolos Amarelos e Vermelho-Amarelos distróficos, e, em menor proporção, Argissolos Vermelho-Amarelos distróficos. Subordinadamente, ocorrem Plintossolos Háplicos distróficos e Neossolos Quartzarênicos órticos. Localizadamente, entre as cidades de Sambaíba e São Félix das Balsas, ocorrem solos de boa fertilidade natural, provavelmente, derivados de fácies carbonáticas das formações Motuca e Pedra de Fogo: Luvisolos Crômicos órticos e, secundariamente, Chernossolos Argilúvicos. Sobre os terrenos planos dos topos dos baixos platôs predominam Latossolos Vermelho-Amarelos distróficos (IBGE, 2011a).

Dentre as localidades que se situam nesse domínio, destacam-se: Balsas, São Raimundo das Mangabeiras, Sambaíba, Loreto e São Félix das Balsas.

A Depressão Interplanáltica de Balsas configura-se como uma das áreas mais representativas do firme avanço da fronteira agrícola no sul do estado do Maranhão nos últimos 20 anos, condicionado pelo vetor de colonização agrícola representado pelo eixo rodoviário leste-oeste da Rodovia BR-230. Tal avanço se processa, especialmente, sobre os topos planos dos baixos platôs constituídos por solos mecanizáveis, muito profundos, bem drenados, que, apesar de pobres, respondem bem à aplicação

de corretivos e fertilizantes (Latossolos), e sobre as manchas de solos com boa fertilidade natural que ocorrem sobre as superfícies aplainadas (Luvisolos Crômicos). As monótonas paisagens naturais dos cerrados estão sendo rapidamente transformadas por uma policultura comercial (soja, milho, sorgo, algodão), com intenso emprego de capital e tecnologia. Nesse sentido, a cidade de Balsas exibe uma economia dinâmica e pujante, calcada no agronegócio, e está sendo elevada a um patamar de importante polo regional no sul do estado do Maranhão.

Chapadas do Alto Rio Parnaíba

As Chapadas do Alto Rio Parnaíba, denominação adaptada da proposta por IBGE (2011c), localizam-se no sul do estado do Maranhão e consistem de vastas superfícies planálticas de extensos topos planos e não dissecados (**R2b3**), alçadas em cotas que variam entre 350 e 600 m de altitude e levemente adernadas para norte. Esse conjunto de chapadas foi genericamente denominado serra do Penitente. A outrora vasta e uniforme superfície planáltica foi profundamente entalhada por uma rede de vales encaixados. Tais vales podem ser incisivos (**R4f**), como observado no alto curso do rio Parnaíba e em seus tributários diretos, ou aprofundados e alargados por erosão lateral das vertentes (**R4e** e **R3a2**), tal como o rio das Balsas.

O vale encaixado do rio Parnaíba, governado por processos de incisão vertical da rede de canais, está entalhado em cotas muito baixas (entre 200 e 350 m) e apresenta morfologia acidentada, constituída por vertentes predominantemente retilíneas a côncavas, fortemente sulcadas, declivosas, com sedimentação de colúvios e depósitos de tálus no sopé. A amplitude de relevo varia de 150 a 250 m, com declividades altas (acima de 30°), ou mesmo paredões rochosos areníticos subverticais (Figura 3.49). Trata-se de área de alta vulnerabilidade a processos erosivos e a movimentos de massa. Tais formas de relevo indicam, portanto, uma retomada erosiva recente em processo de reajuste ao nível de base regional demarcado pela calha do rio Parnaíba.

Com relação ao extenso vale aplainado do alto curso do rio das Balsas, embutido cerca de 100 a 150 m abaixo da superfície das chapadas, em cotas que variam entre 250 e 450 m de altitude, apresenta situação geomorfológica similar à observada no vale do Gurgueia, no Piauí (FERREIRA; DANTAS, 2010). Esse amplo vale se encontra abruptamente delimitado por curtas escarpas rochosas (**R4e**) e delinea as superfícies rebaixadas e arrasadas pela erosão (**R3a2**), estando circundadas por terrenos planos e elevados dos chapadões (**R2b3**) que dominam a paisagem regional (Figura 3.50), seguindo um modelo de evolução do relevo similar ao descrito para as Chapadas do Alto Rio Itapecuru.

Registra-se, ainda, de forma localizada, a ocorrência de patamares estruturais, posicionados em cotas intermediárias,

resultantes da dissecção diferencial do planalto sedimentar (**R2b1**), e formas de colinas dissecadas (**R4a2**) em meio ao vale aplainado do rio das Balsas.

As Chapadas do Alto Rio Parnaíba, dominadas pelo bioma do cerrado em suas diversas fitofisionomias, desde campos-cerrados até cerradões (IBGE, 2011d), encontram-se posicionadas entre os estados do Tocantins, a oeste, e do Piauí, a leste. Delimitam-se, a norte, com a Depressão Interplanáltica de Balsas, e, a sul, com a Chapada das Mangabeiras.

No topo do planalto, desenvolvem-se perfis detrito-lateríticos maduros e imaturos de idade terciária (IBGE, 2011b). Já nos vales encaixados e superfícies interplanálticas, aflora uma sequência permocarbonífera da Bacia Sedimentar do Parnaíba, constituída por siltitos, folhelhos, arenitos, calcários e silexitos das formações Piauí e Pedra de Fogo. Apenas nas cabeceiras do rio Parnaíba e no vale aplainado do rio Parnaibinha aflora uma sequência vulcanossedimentar mesozoica, composta por arenitos eólicos da Formação Sambaíba, derrames basálticos da Formação Mosquito e arenitos da Formação Urucua, sendo estes posicionados no limite norte da Bacia Sanfranciscana.

Nos topos planos dos chapadões, recobertos por solos muito profundos, bem drenados e de baixa fertilidade natural, predominam Latossolos Amarelos distróficos e, subordinadamente, Latossolos Vermelho-Amarelos distróficos e Plintossolos Pétricos concrecionários. Nas vertentes escarpadas dos rebordos dos chapadões e nos vales encaixados prevalecem solos jovens e rasos: Neossolos Litólicos distróficos e, subordinadamente, Cambissolos Háplicos distróficos, Argissolos Vermelho-Amarelos distróficos e Afloramentos de Rocha. Nas



Figura 3.49 - Fundo de vale encaixado do rio Parnaíba, com mais de 200 m de desnivelamento total, apresentando padrão de dissecção em relevos ruíniformes e morros-testemunhos; o amplo vale é, em seu conjunto, ladeado por vertentes escarpadas com paredões subverticais de arenitos. Imediações da cidade de Tasso Fragoso.

Figura 3.50 - Superfície plana das chapadas; contato entre duas superfícies demarcado por rebordos erosivos com aspecto de curtas escarpas rochosas e verticais; o topo da superfície mais alta corresponde à chapada da serra do Penitente; plantio de sorgo e milho em larga escala. Rodovia MA-006, entre as localidades de Balsas e Tasso Fragoso.



superfícies interplanálticas do vale dos rios das Balsas e Parnaibinha, predominam solos muito profundos, excessivamente drenados e com baixa capacidade de retenção de umidade e nutrientes (Neossolos Quartzarênicos órticos), e, subordinadamente, Latossolos Amarelos distróficos. Sobre os afloramentos dos derrames basálticos, desenvolvem-se solos jovens, de boa fertilidade natural: Cambissolos Háplicos eutróficos e Neossolos Litólicos eutróficos (IBGE, 2011a).

O avanço da fronteira agrícola tem se processado de forma acelerada sobre os topos dos chapadões, convertendo grandes manchas de campos naturais e cerrados em vastas e monótonas áreas de cultivo de grãos. Esse incremento de agricultura tecnicificada ocorre, especialmente, no eixo compreendido pelas cidades de Balsas-Tasso Fragoso-Alto Parnaíba.

Dentre as localidades que se situam nesse domínio, destacam-se: Tasso Fragoso, Alto Parnaíba e Curupá.

Chapada das Mangabeiras

A Chapada das Mangabeiras representa extensa superfície cimeira regional denominada Espigão Mestre, que abrange os estados da Bahia, Tocantins, Maranhão e Piauí, correspondente ao topo da Bacia Sanfranciscana. Esse vasto planalto ocupa exígua área no extremo sul do estado do Maranhão, que corresponde à extremidade setentrional desse domínio geomorfológico. Consiste de um vasto platô (R2c) alçado em cotas que variam entre 700 e 800 m de altitude, sendo abruptamente delimitado por escarpas erosivas (R4d) e degraus reafeiçoados (R4e). Tal superfície está sobrelevada cerca de 150 a 300 m acima do piso da bacia do rio Parnaibinha e consiste na chapada culminante do Maranhão (Figura 3.51). Suas escarpas estão invariavelmente voltadas para norte, em direção às Chapadas do Alto Rio Parnaíba.

Essa restrita porção do platô do Espigão Mestre, assim como as escarpas erosivas, está sustentada por arenitos e conglomerados cretácicos do Grupo Uruçuia, pertencente ao fecho deposicional da Bacia Sanfranciscana.

Sobre o topo da Chapada das Mangabeiras desenvolvem-se solos muito profundos, muito friáveis, porosos, de baixa fertilidade natural (Latosolos Amarelos distróficos). Subordinadamente, ocorrem solos com concreções ferruginosas (petroplintita) e pobres em nutrientes (Plintossolos Pétricos concrecionários) e Afloramentos de Rocha. Nas escarpas de borda de chapada, por sua vez, ocorrem solos bem menos evoluídos, rasos, pedregosos e rochosos (Neossolos Litólicos distróficos) e Afloramentos de Rocha (IBGE, 2011a).

Nesse domínio, não existe qualquer aglomerado urbano, sendo uma das áreas de cerrado nativo ainda conservado na divisa quádrupla entre os estados do Mara-

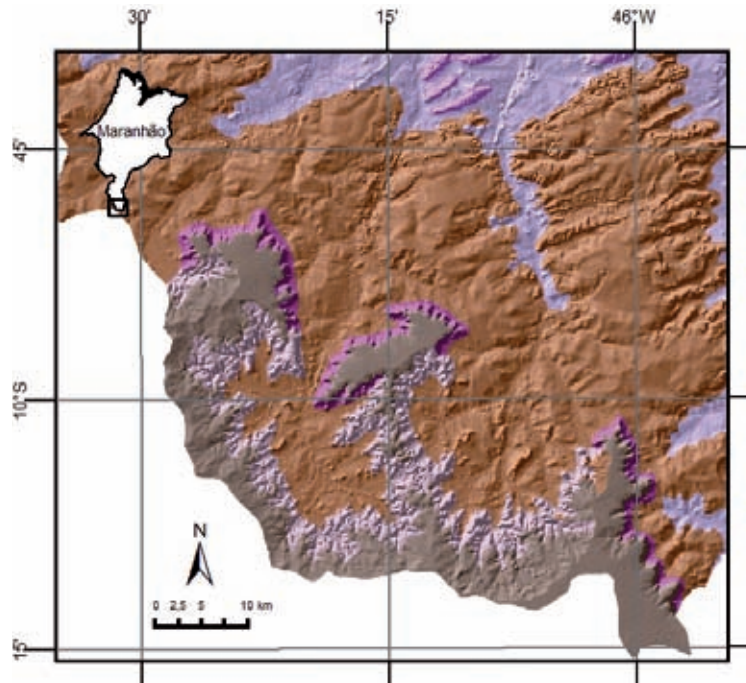


Figura 3.51 - Imagem em relevo sombreado da chapada das Mangabeiras (cor marrom-escuro), localizada no extremo sul do estado do Maranhão; superfície cimeira regional representada pelo prolongamento setentrional do Espigão Mestre e ponto culminante do Maranhão.

nhão, Piauí, Tocantins e Bahia, que, até o momento, não foi alcançada pela fúria da marcha da fronteira agrícola sobre os chapadões revestidos por cerrado.

REFERÊNCIAS

- AB'SABER, A.N. Contribuição à geomorfologia do estado do Maranhão. **Notícia Geomorfológica**, Campinas, v. 3, n. 5, p. 35-45, 1960.
- AB'SABER, A.N. Domínios morfoclimáticos e províncias fitogeográficas do Brasil. **Orientação**, São Paulo, n. 3, p. 45-48, 1969.
- AB'SABER, A.N. Os domínios morfoclimáticos na América do Sul: primeira aproximação. **Geomorfologia**, São Paulo, v. 52, p. 1-21, 1977.
- AB'SABER, A.N. **Os domínios de natureza no Brasil: potencialidades paisagísticas**. São Paulo: Ateliê Editorial, 2003. 160 p.
- ALCÂNTARA, E.H. Caracterização da bacia hidrográfica do rio Itapecuru, Maranhão, Brasil. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v. 7, n. 11, p. 97-113, fev. 2004. Disponível em: <<http://www.seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/article/view/15328/8627>>. Acesso em: 23 jun. 2012.
- ALMEIDA, F.F.M.; HASUI, Y.; NEVES, B.B.B.; FUCK, R.A. Províncias estruturais brasileiras. In: SIMPÓSIO DE

GEOLOGIA DO NORDESTE, 8., 1977, Campina Grande. **Atas...** Campina Grande: SBG, 1977. p. 363-391.

BARBOSA, G.V.; BOAVENTURA, R.S.; NOVAES PINTO, M. Geomorfologia. In: BRASIL. Departamento Nacional da Produção Mineral. Projeto RADAM. **Folha SB.23 Teresina e parte da folha SB.24 Jaguaribe**; geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro: DNPM, 1973. v. 2. p. 1-39 (Levantamento de Recursos Naturais, 2).

BARBOSA, G.V.; NOVAES PINTO, M. Geomorfologia. In: BRASIL. Departamento Nacional de Produção Mineral. Projeto RADAMBRASIL. **Folha SA.23 São Luís e parte da folha SA.24 Fortaleza**; geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro: DNPM, 1973. p. 1-26. (Levantamento de Recursos Naturais, 3).

BIGARELLA, J.J.; MOUSINHO, M.R.; SILVA, J.X. Considerações a respeito da evolução das vertentes. **Boletim Paranaense de Geografia**, Curitiba: AGB; UFPR, n. 16/17, p. 85-116, 1965.

BORGES, M.S.; COSTA, J.B.S.; BEMERGUY, R.L.; FERREIRA JR., C.R.P.; HASUI, Y. A esculturação da paisagem do litoral norte do Brasil e sua relação com os movimentos neotectônicos do Quaternário. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ESTUDOS TECTÔNICOS, 5., 1995, Gramado. **Boletim de Resumos Expandidos**. Porto Alegre: SBG-RS; CPGQ/UFRGS, 1995. p. 423-424.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução CONAMA nº 303, de 20 de março de 2002. Dispõe sobre parâmetros, definições e limites de Áreas de Preservação Permanente. **Diário Oficial da União**, n. 90, 13 maio 2002a. Seção 1, p. 68.

BRASIL. Ministério de Meio Ambiente. **Programa zoneamento ecológico-econômico**: ZEE do baixo Parnaíba. Relatório final. Brasília: MMA/SDS, 2002b. 92 p.

BÜDEL, J. **Climatic geomorphology**. Princeton: Princeton University Press, 1982. 443 p.

CASTRO, R.A.; FERREIRA, H.L.; SANTOS, L.C.S. Erosões às margens da BR-222 na cidade de Açailândia, Maranhão. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA, 6., 2006, Goiânia. **Anais...** Goiânia: UGB, 2006. 11 p. 1 CD-ROM.

CORDANI, U.G.; SATO, K.; TEIXEIRA, W.; TASSINARI, C.C.G.; BASEI, M.A.S. Crustal evolution of the South American platform. In: CORDANI, U.G.; MILANI, E.J.; THOMAZ-FILHO, A.; CAMPOS, D.A. (Eds.). **Tectonic evolution of South America**. São Paulo: Sociedade Brasileira de Geologia, 2000. p. 19-40.

COSTA, J.B.S.; BEMERGUY, R.L.; HASUI, Y.; BORGES, M.S.; FERREIRA JÚNIOR, C.R.P.; BEZERRA, P.E.; COSTA, M.L.; FERNANDES, J.M.G. Neotectônica da região

amazônica: aspectos tectônicos, geomorfológicos e deposicionais. **Geonomos**, Belo Horizonte, v. 4, n. 2, p. 23-44, 1996.

COSTA, M.L. Aspectos geológicos dos lateritos da Amazônia. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v. 21, n. 2, p.146-160, 1991.

DANTAS, M.E.; TEIXEIRA, S.G. A origem das paisagens do estado do Pará. In: TEIXEIRA, S.G.; JOÃO, X.J. (Ed.). **Geodiversidade do estado do Pará**. Belém: CPRM, 2011. Cap. 3. p. 25-52.

ESPÍNDOLA, C.R. Solos e superfícies geomorfológicas em zona canaveira do Nordeste ocidental, estado do Maranhão. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 39., 1992, Salvador. **Anais...** Salvador: SBG/BA, 1992. p. 456-458.

FEITOSA, A.C. **O Maranhão primitivo**: uma tentativa de reconstrução. São Luís: Augusta, 1983. 151 p.

FEITOSA, A.C. Relevo do estado do Maranhão: uma nova proposta de classificação topomorfológica. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA, 6., 2006, Goiânia. **Anais...** Goiânia: UGB, 2006. 11 p. 1 CD-ROM.

FEITOSA, A.C.; TROVÃO, J.R. **Atlas escolar do Maranhão**: espaço geo-histórico e cultural. João Pessoa: Grafset, 2006.

FERREIRA JÚNIOR, C.R.P.; COSTA, J.B.S.; BEMERGUY, R.L. Neotectônica na área da bacia de São Luís. **Geociências**, São Paulo, v. 15, n. 1, p. 185-208, 1996a.

FERREIRA JÚNIOR, C.R.P. et al. Geomorfologia da bacia de São Luís. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 5., 1996, Belém. **Anais...** Belém: SBG/NO, 1996b. p. 316-319.

FERREIRA, R.V.; DANTAS, M.E. Relevo do estado do Piauí. In: PFALTZGRAFF, P.A. dos S.; TORRES, F.S. de M.; BRANDÃO, R. de L. (Orgs.). **Geodiversidade do estado do Piauí. Recife**: CPRM, 2010. 260 p. 30 cm + 1 DVD-ROM. Cap. 5. p. 46-64.

GASTÃO, F.G.C.; MAIA, L.P. O uso de dados da missão SRTM e sedimentológicos nos estudos de geomorfologia e padrões de drenagem na região dos Lençóis Maranhenses. **Revista Brasileira de Cartografia**, Rio de Janeiro, v. 62, n. 2, p. 155-168, 2010.

GÓES, A.M.O.; FEIJÓ, F.J. Bacia do Parnaíba. **Boletim de Geociências da Petrobras**, Rio de Janeiro, v. 8, n. 1, p. 57-67, jan./mar. 1994.

GÓES, A.M.; ROSSETTI, D.F. Gênese da bacia de São Luís-Grajaú, meio-norte do Brasil. In: ROSSETTI, D.F.; GÓES, A.M.; TRUCKENBRODT, W. (Ed.). **O cretáceo na bacia de São Luís-Grajaú**. Belém: Museu Paraense Emílio Goeldi, 2001. p. 15-29.

GONÇALVES, R.A. et al. Classificação das feições eólicas dos Lençóis Maranhenses, Maranhão, Brasil. **Mercator**, Fortaleza, v. 2, n. 3, p. 100-112, 2003.

IBGE. **Mapa geomorfológico do Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE, 1995. Escala 1:5.000.000.

IBGE. **Pedologia**: mapa exploratório de solos do estado do Maranhão. Rio de Janeiro: IBGE, 2011a. Escala 1:400.000.

IBGE. **Geologia**: mapa geológico do estado do Maranhão. Rio de Janeiro: IBGE, 2011b. Escala 1:400.000.

IBGE. **Geomorfologia**: mapa geomorfológico do estado do Maranhão. Rio de Janeiro: IBGE, 2011c. Escala 1:400.000.

IBGE. **Vegetação**: mapa fitogeográfico do estado do Maranhão. Rio de Janeiro: IBGE, 2011d. Escala 1:400.000.

KING, L.C. A geomorfologia do Brasil oriental. **Revista Brasileira de Geografia**, Rio de Janeiro, v. 18, n. 2, p. 147-266, 1956.

KLEIN, E.L.; SOUSA, C.S. (Orgs.). **Geologia e recursos minerais do estado do Maranhão**: sistema de informação geográfica (SIG). Belém: CPRM, 2012. Escala 1:750.000. No prelo.

KOTSCHOUBEY, B.; TRUCKENBRODT, W. Evolução poligenética das bauxitas do distrito de Paragominas – Açailândia (estados do Pará e Maranhão). **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v. 11, n. 3, p. 193-202, 1981.

KOTSCHOUBEY, B.; TRUCKENBRODT, W.; CALAF, J.M.C. Evolução geológica da província bauxitífera de Paragominas durante o Neógeno/Pleistoceno (noroeste da bacia do Grajaú, nordeste do Pará e oeste do Maranhão). **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v. 35, n. 2, p. 263-272, 2005.

MARÇAL, M.S.; GUERRA, A.J.T. Indicadores ambientais relevantes para a análise da suscetibilidade à erosão dos solos em Açailândia (MA). **Revista Brasileira de Geomorfologia**, São Paulo, v. 5, n. 1, p. 1-16, 2003.

MARÇAL, M.S.; RAMALHO, R.S.; GUERRA, A.J.T. Análise multitemporal do município de Açailândia, Maranhão. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 10., 2001, Iguaçu. **Anais...** Iguaçu, PR: INPE, 2001. p. 631-638.

MARTINS, E.S.F. et al. Extração automatizada e caracterização da rede de drenagem e das bacias hidrográficas do nordeste do Pará ao noroeste do Maranhão

a partir de imagens SRTM. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13., 2007, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: INPE, 2007. p. 6827-6834.

NIMER, E. **Climatologia do Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE, 1989. 448 p.

NOVAES, R.C. et al. Análise da sensibilidade ambiental da parte ocidental da ilha do Maranhão. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13., 2007, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: INPE, 2007. p. 4089-4096.

ROSS, J.L.S. Relevo brasileiro: uma nova proposta de classificação. **Revista do Departamento de Geografia, São Paulo**, v. 4, p. 25-39, 1985.

ROSS, J.L.S. (Org.). Os fundamentos da geografia da natureza. In: **Geografia do Brasil**. São Paulo: EdUSP, 1997. p. 13-65.

SANTOS, J.H. S. dos. **Lençóis Maranhenses atuais e pretéritos**: um tratamento espacial. 2008. 248 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008.

SANTOS, J.H.S. dos.; SILVA, J.X. da. Datação e evolução dos campos de dunas eólicas inativas dos Lençóis Maranhenses. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, 13., 2009, Viçosa. **Anais...** Viçosa, MG: UFV, 2009. p. 1-17.

SILVA, D.J.; CONCEIÇÃO, G.M. Rio Itapecuru: caracterização geoambiental e socioambiental, município de Caxias, Maranhão, Brasil. **Scientia Plena**, Aracaju, v. 7, n. 1, p. 1-26, 2011.

SOUZA FILHO, P.W.M. Costa de manguezais de macromaré da Amazônia: cenários morfológicos, mapeamento e quantificação de áreas usando imagens de sensores remotos. **Revista Brasileira de Geofísica**, Rio de Janeiro, v. 23, n. 4, p. 427-435, 2005.

SOUZA, U.D.V.; FEITOSA, A.C. Ocupação e uso da zona costeira do estado do Maranhão. In: ENCONTRO DE GEÓGRAFOS DA AMÉRICA LATINA, 12., 2009, Montevideu. **Anais...** Montevideu: EGAL, 2009. 15 p.

TEIXEIRA, S.G.; SOUZA FILHO, P.W.M. Mapeamento de ambientes costeiros tropicais (golfão Maranhense, Brasil) utilizando imagens de sensores remotos orbitais. **Revista Brasileira de Geofísica**, Rio de Janeiro, v. 27, n. 1, p. 69-82, 2009.

TROVÃO, J.R. **O processo de ocupação do território maranhense**. São Luís: IMESC, 2008. 38 p. (Cadernos IMESC, 5).

VILLAS BOAS, J.M.; ARAÚJO, C.C. **Açailândia, folha SB.23-V-A**: estados do Pará e Maranhão. Brasília, DF: CPRM, 1999. Escala 1:250.000. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. 1 CD-ROM.

4

RECURSOS HÍDRICOS SUPERFICIAIS

Cláudio Damasceno de Sousa (*claudio.sousa@cprm.gov.br*)

Djalena Marques de Melo (*djalena.melo@cprm.gov.br*)

Jean Ricardo do Nascimento (*jean.nascimento@cprm.gov.br*)

CPRM – Serviço Geológico do Brasil

SUMÁRIO

Introdução	65
Bacias Hidrográficas	65
Rede de Monitoramento Hidrometeorológica	66
Dados Hidrometeorológicos em Tempo Real (Telemetria)	68
Atlas Pluviométrico	68
Fluviometria	69
Medição Líquida	69
Medição de Sedimentos	73
Levantamento de Seção Transversal	73
Monitoramento da Qualidade das Águas Superficiais das Sub-Bacias 33 e 34	73
Referências.....	76

INTRODUÇÃO

O Maranhão é um dos estados brasileiros mais ricos em bacias hidrográficas de grandes dimensões. Seus rios se distinguem por serem permanentes e manterem expressivo volume de água durante todo o ano (FEITOSA; ALMEIDA, 2002).

Estudos indicam que 74% das sedes municipais são abastecidas exclusivamente por mananciais subterrâneos (poços). As águas superficiais abastecem 21% dos municípios e os 5% restantes são abastecidos tanto por mananciais superficiais como subterrâneos (ANA, 2010).

Entretanto, essa grande malha hídrica, por si só, não é suficiente para garantir o fornecimento de água com qualidade para as diversas necessidades dos maranhenses. Face às constantes agressões ao meio ambiente, a maioria de seus municípios não apresenta condições satisfatórias de abastecimento humano e saneamento básico. Portanto, importa ao poder público e à sociedade construir estruturas de gestão e de controle do uso dos recursos naturais, em especial para os recursos hídricos (MARANHÃO, 2009).

Objetivando subsidiar os esforços para aumentar o conhecimento da hidrografia do Maranhão, são apresentadas as principais bacias hidrográficas que compõem o estado, bem como a sistemática de procedimentos adotados no monitoramento hidrometeorológico, tais como: níveis de água dos rios, precipitação pluviométrica, medições de qualidade de água, medições de sedimentos, medição de vazão líquida e perfis transversais.

BACIAS HIDROGRÁFICAS

O território brasileiro está dividido em 12 regiões hidrográficas, de acordo com a Resolução nº 32, de 25 de junho de 2003, do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH) (BRASIL, 2011). No contexto dessa resolução, o estado do Maranhão insere-se em três dessas regiões: Região Hidrográfica Atlântico Nordeste Ocidental, Região Hidrográfica do Parnaíba e Região Hidrográfica do Tocantins/Araguaia.

Essas regiões se subdividem em 13 bacias e dois sistemas hidrográficos, sendo que esses dois sistemas, mais nove bacias, são de domínio exclusivo do Maranhão, enquanto quatro bacias são de domínio federal (Quadro 4.1).

A região hidrográfica Atlântico Nordeste Ocidental contempla, parcialmente, os estados do Maranhão (91%) e do Pará (9%). Na área do estado do Maranhão, essa região divide-se em três bacias hidrográficas de nível 2 (bacias 31, 32 e 33), que, por sua vez, subdividem-se em 11 bacias do nível 3 (bacias dos rios Gurupi, Maracaçumé, Turiaçu, Pindaré, Grajaú, Mearim, Itapecuru, Peria, Preguiças, Munim e Ararandeuá) e em dois sistemas hidrográficos: Litoral Ocidental e das Ilhas Maranhenses.

O rio Gurupi é formado pela união dos rios Açailândia e Itinga. O primeiro, provindo da região norte de Alfredo Lisboa, na serra do Gurupi, tem como principal afluente o rio Pequiá (BRASIL, 2006b). A serra do Tiracambu constitui-se no principal divisor de águas da bacia do rio Gurupi, estabelecendo o limite com as bacias de Maracaçumé, Pindaré e Turiaçu, sendo responsável pelos maiores afluentes maranhenses,

Quadro 4.1 - Bacias hidrográficas do estado do Maranhão.

Região Hidrográfica	Bacia Hidrográfica	Área (km ²)	% de Área Estadual
Domínio Estadual			
	Subtotal-1	215.640,71	65,73
Atlântico Nordeste Ocidental	Sistema Hidrográfico do Litoral Ocidental	10.155,54	3,10
	Sistema Hidrográfico das Ilhas Maranhenses	3.372,87	1,03
	Bacia Hidrográfica do Rio Maracaçumé	7.699,12	2,35
	Bacia Hidrográfica do Rio Turiaçu	14.131,60	4,31
	Bacia Hidrográfica do Rio Pindaré	37.707,93	11,49
	Bacia Hidrográfica do Rio Grajaú	20.669,50	6,30
	Bacia Hidrográfica do Rio Mearim	40.681,92	12,40
	Bacia Hidrográfica do Rio Itapecuru	53.217,26	16,22
	Bacia Hidrográfica do Rio Peria	5.396,06	1,64
	Bacia Hidrográfica do Rio Preguiças	6.691,85	2,04
	Bacia Hidrográfica do Rio Munim	15.917,06	4,85
Domínio Federal			
	Subtotal-2	112.412,80	34,27
Atlântico Nordeste Ocidental	Bacia Hidrográfica do Rio Gurupi	1.764,35	4,81
	Bacia Hidrográfica do Rio Ararandeuá	1.566,48	0,48
Parnaíba	Bacia Hidrográfica do Rio Parnaíba	66.106,97	20,15
Tocantins/Araguaia	Bacia Hidrográfica do Rio Tocantins	28.975,03	8,83

Fonte: Modificado de PNRH/MMA-ANA (Brasil, 2006a).

destacando-se os rios Surubim, Tucamandui, Cajuapara, Panemã, Apará e Jararaca. Após cumprir um percurso de mais de 400 km – desde a confluência com o rio Itinga constitui a linha limítrofe entre os estados do Pará e do Maranhão –, deságua no oceano Atlântico, na Baía de Gurupi.

As bacias hidrográficas do Turiaçu, Maracaçumé e o sistema hidrográfico Litoral Ocidental reúnem, além desses cursos principais, rios de curtos trajetos, como Coqueiro, Macaxeira, Peixe, Pacoral, Paraná, Laranja, Igarapé da Rosa, das Almas, Caxias, Urubuçu, Liconde, Uru, Itapetinga, Pericumã, Grande, Aurá, Cabelo da Velha e Jamari, que apresentam características amazônicas e deságuam em uma costa de inúmeras rias. Esses rios sofrem influência das marés – que influenciam, conseqüentemente, o ritmo de vida da população. Apresentam, próximo à foz, grandes larguras e são orlados por exuberante vegetação de mangue (IBGE, 1997).

A bacia do rio Pindaré coleta as contribuições de afluentes provindos das serras do Gurupi e Tiracambu. Nasce a leste de Montes Altos, tendo como principais afluentes os rios Buriticupu, Novo, Verde Zutiua, Juriti, Arapapa, Timbira, Santa Rita, Arame, Cipoeiro ou Gentil, Zutiua e Jeju. Deságua no estuário do rio Mearim.

O rio Grajaú, que dá nome à bacia, nasce entre as serras da Canela e Negra, no extremo sudoeste do estado e se desloca em sentido sudoeste-nordeste, tendo como principais afluentes os rios Santana, Gameleiras, Água Fria, Piombeira, riacho Água Boa, Barriguda, Baixão do Timbiras, Camaça, Jacaré entre outros. Deságua na área dos grandes lagos da Baixada Maranhense, na influência do estuário do rio Mearim.

O rio Mearim provém da serra da Menina, próximo a Fortaleza dos Nogueiras, a 650 m de altitude. Assume, durante longo trajeto, direção sudoeste-nordeste, até proximidades de Esperantinópolis, onde, após receber o afluente Flores, direciona-se para norte, persistindo mais ou menos nesse rumo. A partir do município de Lago Verde, na Baixada Maranhense, suas margens tornam-se alagadiças. Na cidade de Arari, é possível visualizar, devido ao fenômeno da pororoca, o encontro desse rio com as águas oceânicas que adentram o continente por mais de 120 km, misturando-se com as águas do rio e formando o estuário do rio Mearim.

O rio que forma a Bacia do Itapecuru nasce no sul do estado, no sistema formado pelas serras de Cruzeiras, Itapecuru e Alpercatas, a cerca de 560 m de altitude. Corre, inicialmente, na direção oeste-leste até Várzea do Cerco, onde toma rumo norte até a barra do rio Alpercatas. Desse ponto em diante, muda de direção para nordeste, persistindo até encontrar o rio Correntes, onde, subitamente, inflete para noroeste. Nas proximidades de Caxias, assume direção geral norte-noroeste. Deságua na Baía do Arraial, a sudeste da ilha de São Luís (IBGE, 1997). Os principais afluentes são: rios Pirapemas, Tapuio, Peritoró, Seco, Gameleira, Codozinho, Limpeza, Alpercatas, Itapecuruzinho, do Ouro, Cachimbo, Guariba, Pucumã, dos Porcos e São João e riachos São Felinho, da Prata e dos Cocos; brejo da Cachoeira e Igarapé Grande.

O rio Munim nasce nos tabuleiros da Formação Barreiras, no município de Aldeias Altas, na porção nordeste

do estado do Maranhão. Tem como principais afluentes os rios Iguarana, Piranji, Buriti, riacho Mocambo, do Areal, do Riachão, Iguara, Alto Alegre, do Preto, Bom Sossego, Feio, do Foje, da Raiz, do Boi, Jatobá e São Gonçalo. Deságua na Baía de São José, entre Axixá e Icatu, após um percurso de mais de 280 km. Bastante assoreado, sofre as conseqüências dos desmatamentos e do uso indiscriminado do solo, que tornam suas águas escassas e turvas, só adquirindo maior volume no baixo curso, já próximo à costa.

As bacias do rio Peria e Preguiças, além dos rios que lhes são homônimos, têm outros de pequeno trajeto, a maior parte perene. Dentre eles, destacam-se: da Fome, Carrapato, Cocal, Negro, Juçaral, Mirinzal, Alegre, Maracamo, Ribeira, Mapari, Queixada e Bacaba. Existem, também, drenagens ainda menores, que, pela alta permeabilidade do terreno (areais), têm dificuldades de escoar até o mar – muitas vezes, associam-se a áreas arenoargilosas, que possibilitam a formação de lagos.

A **região hidrográfica do Parnaíba**, composta no estado maranhense pela bacia 34, configura-se como uma das mais importantes da Região Nordeste do Brasil, sendo ocupada pelo estado do Piauí (75,3%) e parte dos estados do Maranhão (19,8%) e Ceará (4,1%).

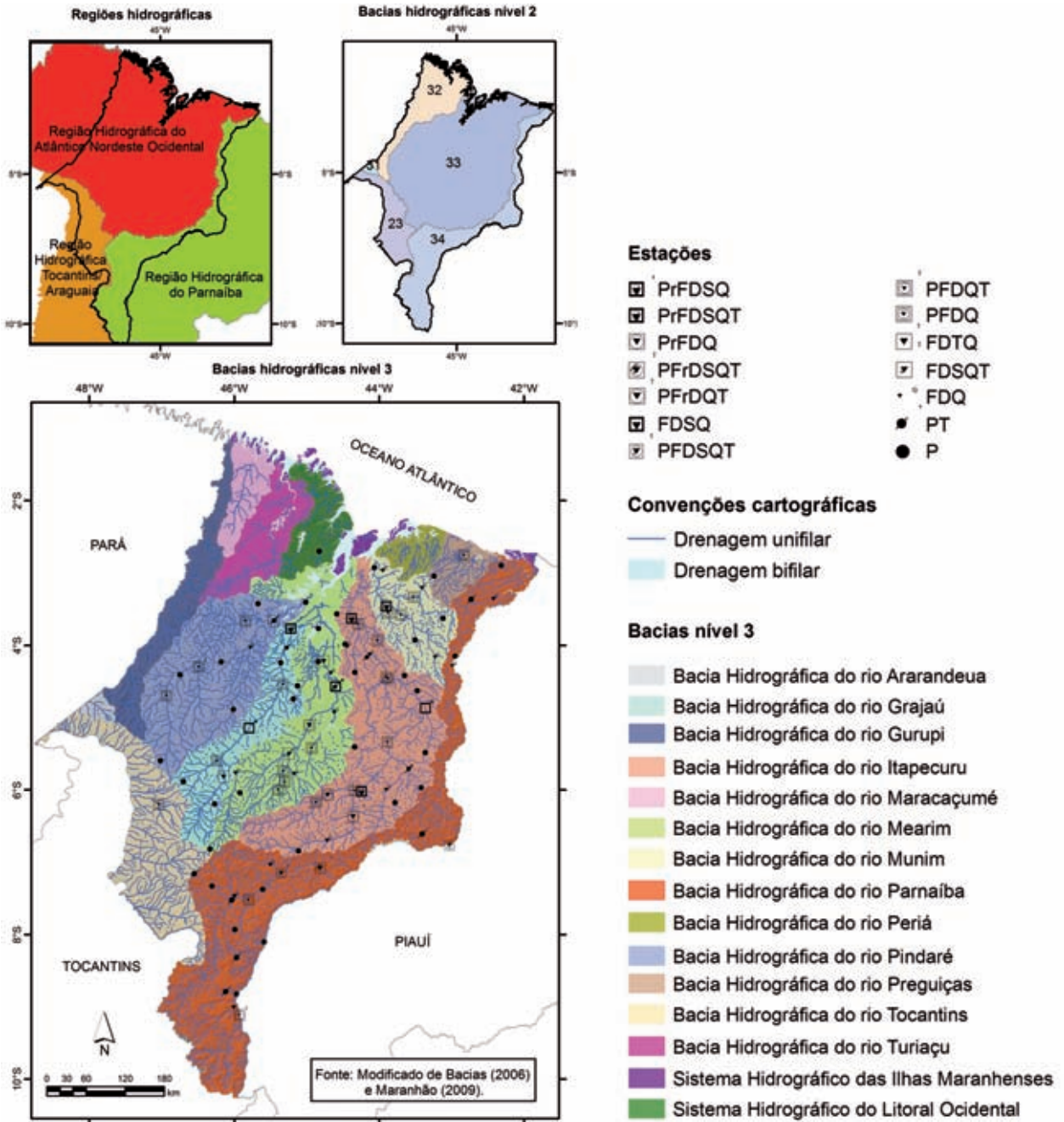
O rio Parnaíba tem extensão aproximada de 1.400 km e é perene na maioria de seus trechos. Nasce nos contrafortes da Chapada das Mangabeiras, confluência de três outros rios: Água Quente, na divisa dos estados do Maranhão e Piauí; Curriola e Lontra, ambos em território piauiense, desaguardo no oceano Atlântico e servindo, ao longo de todo o seu curso, de divisa entre Maranhão e Piauí. Seus principais afluentes são alimentados por águas superficiais e subterrâneas, destacando-se os rios Balsas, Gurgueia, Piauí, Canindé, Poti e Longá (BRASIL, 2006c).

A **região hidrográfica do Tocantins/Araguaia** (bacia 23) abrange os estados de Goiás (26,8%), Tocantins (34,2%), Pará (20,8%), Maranhão (3,8%), Mato Grosso (14,3%) e o Distrito Federal (0,1%). Grande parte situa-se na Região Centro-Oeste, desde as nascentes dos rios Araguaia e Tocantins, até a sua confluência. Daí para jusante adentra a Região Norte até a sua foz (BRASIL, 2006d).

O rio Tocantins nasce no Planalto de Goiás, a cerca de 1.000 m de altitude, sendo formado pelos rios das Almas e Maranhão. Tem extensão total aproximada de 1.960 km até a sua foz, no oceano Atlântico.

REDE DE MONITORAMENTO HIDROMETEOROLÓGICA

A rede de monitoramento hidrometeorológica da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais/Serviço Geológico do Brasil (CPRM/SGB) no estado do Maranhão abrange sete bacias hidrográficas, sendo cinco de domínio estadual (bacias dos rios Mearim, Itapecuru, Munim, Grajaú, Pindaré) e duas de domínio federal (bacias dos rios Parnaíba e Tocantins-Araguaia) (Figura 4.1).



Legenda:

P – Pluviométrica; **PT** – Pluviométrica e Telemétrica; **FDQ** – Fluviométrica com Medição de Descarga Líquida e Qualidade de Água; **FDSQ** – Fluviométrica com Medição de Descarga Líquida, Sedimentométrica e Qualidade de Água; **FDSQT** – Fluviométrica com Medição de Descarga Líquida, Sedimentométrica, Qualidade de Água e Telemétrica; **FDTQ** – Fluviométrica com Medição de Descarga Líquida, Telemétrica e Qualidade de Água; **PFDQT** – Pluviométrica e Fluviométrica com Medição de Descarga Líquida, Qualidade de Água e Telemétrica; **PFDSQT** – Pluviométrica e Fluviométrica com Medição de Descarga Líquida, Sedimentométrica, Qualidade de Água e Telemétrica; **PFrDQT** – Pluviométrica e Fluviográfica com Medição de Descarga Líquida, Sedimentométrica, Qualidade de Água e Telemétrica; **PFrDSQT** – Pluviométrica e Fluviográfica com Medição de Descarga Líquida, Sedimentométrica, Qualidade de Água e Telemétrica; **PrFDQ** – Pluviográfica e Fluviométrica com Medição de Descarga Líquida e Qualidade de Água; **PrFDSQ** – Pluviográfica e Fluviométrica com Medição de Descarga Líquida, Sedimentométrica e Qualidade de Água; **PrFDSQT** – Pluviográfica e Fluviométrica com Medição de Descarga Líquida, Sedimentométrica, Qualidade de Água e Telemétrica

Figura 4.1 - Mapa da distribuição das bacias hidrográficas no estado do Maranhão.

Os trabalhos de operação e manutenção dessa rede são realizados pela CPRM/Residência de Teresina (RETE), por meio de termo de cooperação entre a Agência Nacional de Águas (ANA) e a CPRM/SGB.

Os dados de pluviometria (chuvas) e fluviometria (nível dos rios) são coletados *in loco*, junto a observadores hidrológicos contratados e com auxílio de aparelhos telemétricos (por satélite). Os dados de medição de descarga líquida (vazão), sólida (sedimentos) e qualidade da água são obtidos *in loco* por técnicos em Geociências da CPRM/RETE, em campanhas trimestrais realizadas nas estações hidrometeorológicas, seguindo os critérios definidos pela Organização Meteorológica Mundial (OMM).

A rede hidrometeorológica da CPRM/SGB é composta por 108 estações, operadas pela CPRM/RETE quatro vezes ao ano (Quadro 4.2).

Os dados hidrometeorológicos coletados pelas PCDs são transmitidos via telefonia celular por GPRS ou por satélites meteorológicos e recebidos pelas estações-base do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), que, por sua vez, repassa-os para a ANA. Cabe a essa agência o acompanhamento, a organização, a divulgação e o armazenamento dos dados.

Como a ANA é uma agência fiscalizadora e reguladora, ela delega a seus parceiros, públicos ou privados, a parte de instalação e manutenção por meio de convênios. A CPRM/RETE é responsável pela operação e manutenção de 15 estações telemétricas no estado do Maranhão.

A importância desse monitoramento em tempo real se justifica quando o poder público necessita de informações que venham a aperfeiçoar as ações que visam a minimizar

Quadro 4.2 - Dados de monitoramento hidrometeorológico no estado do Maranhão.

Total de Estações	Estações Pluviométricas	Estações Fluviométricas	Estações Telemétricas	Medição de Descarga Líquida/Ano	Medição de Descarga Sólida/Ano	Medição de Qualidade de Água
108	83	60	18	60	12	60

Dados Hidrometeorológicos em Tempo Real (Telemetria)

Os dados hidrometeorológicos em tempo real são obtidos por um conjunto composto por um sensor de pressão – responsável pela obtenção dos dados do nível do rio (centímetros de coluna de água), um pluviômetro automático, para determinação da quantidade de chuva (milímetros), termômetros, para medir a temperatura da água e do ar (°C), sensores de medição de umidade do ar e uma plataforma de coleta e armazenamento desses dados, denominada Plataforma de Coleta de Dados (PCDs) ou, simplesmente, estação automática com transmissão remota de dados (Figuras 4.2a, b, c).

as calamidades provocadas por secas, enchentes, conflitos pelo uso das águas, dentre outros.

Com o monitoramento em tempo real, evitam-se possíveis catástrofes causadas pela elevação rápida e violenta dos níveis de uma represa, pois o controle de abertura ou fechamento das comportas torna-se mais preciso e seguro. Da mesma forma, o monitoramento dos níveis de rios, que, em determinados momentos, provocam enchentes, permite a evacuação de forma rápida e planejada da população que vive nessas áreas, causando menos transtornos para as comunidades ribeirinhas.

No estado do Maranhão, há 16 estações automatizadas (Quadro 4.3) inseridas nas sub-bacias 33 e 34 e distribuídas de forma regular nos principais rios do estado, em seus cursos altos, médios e baixos.

Há previsão, por parte da ANA, de melhorias na cobertura por estações automatizadas, de modo a se prover respostas em menor espaço de tempo a eventos de enchentes cada vez mais recorrentes.

A ANA disponibiliza, em seu portal na Internet (<http://200.140.135.139/Usuario/mapa.aspx>), as informações transmitidas pelas PCDs (Figura 4.3).



Figura 4.2 - a) PCD GPRS; b) PCD Goes; c) Datalogger. Foto: Jean Nascimento.

Atlas Pluviométrico

Com base nos dados pluviométricos obtidos da rede hidrometeorológica nacional, foi possível elaborar o Atlas Pluviométrico do Brasil, que faz parte do Sistema sobre Disponibilidades Hídricas do Brasil desenvolvido pela CPRM/SGB.

Esse produto proporcionou a montagem de um banco de dados pluviométricos diários contendo séries

Quadro 4.3 - Estações automatizadas nas sub-bacias 33 e 34.

Estação	Tipo	Município
Barão do Grajaú	Satélite	Barão de Grajaú
Barra do Corda	Satélite	Barra do Corda
Balsas	GPRS	Balsas
Boa Vista	Datalogger	Alto Parnaíba
Babilônia	Datalogger	Tasso Fragoso
Barra da Onça	Datalogger	Barra da Onça
São Félix de Balsas	GPRS	São Félix de Balsas
Sambaíba	Satélite	Sambaíba
Pindaré-Mirim	Satélite	Santa Inês
Lages	Datalogger	Barão de Grajaú
Grajaú II	Satélite	Grajaú
Mirador	Satélite	Mirador
Morro Vermelho	Datalogger	Riachão
Alto Parnaíba	GPRS	Alto Parnaíba
Aratói Grande	Satélite	Bela Vista
Codó	Satélite	Codó

consolidadas, com pelo menos 20 anos de observações, no caso específico do Nordeste, devido à pouca quantidade de dados de chuva, e conhecimento do comportamento pluviométrico no território nacional, referente ao período 1977-2006, das precipitações anuais e trimestrais.

Essas informações se mostram importantes quando associadas a estudos que visam a quantificar o volume de água que determinado reservatório receberá ou mesmo o grau devastador de uma enchente em dada região de interesse.

No caso do Maranhão, observa-se que as maiores precipitações ocorrem nas porções noroeste, centro-norte e oeste e, as menores, no centro-sul do estado, sendo que os valores predominantes encontram-se entre 1.100 a 2.000 mm (Figura 4.4). Tais precipitações permitem concluir que o

regime de chuvas, na média, proporciona boa recarga dos rios do estado, algumas vezes provocando enchentes e, não raro, inundações que causam danos à população local nas planícies de inundações. Dessa forma, o monitoramento e um sistema de alerta de rios são de extrema importância, uma vez que podem ajudar no planejamento da ocupação, bem como evitar perdas materiais e de vidas humanas.

Fluviometria

A fluviometria é a parte da hidrografia que estuda a medição das descargas ou vazões dos rios ou outros cursos d'água, necessárias à determinação do potencial hidráulico disponível.

Denomina-se estação fluviométrica o local onde são medidos o nível e a vazão de um curso d'água. O nível, ou cota linimétrica, é medido diariamente, às 7 h e às 17 h, por um observador (um morador das proximidades que recebe pequena gratificação pela execução das leituras), em réguas graduadas implantadas na margem do rio. A medição de vazão, que depende de técnica e equipamentos mais complexos, é efetuada por técnicos em Geociências nas visitas trimestrais às estações. Por meio dessas medições, é estabelecida a “curva-chave”, que é a relação cota x descarga, a partir da qual as cotas linimétricas serão transformadas em vazão, constituindo as séries hidrológicas fundamentais aos projetos de aproveitamentos hídricos e à gestão da oferta das águas nas bacias hidrográficas (Quadro 4.4).

Dentre os estudos desenvolvidos pela CPRM/SGB, com dados da medição de vazões, encontra-se o Projeto de Regionalização de Vazões, que objetiva informar a potencialidade superficial dos recursos hídricos no território brasileiro, de modo a serem utilizados de forma sustentada, de acordo com o interesse social e a utilidade pública, e o Projeto de Alerta de Cheias, que visa a minimizar os prejuízos causados por cheias nas bacias hidrográficas. Tais informações básicas são essenciais para melhor aproveitamento de projetos de

recursos hídricos, como, por exemplo, quantificação da vazão disponível para projetos de irrigação, cálculo do volume de reservatórios, dimensionamento de sistemas de abastecimento de água, autodepuração de esgotos, calado para navegação, sistemas de drenagem, segurança de barragens cálculo de vertedores etc.

Medição Líquida

A medição de descarga líquida – volume de água que passa através de uma seção transversal na unidade de tempo – é realizada com molinete ou medidor acústico. O molinete é um equipamento que contém uma hélice que gira quando é colocada no sentido do fluxo da água. A relação entre o número de voltas por tempo nos fornece a velocidade nos pontos escolhidos no perfil transversal do rio (Figura 4.5).

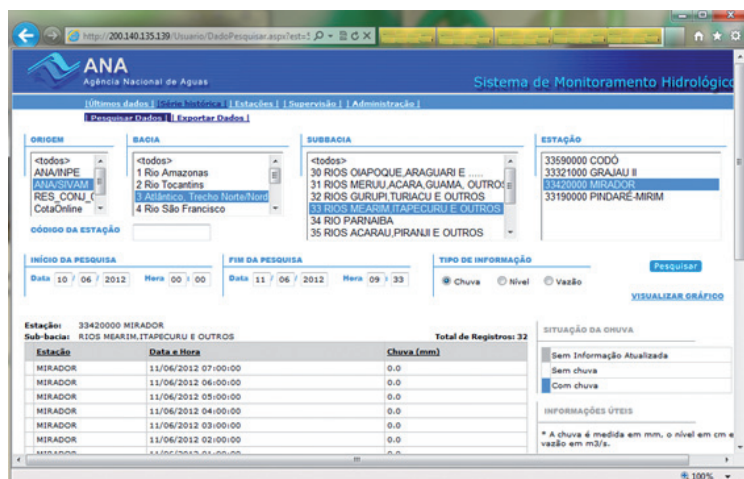


Figura 4.3 - Apresentação dos dados da PCD localizada no município de Mirador (MA).

Quadro 4.4 - Estações fluviométricas localizadas no estado do Maranhão.

Código	Estações	Rio	Tipo	Coordenadas		Vazões máximas	Vazões mínimas	Médias das Vazões	Período
				Latitude	Longitude				
33450000	CAMPO LARGO	Alpercatas	PrFDQ	-6,066944444	-44,708333333	54,2	27,0	33,4	12/1971 a 08/2005
33430000	FERNANDO FALCÃO	Alpercatas	PFDQ	-6,170000000	-44,868888889	44,9	23,1	27,1	01/2000 a 04/2007
33460000	PORTO DOS LOPES	Alpercatas	PFDQ	-6,007222222	-44,340000000	56,1	27,4	34,2	05/1970 a 11/2005
34988000	SÃO BERNARDO	Bacuri	FDQ	-3,360000000	-42,419722222	26,4	1,6	7,12	11/1999 a 12/2005
34142000	BALSINHAS BR-324	Balsinhas	PFDQ	-7,518888889	-45,802500000	185	2,03	18,4	12/2002 a 12/2005
33050000	PONTE BR-222 (PCD-SIVAM)	Buriticupu	PFDQT	-4,297222222	-46,487500000	18,0	0,699	4,4	01/1979 a 12/2005
33620000	FAZENDA SOBRAL	Codozinho	PrFDQ	-4,440300000	-43,901400000	250	1,39	36,6	03/1972 a 11/2005
33215000	RIO CORDA II	Corda/Capim	PFDQ	-5,736111111	-45,323611111	36,9	18,2	23,4	10/1981 a 11/2005
33520000	MENDES	Correntes	FDQ	-5,706111111	-43,586111111	63,4	0,763	5,89	05/1970 a 10/2005
34170000	SÃO FÉLIX DE BALSAS	Das Balsas	PrFDSQT	-7,067500000	-44,812500000	740	89,9	191	07/1963 a 12/2005
34130000	BALSAS	Das Balsas	FDQ	-7,534444444	-46,035833333	285	61,2	101	12/1965 a 10/2005
34160000	SAMBÁIBA	Das Balsas	PFDSTQ	-7,148888889	-45,348888889	766	88,6	173	08/2004 a 12/2007
33270000	FLORES	Flores	PFDQ	-5,419444444	-44,927777778	13,6	0,652	2,19	01/1972 a 12/2005
33273000	JOSELÂNDIA	Flores	FDQ	-4,925833333	-44,618055556	58,4	1,69	17,1	01/2000 a 12/2005
33380000	ARATÓ GRANDE (PCD-SIVAM)	Grajaú	PrFDSQT	-3,769722222	-45,217777778	530	9,2	110	02/1970 a 11/2005
33321000	GRAJAU II (PCD-SIVAM)	Grajaú	FDQT	-5,818055556	-46,144444444	336	3,73	24,7	02/1981 a 12/2005
33333000	ITAIPAUA	Grajaú	FDSQ	-5,144444444	-45,794722222	137	2,62	23,6	10/2003 a 12/2007
33365000	FAZENDA SABESA	Grajaú	PFDQ	-4,537777778	-45,326111111	240	3,26	39,4	12/1999 a 12/2005
33770000	IGUARÁ	Iguará	PrFDQ	-3,553611111	-43,873611111	146	0,021	20,2	12/1971 a 12/2005
33680000	CANTANHEDE	Itapecuru	PrFDSQ	-3,627777778	-44,379166667	1344	47,8	238	06/1968 a 12/2005
33590000	CODÓ (PCD-SIVAM)	Itapecuru	PFDQT	-4,458333333	-43,875000000	604	42,6	116	06/1968 a 12/2005
33630000	COROATÁ	Itapecuru	FDQ	-4,127777778	-44,127777778	921	46,9	162	01/1975 a 12/2005
33410000	SÃO FELINHO	Itapecuru	FDQ	-6,700000000	-44,716666667	48,1	12,1	19,7	10/1999 a 12/2005
33480000	COLINAS	Itapecuru	PrFDSQ	-6,019166667	-44,242777778	110	39,6	55,2	06/1968 a 12/2005
33420000	MIRADOR (PCD-SIVAM)	Itapecuru	PrFDQT	-6,369166667	-44,356111111	52,2	11,7	18,8	06/1968 a 12/2005
33490000	NAZARÉ	Itapecuru	FDQ	-6,000000000	-43,900000000	38,12	0,0	2,52	10/1999 a 10/2005
33550000	CAXIAS	Itapecuru	PFDSTQ	-4,865277778	-43,358333333	302	39,3	76,2	04/1963 a 12/2005
33530000	MONTEVIDÉU	Itapecuru	PFDQ	-5,337222222	-43,884444444	188	40,6	64,4	01/1975 a 12/2005
23650000	LAJEADO NOVO	Lajeado	PFDQ	-6,197777778	-47,042777778	308	2,25	21,5	01/2000 a 12/2004
34140000	MARAVILHA BR-230	Maravilha	FDQ	-7,466666667	-46,000000000	139	2,58	17,1	11/1999 a 10/2005

(continuação) **Quadro 4.4** - Estações fluviométricas localizadas no estado do Maranhão.

Código	Estações	Rio	Tipo	Coordenadas		Vazões máximas	Vazões Mínimas	Médias das Vazões	Período
				Latitude	Longitude				
33290000	BACABAL (PCD-SIVAM)	Mearim	FDTQ	-4,219444444	-44,765277778	343	46,7	110	09/1975 a 01/2006
33205000	FAZENDA REMANSO	Mearim	FDQ	-5,766666667	-45,983333333	126	14,4	26,4	01/1979 a 12/2005
33250000	BARRA DO CORDA (PCD-SIVAM)	Mearim	FDSQT	-5,500000000	-45,243055556	181	40,6	61,7	06/1963 a 12/2005
33281000	PEDREIRAS II	Mearim	FDSQ	-4,566666667	-44,600000000	341	46,5	95,2	01/1984 a 12/2005
33260000	SANTA VITÓRIA	Mearim	PFDDQ	-7,148888889	-45,348888889	169	42,3	66,8	01/1972 a 09/2005
33286000	SÃO LUIZ GONZAGA	Mearim	FDQ	-4,383333333	-44,666666667	351	48,1	102	08/1989 a 12/2005
34030000	MEDONHO	Medonho	FDQ	-9,008333333	-46,005833333	235	14,8	28,5	12/1999 a 03/2005
33790000	URBANO SANTOS	Mocambo	FDQ	-3,209166667	-43,406388889	23,2	1,59	5,5	11/2004 a 12/2007
33720000	FAZENDA CAPUEIRA	Munim	FDQ	-4,166944444	-43,223888889	20,6	0,012	2,82	12/2002 a 12/2007
33730000	MUNIM	Munim	PFDDQ	-3,580555556	-43,697222222	213	1,36	31,7	12/1971 a 12/2005
33780000	NINA RODRIGUES	Munim	PFDSQ	-3,459444444	-43,898888889	546	12,9	115	08/1963 a 12/2005
34145000	NEVES BR-230	Neves	FDQ	-7,037222222	-45,500833333	76,2	11,1	18	12/1999 a 12/2005
33222000	FAZENDA OURIVES	Ourives	FDQ	-5,779444444	-45,173611111	12,4	3,16	4,49	10/2004 a 12/2005
33212000	PAPAGAIO	Papagaio	PFDDQ	-5,983333333	-42,400277778	2,66	1,49	1,72	09/2004 a 12/2007
34311000	BARÃO DE GRAJAÚ (PCD SIVAM)	Parnaíba	PFDSQT	-6,761900000	-43,026400000	1514	287	504	06/1983 a 12/2005
34820000	COELHO NETO	Parnaíba	FDQ	-4,288055556	-42,985555556	2830	218	656	10/1999 a 12/2005
34020000	ALTO PARNAÍBA	Parnaíba	PFDDQ	-9,113055556	-45,926111111	498	70,9	116	12/1965 a 12/2005
33214000	SÃO CARLOS	Pau Grosso	PFDDQ	-5,891944444	-45,301944444	6,35	4,7	4,30	10/2003 a 08/2005
33080000	ALTO ALEGRE	Pindaré	PFDDQ	-3,664722222	-45,841666667	442	26,1	133	12/1999 a 12/2007
33070000	FAZENDA VARIG	Pindaré	PFDDQ	-6,170000000	-44,868888889	62,4	11,8	27,7	11/2004 a 12/2007
33190000	PINDARÉ-MIRIM	Pindaré	FDSQT	-3,661111111	-45,458333333	923	25,4	219	01/1972 a 12/2005
33025000	VALE DO PINDARÉ	Pindaré	PFDDQ	-4,695833333	-46,933333333	69,2	3,38	16,8	01/1981 a 12/2005
33638000	PEDRAS	Pirapemas	PFDDQ	-3,933333333	-44,022222222	120	0,0	8,5	01/1984 a 12/2005
33661000	PIRITORÓ II	Piritoró	PFDDQ	-3,706388889	-44,287222222	290	0,0	38,4	02/1989 a 12/2005
33700000	MORRO ALTO	Preguiças	PFDDQ	-2,753333333	-42,827777778	33,9	9,81	17,5	11/1999 a 12/2005
33750000	BONSUCESSO	Preto	FDQ	-2,968888889	-43,946666667	38,3	1,3	8,24	11/1999 a 12/2005
33760000	SÃO BENEDITO	Preto	PFDDQ	-3,334722222	-43,525000000	96,6	6,27	27,4	01/1975 a 12/2005
33330000	FORTALEZA	Santana	PFDDQ	-5,594444444	-46,240277778	168	1,24	12,4	10/1979 a 12/2005
33631000	SÃO MATEUS DO MARANHÃO	Tapuio	FDQ	-4,018055556	-44,441666667	75,0	0,0	8,1	06/2005 a 12/2007
33170000	ESPERANTINA	Zutua	FDQ	-4,032222222	-45,776666667	198	2,375	20,6	05/1972 a 12/2007

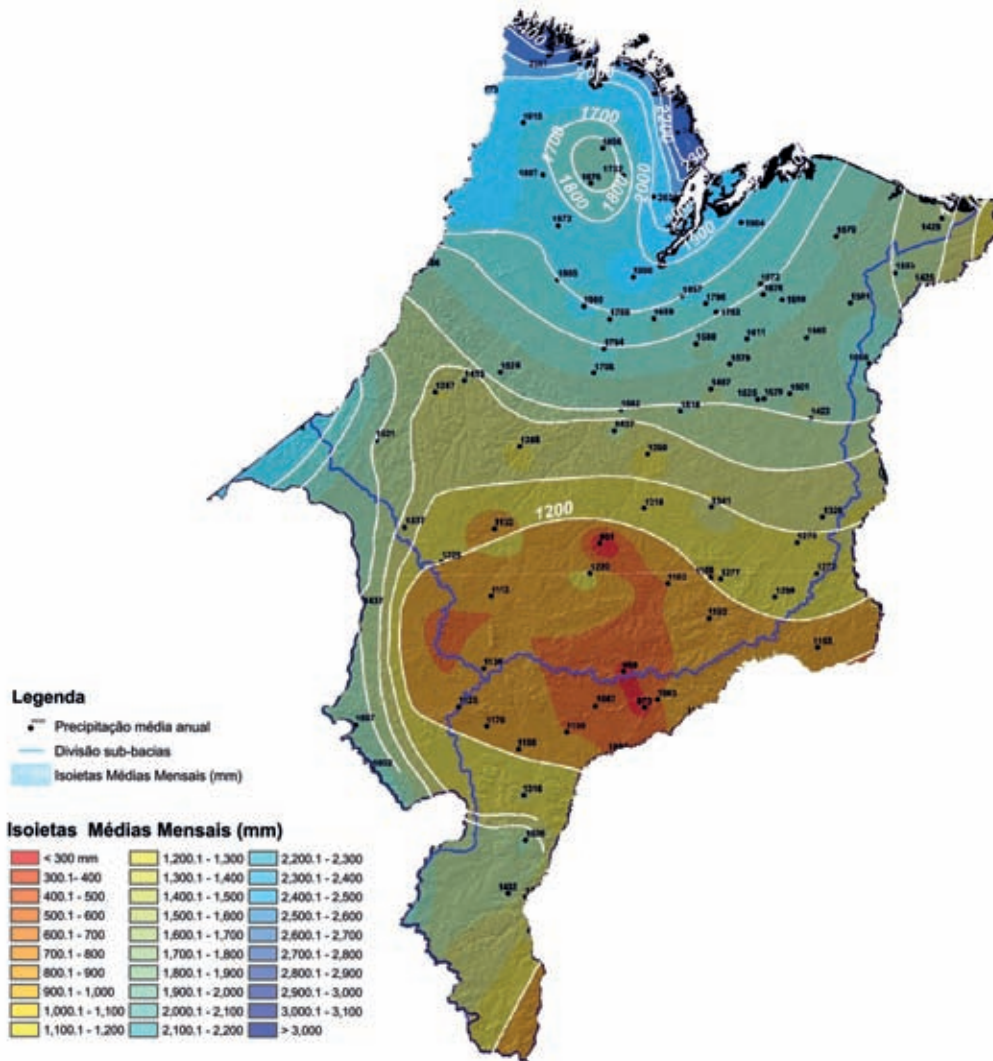


Figura 4.4 - Distribuição de isoietas (chuvas) anuais médias no período 1977-2006, para o estado do Maranhão.
Fonte: Weschenfelder et al. (2011).



Figura 4.5 - Medição de vazão com molinete no rio Mearim (município de São Luiz Gonzaga, MA).

A CPRM/SGB utiliza o método simplificado, também conhecido como método de dois pontos, para determinação da velocidade média em cada vertical. Esse método consiste na determinação da velocidade a um ponto (60% da profundidade total), quando a profundidade for inferior a 0,60 m, e dois pontos (20% e 80 % da profundidade total), quando a profundidade for maior que 0,60 m.

O método acústico baseia-se na medição e integração de áreas e velocidades, como na medição com molinete. Essas informações são obtidas pela análise do eco de pulsos de ultrassom (ondas acústicas de alta frequência) refletidos pelas partículas sólidas em suspensão na massa líquida e pela superfície sólida do fundo (Figura 4.6). Simultaneamente, durante a travessia do canal com uma embarcação na qual o instrumento é afixado, é calculada a batimetria, o levantamento da trajetória da travessia e dos perfis e direções de velocidades, informações que, integradas, fornecem a vazão que atravessa a seção (SANTOS et al., 2001).

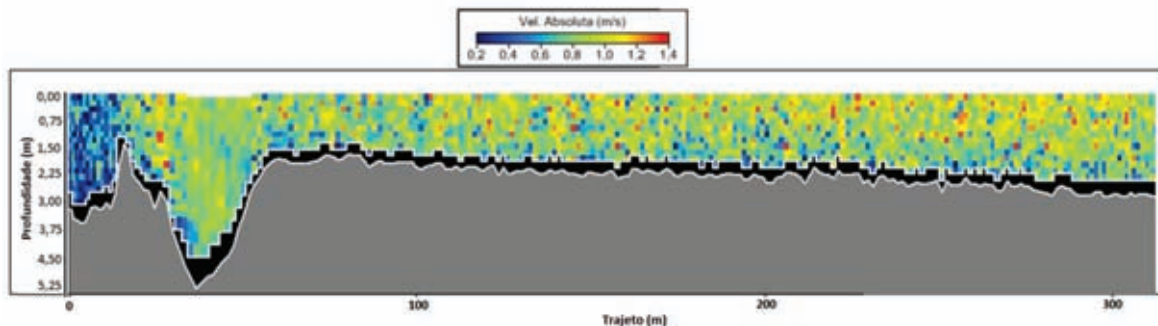


Figura 4.6 - Medição de vazão por efeito Doppler no rio Parnaíba, em seção de medição localizada no município de Teresina, em agosto de 2011.

No estado do Maranhão são monitoradas 61 estações fluviométricas, que fornecem uma média de 200 medições de descarga líquida por ano.

Medição de Sedimentos

A medição da descarga sólida de um rio nos informa sobre o comportamento do processo de transporte dos sedimentos em suspensão. Embora a CPRM/SGB não tenha trabalhos com esses dados, eles são importantes, pois nos permitem saber o quanto acelerada está a remoção das camadas férteis; o estágio em que se encontra o processo de eutrofização em reservatórios e lagos pela absorção de nutrientes por sedimentos finos depositados; a contaminação da água de reservatórios e lagos por metais pesados, fertilizantes e pesticidas químicos transportados juntamente com sedimentos finos afluentes ao manancial; áreas sujeitas a inundação, permitindo ações de controle a enchentes; a vida útil dos reservatórios; a suscetibilidade de áreas sujeitas a desertificação etc.

No estado do Maranhão existem 12 estações de coleta de sedimentos, sendo realizadas, anualmente, 48 medições sedimentométricas. As amostras coletadas são enviadas para o Laboratório de Sedimentometria e Qualidade das Águas (LSQA) da Superintendência Regional da CPRM em Belo Horizonte (Figura 4.7).

Levantamento de Seção Transversal

Com o levantamento de seção transversal calcula-se o perfil transversal do rio no local ou imediações onde



Figura 4.7 - Amostrador de sedimentos.

estão instaladas as réguas de medição. Compõe-se de duas etapas: levantamento batimétrico (seção molhada) e levantamento da parte seca (margens). O levantamento da seção transversal deverá ser executado anualmente, visando a detectar alteração na geometria da seção, auxiliar na extração da curva de descarga e permitir o uso de modelos hidráulicos de propagação de vazões e níveis. Ele deverá ser realizado nas duas margens, partindo-se do nível de água atual lido na régua, e deverá atingir uma cota superior ao maior nível de água observado no histórico da estação.

No levantamento da parte seca da seção transversal, as distâncias são, em geral, determinadas com trena, tendo-se o cuidado de efetuar as medidas na horizontal. O levantamento da parte molhada depende das condições locais e pode ser realizado a vau, com guincho hidrométrico e com ecobatímetro.

O processo a vau é aplicável a rios pequenos e, principalmente, com profundidades inferiores a 1 m e velocidade inferior a 1 m/s. Já o levantamento com guincho hidrométrico deve ser realizado embarcado, com o guincho sendo posicionado com cabo de aço graduado ou ancorado, com utilização de sextante ou distanciômetro. Seu uso é recomendável a uma profundidade máxima de 10 m. Em relação à velocidade, recomenda-se usar lastro de sondagem de 25 kg para velocidades até 2 m/s e de 50 kg para velocidades até 3 m/s. O ecobatímetro tem a vantagem de ser utilizado em praticamente todas as situações de velocidade; dependendo do equipamento, pode efetuar a leitura de profundidades que variam de 0,5 m a 100 m.

No estado do Maranhão, são realizados levantamentos de seção nas 61 estações fluviométricas. Esses dados são importantes, para se verificar a variação da seção transversal com o tempo (Figura 4.8).

MONITORAMENTO DA QUALIDADE DAS ÁGUAS SUPERFICIAIS DAS SUB-BACIAS 33 E 34

O monitoramento das águas superficiais e subterâneas é de fundamental importância para otimização da gestão das águas, porque fornece informações qualitativas básicas e formas de uso das águas ao longo de

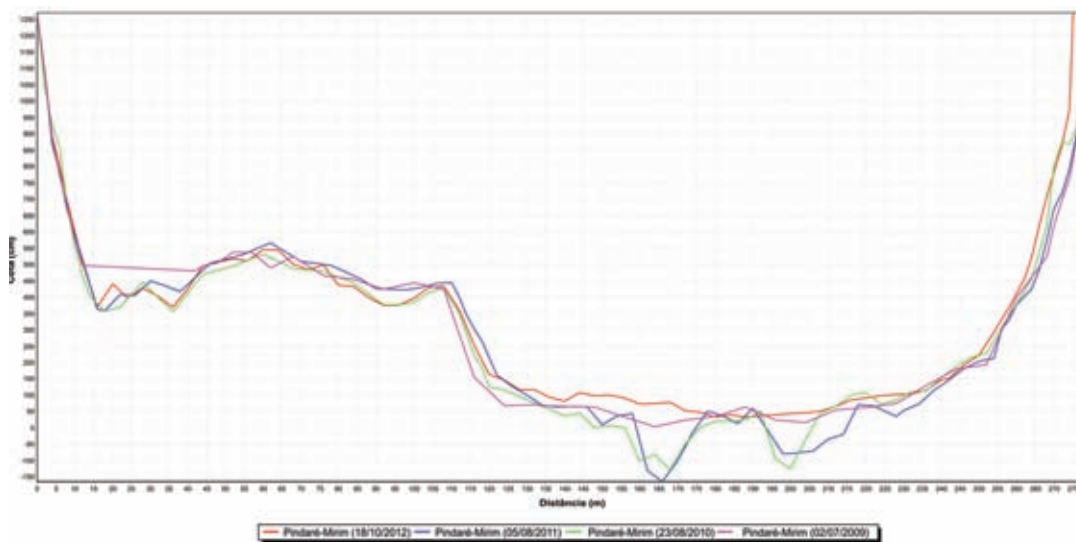


Figura 4.8 - Perfil transversal de 2008 a 2011 da estação de Pindaré-Mirim no rio Pindaré.

determinada bacia. Tal monitoramento subsidia a tomada de decisões por parte de governantes, visando à implementação de melhorias, bem como no gerenciamento das águas superficiais.

Nas sub-bacias 33 e 34 são monitorados os parâmetros pH, Oxigênio Dissolvido, Temperatura, Condutividade Elétrica, Turbidez e Sedimentos (Quadro 4.5).

- **pH:** Potencial de hidrogênio iônico. É um parâmetro que mostra a acidez, a neutralidade ou a alcalinidade de um meio qualquer. A escala do pH pode variar de 0 a 14, sendo que quanto menor o índice do pH de uma amostra, mais ácida essa amostra será. Nos rios monitorados pela ANA-CPRM/SGB, os valores médios estão bastante próximos de 6,9, ou seja, podemos considerá-los como rios de águas neutras.
- **Oxigênio Dissolvido:** É a quantidade, em mg/L, de oxigênio dissolvido na água. O índice OD é um dos mais importantes para se avaliar a capacidade de um corpo hídrico em suportar atividade biológica de organismos aquáticos. Nas águas naturais de superfície, o índice OD varia de 0 a 19 mg/L, mas um teor de 5 a 6 mg/L é sufi-

ciente para suportar uma população variada de peixes. Em águas subterrâneas, a quantidade de oxigênio dissolvido é muito baixa, pelo fato de estar fora do alcance da atmosfera. Normalmente, a quantidade de oxigênio dissolvido na água é dada como porcentagem da quantidade máxima de oxigênio possível de ser dissolvido. Tal quantidade máxima, denominada nível de saturação, varia com a temperatura da água e pode ser medida em laboratório, sendo de 11,5 mg/L a 10°C; 9 mg/L a 20°C; 7,5 mg/L a 33°C.

- **Temperatura:** Medida da intensidade de calor. É um parâmetro importante, pois influi em algumas propriedades da água (densidade, viscosidade, oxigênio dissolvido), com reflexos sobre a vida aquática. A temperatura pode variar em função de fontes naturais (energia solar) e antropogênicas (despejos industriais e águas de resfriamento de máquinas).
- **Condutividade elétrica:** Capacidade que a água possui de conduzir corrente elétrica. Esse parâmetro está relacionado à presença de íons (partículas carregadas eletricamente) dissolvidos na água. Quanto maior a

Quadro 4.5 - Dados com médias históricas de pH, condutividade elétrica, turbidez e OD dos rios do estado do Maranhão.

Estações	Código	Médias				Bacia
		pH	Condutividade	Turbidez	OD	
Fazenda Capoeira	33720000	6,13	82,77	40,58	4,29	MUNIM
Munim	33730000	6,44	67,54	48,05	4,50	
Nina Rodrigues	33780000	6,15	51,65	13,43	5,18	
Iguará	33770000	6,65	129,06	120,77	4,51	
São Benedito	33760000	6,07	51,17	13,63	4,83	
Urbano Santos	33790000	5,88	39,83	3,37	5,66	
Bonsucesso	33750000	6,21	43,20	18,53	4,54	
Morro Alto	33700000	6,03	47,71	3,73	4,72	

(Continuação) **Quadro 4.5** - Dados com médias históricas de pH, condutividade elétrica, turbidez e OD dos rios do estado do Maranhão.

Estações	Código	Médias				Bacia
		pH	Condutividade	Turbidez	OD	
Fernando Falcão	33430000	5,78	25,17	3,41	4,12	ITAPECURU
Campo Largo	33450000	5,94	24,11	4,48	3,94	
Porto dos Lopes	33460000	6,03	37,15	8,70	4,24	
São Felinho	33410000	6,82	72,86	5,70	4,62	
Mirador	33420000	6,06	32,40	27,11	4,03	
Colinas	33480000	6,02	48,70	7,74	5,48	
Mendes	33520000	7,27	229,96	19,24	3,49	
Nazaré	33490000	7,30	186,71	26,38	4,55	
Montevideú	33530000	6,40	33,33	19,02	3,95	
Caxias	33550000	6,01	108,25	20,85	5,94	
Codó	33590000	6,90	49,86	36,82	4,46	
Coroatá	33630000	14,28	56,45	20,80	4,75	
Fazenda Sobral	33620000	6,72	128,37	13,30	4,34	
Pedras	33638000	6,81	192,421	49,62	2,654	
São Mateus	33631000	6,78	116,17	63,05	3,74	
Cantanhede	33680000	7,50	149,37	7,66	5,49	
Piritoró II	33661000	6,95	244,76	38,30	3,76	
Vale do Pindaré	33025000	6,75	222,63	23,91	4,02	
Fazenda Varig	33070000	6,74	254,93	21,33	6,25	
Ponte BR-222	33050000	6,81	220,15	11,47	3,14	
Alto Alegre	33080000	7,18	228,31	36,93	5,01	
Pindaré-Mirim	33190000	6,46	253,03	8,38	5,88	MEARIM
Esperantina	33170000	6,99	290,14	38,73	4,28	
Fazenda Remanso	33205000	7,16	54,20	13,54	4,95	
Fazenda Ourives	33222000	5,76	24,95	2,02	5,38	
São Carlos	33214000	5,54	19,69	2,29	3,35	
Papagaio	33212000	5,54	19,83	4,38	4,03	
Rio Corda II	33215000	6,04	21,82	3,36	4,53	
Barra do Corda	33250000	6,13	84,42	3,64	6,33	
Santa Vitória	33260000	6,84	41,16	14,89	4,06	
Pedreiras II	33281000	6,18	156,53	22,76	5,88	
Joselândia	33273000	6,89	169,59	31,59	3,49	
Flores	33270000	6,58	89,10	8,34	2,57	
São Luiz Gonzaga	33286000	7,03	96,66	40,93	4,12	
Bacabal	33290000	7,22	88,06	30,00	4,57	
Grajaú II	33321000	7,65	141,35	18,05	4,69	
Itaipava	33333000	7,61	142,35	32,28	6,27	
Fortaleza	33330000	7,17	78,31	40,17	5,03	GRAJAÚ
Fazenda Sabesa	33365000	7,56	201,25	33,90	4,44	
Aratoí Grande	33380000	6,82	280,86	14,54	5,82	

quantidade de íons dissolvidos, maior a condutividade elétrica na água.

- **Turbidez:** Presença de matéria em suspensão na água, como argila, silte, substâncias orgânicas finamente divididas, organismos microscópicos e outras partículas. O padrão de potabilidade é: turbidez inferior a uma unidade.
- **Sedimento:** Detrito rochoso resultante de erosão, precipitação química a partir de oceanos, vales ou rios ou biológica (gerados por organismos vivos ou mortos), depositado na superfície da terra, em camadas de partículas soltas, quando diminui a energia do fluido que o transporta: água, gelo ou vento.

O Capítulo II da Resolução nº 274/2000, referente à classificação dos corpos de água, Seção I, Águas Doces, Artigo III, Classe 2, define os seguintes itens como necessários para atender a tal classe:

- a) ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional;
- b) à proteção das comunidades aquáticas;
- c) à recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho;
- d) à irrigação de hortaliças, plantas frutíferas e de parques, jardins, campos de esporte e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato direto; e
- e) à aquicultura e à atividade de pesca.

Na Resolução CONAMA n. 357/2005 (BRASIL, 2005), Capítulo III, referente às condições e padrões das águas, Seção I, Águas Doces, Artigo III, Classe 2, definem-se os seguintes itens como necessários para atender a tal classe:

- 1 - pH entre 6 e 9;
- 2 - OD não inferior a 5 mg/L O₂;
- 3 - turbidez até 40 unidades nefelométricas de turbidez (UNT).

Pela quantidade de parâmetros, não temos como precisar um enquadramento, mas podemos ter um indicativo da classe em que ele poderá estar enquadrado. Pelos poucos parâmetros, poderíamos arriscar incluí-lo na Classe 2, ou seja, um rio cujas águas sofram um simples tratamento poderá ser distribuído para consumo humano e dessedentação animal, além de outros tipos de usos sem grande restrições. Mas, para tal afirmação, seriam necessárias análises envolvendo outros parâmetros, tais como coliformes fecais e totais, clorofila A, DBO₅, nitrogênio amoniacal, dentre outros.

REFERÊNCIAS

ANA. Ministério do Meio Ambiente. **Atlas Brasil:** abastecimento urbano de água: resultados por estado. Brasília, DF: ANA: ENGEORPS/COBRAPE, 2010. v. 2.

ANA. Ministério do Meio Ambiente. **Bases de dados georreferenciadas:** bacias. 2006. Disponível em: <<http://www.ana.gov.br/bibliotecavirtual/solicitacaoBaseDados.asp>>. Acesso em: 20 abr. 2012.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, n. 53, p. 58-63, 18 mar. 2005. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>>. Acesso em: 08 fev. 2013.

BRASIL. Instituto do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. Plano Nacional de Recursos Hídricos. **Síntese Executiva**. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Recursos Hídricos, 2006a. 135 p.; 27 cm. + 1 CD-ROM.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Secretaria de Recursos Hídricos. **Caderno da região hidrográfica Atlântico Nordeste Ocidental**. Brasília, DF: MMA, 2006b.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Secretaria de Recursos Hídricos. **Caderno da região hidrográfica do Parnaíba**. Brasília, DF: MMA, 2006c.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Secretaria de Recursos Hídricos. **Caderno da região hidrográfica do Tocantins-Araguaia**. Brasília, DF: MMA, 2006d.

BRASIL. Secretaria de Recursos Hídricos e Ambiente Urbano. **Conjunto de normas legais:** recursos hídricos. 7. ed. Brasília, DF: MMA, 2011.

FEITOSA, A.C.; ALMEIDA, E.P. A degradação ambiental do rio Itapecuru na sede do município de Codó-MA. **Cadernos de Pesquisas**, São Luís, v. 13, n. 1, p. 31-45, 2002.

IBGE. **Zoneamento geoambiental do estado do Maranhão:** diretrizes gerais para a ordenação territorial. Salvador: IBGE, 1997.

MARANHÃO. Governo do Estado. **Mapa de bacias hidrográficas**. São Luís: UEMA/NUGEO, 2009.

SANTOS, I.; FILL, H.D.; SUGAI, M.R.B.; BUDA, H.; KISHI, R.; MARONE, E.; LAUTERT, F.L. **Hidrometria aplicada**. Curitiba: Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento, 2001. 372 p.

WESCHENFELDER, A.B. et al. **Projeto atlas pluviométrico do Brasil:** isoietas anuais médias – período 1977 a 2006. Rio de Janeiro: CPRM, 2011. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/publique/media/Isoietas_Totais_Anuais_1977_2006_2011.pdf>. Acesso em: 20 ago. 2012.

5

RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÂNEOS

Adson Brito Monteiro (*adson.monteiro@cprm.gov.br*)
Francisco Lages Correia Filho (*francisco.lages@cprm.gov.br*)
João Alberto de Oliveira Diniz (*joao.diniz@cprm.gov.br*)
Rafael Rolim de Souza (*rafael.rolim@cprm.gov.br*)

CPRM – Serviço Geológico do Brasil

SUMÁRIO

Introdução	79
Definição das Classes de Produtividades dos Aquíferos.....	79
Estimativa da Produtividade das Unidades Hidrogeológicas.....	79
Unidades hidrogeológicas	79
Projeto Cadastro de Fontes de Abastecimento por Água Subterrânea no Estado do Maranhão	86
Metodologia	87
Diagnóstico dos Poços Cadastrados.....	88
Referências.....	89

INTRODUÇÃO

As águas subterrâneas têm sido utilizadas para as mais diversas atividades humanas desde tempos imemoriais. Apesar disso, sua natureza e forma de ocorrência sempre se revestiram de certo mistério, uma vez que sua localização, abaixo do solo, torna-a invisível e de difícil acesso, fato que somente foi atenuado, parcialmente, com o nascimento da ciência geológica moderna, durante o século XIX (NARA-SIMHAN, 2009).

Apesar de ser um componente fundamental do ciclo hidrológico, representando, aproximadamente, 97% de toda a água doce disponível na Terra, e vital para a subsistência humana, sua renovabilidade anual por precipitações é limitada e sua qualidade química vulnerável à degradação pela ação humana. Em muitas partes do mundo, a exploração de águas subterrâneas excede em muito a sua renovabilidade, provocando preocupações relativas à sua gestão racional, visando a beneficiar as gerações presentes e futuras.

No Maranhão, assim como em todo o Brasil, a demanda por água tem crescido bastante nos últimos anos, reflexo da melhoria na qualidade de vida e do crescimento econômico. Apesar de complementar, a participação das águas subterrâneas nesse estado no atendimento à demanda instalada é grande, estimando-se que 76,6% das cidades são abastecidas, ao menos parcialmente, com fornecimento hídrico da ordem de 85.106 m³/ano (COSTA, 2000).

Do ponto de vista hidrogeológico, o estado está localizado, quase integralmente, em terrenos da Bacia Sedimentar do Parnaíba, uma das mais importantes províncias hidrogeológicas do país. Seu pacote de sedimentos alcança uma espessura da ordem de 3.000 m, com possibilidades promissoras de armazenamento e exploração de águas subterrâneas. Apresenta dois grandes e importantes aquíferos em sua porção inferior: Serra Grande e Cabeças, confinados, respectivamente, pelas unidades Pimenteirias e Longá. Esses aquíferos, em função de suas grandes profundidades, superiores a 1.000 m, não são explorados no Maranhão. Acima desse conjunto ocorrem outros aquíferos produtivos, explorados no estado, como: Poti-Piauí, Sambaíba, Corda, Grajaú e Itapecuru, separados entre si por outros menos produtivos, constituídos pelas formações Pedra de Fogo, Pastos Bons, Motuca e Codó, e unidades não aquíferas, como os derrames basálticos. Dois outros importantes sistemas aquíferos ocorrem também no estado, embora não façam parte da Bacia Sedimentar do Parnaíba: Barreiras, de vital importância na ilha de São Luís, e Urucua, ocorrente no extremo sul do estado e integrante da Bacia Sanfranciscana.

Os Depósitos Aluvionares e as Formações Cenozoicas Indiferenciadas têm importância restrita no atendimento às populações difusas.

Os corpos ígneos e metamórficos que constituem o meio fraturado são inexpressivos, descontínuos e sem representatividade com relação à captação de água subterrânea.

DEFINIÇÃO DAS CLASSES DE PRODUTIVIDADES DOS AQUIFEROS

Struckmeier e Margat lançaram, em 1995, uma metodologia, segundo a qual as unidades granulares e fraturadas são classificadas quanto à produtividade, levando-se em conta: vazão específica, transmissividade, condutividade hidráulica e vazão explorada.

A CPRM/SGB, a partir de dezembro de 2011, vem implementando nova metodologia na confecção de mapas hidrogeológicos, adaptando a referida classificação à realidade brasileira (Quadro 5.1) e utilizando uma forma de representação em mapa na qual a unidade hidrogeológica aflorante aparece sobre o aquífero subjacente mais produtivo e em profundidade economicamente viável.

Estimativa da Produtividade das Unidades Hidrogeológicas

De modo geral, podem-se dividir as unidades hidrogeológicas do estado do Maranhão em classes, segundo a sua produtividade para captação de água subterrânea, de acordo com a classificação de Struckmeier e Margat (1995) (Quadro 5.2): Muito Alta a Alta; Alta a Moderada; Moderada a Geralmente Baixa, porém Localmente Moderada; Geralmente Baixa, porém Localmente Moderada a Geralmente Muito Baixa, Localmente Baixa; Geralmente Muito Baixa, Localmente Baixa e Não Aquífera.

O enquadramento das unidades quanto à produtividade e relações de contato foi embasado em observações de campo, nos poços do Sistema de Informações de Águas Subterrâneas (SIAGAS) da CPRM/SGB e na literatura.

A descrição litológica e hidrogeológica das unidades hidrogeológicas foi baseada nos trabalhos de diversos autores e nos relatórios das folhas Açailândia (VILLAS BOAS; ARAÚJO, 1999), Bacabal (RODRIGUES et al., 1994), Barra do Corda (LOVATO et al., 1994), Caxias (RIBEIRO et al., 1998), Imperatriz (SOUZA et al., 1990), Itapecuru-Mirim (LOVATO et al., 1995), Presidente Dutra (LEITES et al., 1994), São Luís (RODRIGUES et al., 1994) e Vitorino Freire (COLARES et al., 1990), do Programa Levantamentos Geológicos Básicos (PLGB/CPRM) e no Projeto Mapa Hidrogeológico do Brasil ao Milionésimo, em ambiente SIG (MONTEIRO, 2012a, b; SOUSA, 2012).

As possíveis relações de contato, em subsuperfície, das unidades mesozoicas e paleozoicas, no âmbito da Folha SB.23 – Teresina, escala 1:1.000.000, são apresentadas na Figura 5.1.

Unidades hidrogeológicas

Produtividade muito alta a alta

- Aquífero Urucua

Características Litológicas: É o principal aquífero da Bacia Sanfranciscana, contínuo, com extensão regional,

Quadro 5.1 - Definição das classes de produtividade dos aquíferos.

Q/s(m ³ /h/m)*	T(m ² /s)	K(m/s)	Vazão (m ³ /h)	Produtividade**	Classe
>4,0	>10-02	>10-04	>100	Muito Alta: Fornecimentos de água de importância regional (abastecimento de cidades e grandes irrigações). Aquíferos que se destaquem em âmbito nacional.	(1)
2,0<Q/s<4,0	10-03<T<10-02	10-05<K<10-04	50<Q<100	Alta: Características semelhantes à classe anterior, contudo, situando-se dentro da média nacional de bons aquíferos.	(2)
1,0<Q/s<2,0	10-04<T<10-03	10-06<K<10-05	25<Q<50	Moderada: Fornecimentos de água para abastecimentos locais, em pequenas comunidades; irrigação em áreas restritas.	(3)
0,4<Q/s<1,0	10-05<T<10-04	10-07<K<10-06	10<Q<25	Geralmente Baixa, porém Localmente Moderada: Fornecimentos de água necessários para suprir abastecimentos locais ou consumo privado.	(4)
0,04<Q/s<0,4	10-06<T<10-05	10-08<K<10-07	1<Q<10	Geralmente Muito Baixa, porém Localmente Baixa: Fornecimentos contínuos, dificilmente, são garantidos.	(5)
<0,04	<10-06	<10-08	<1,0	Pouco Produtiva ou Não Aquífero: Fornecimentos insignificantes de água. Abastecimentos restritos ao uso de bombas manuais, destinados à sobrevivência humana e à dessedentação animal.	(6)

Fonte: Struckmeier e Margat, 1995 (modificado por Diniz, 2012).

* Tempo de 12 horas e rebaixamento de 25 m para aquíferos granulares.

** Na definição da produtividade para aquíferos fraturados e cársticos, só deve ser considerada a vazão.

Quadro 5.2 - Produtividade das unidades hidrogeológicas no estado do Maranhão.

Unidade Hidrogeológica	Espessura Média (m)	Tipologia	Produtividade	Classe
Barreiras (ENb)	60	Livre	Moderada a Geralmente Baixa, porém Localmente Moderada	(3) e (4)
Itapecuru (K12it)	130	Livre	Moderada a Geralmente Baixa, porém Localmente Moderada	(3) e (4)
Codó (K1c)	70	Livre	Geralmente Muito Baixa, porém Localmente Baixa	(5)
Grajaú (K1g)	40	Livre	Geralmente Baixa, porém Localmente Moderada a Geralmente Muito Baixa, porém Localmente Baixa	(4) e (5)
Uruçuia (K2u)	500	Livre/Semiconfinado	Alta/Muita Alta	(2) e (1)
Sardinha (K1βs)	-	-	Improdutiva	(6)
Corda (J2c)	160	Livre/Semiconfinado	Geralmente Baixa, porém Localmente Moderada/Moderada	(4) e (3)
Pastos Bons (J2pb)	60	Livre	Geralmente Muito Baixa, porém Localmente Baixa	(5)
Mosquito (J1βm)	-	-	Improdutiva	(6)
Sambaíba (T12s)	230/300	Livre/Confinado	Muito Alta a Alta	(1) e (2)
Motuca (P3m)	130	Livre/Semiconfinado	Geralmente Muito Baixa, porém Localmente Baixa	(5)
Pedra de Fogo (Ppf)	130	Livre	Geralmente Muito Baixa, porém Localmente Baixa	(5)
Poti (C1po)-Piauí (C2pi)	250-150	Livre/Confinado	Moderada a Alta	(3) e (2)

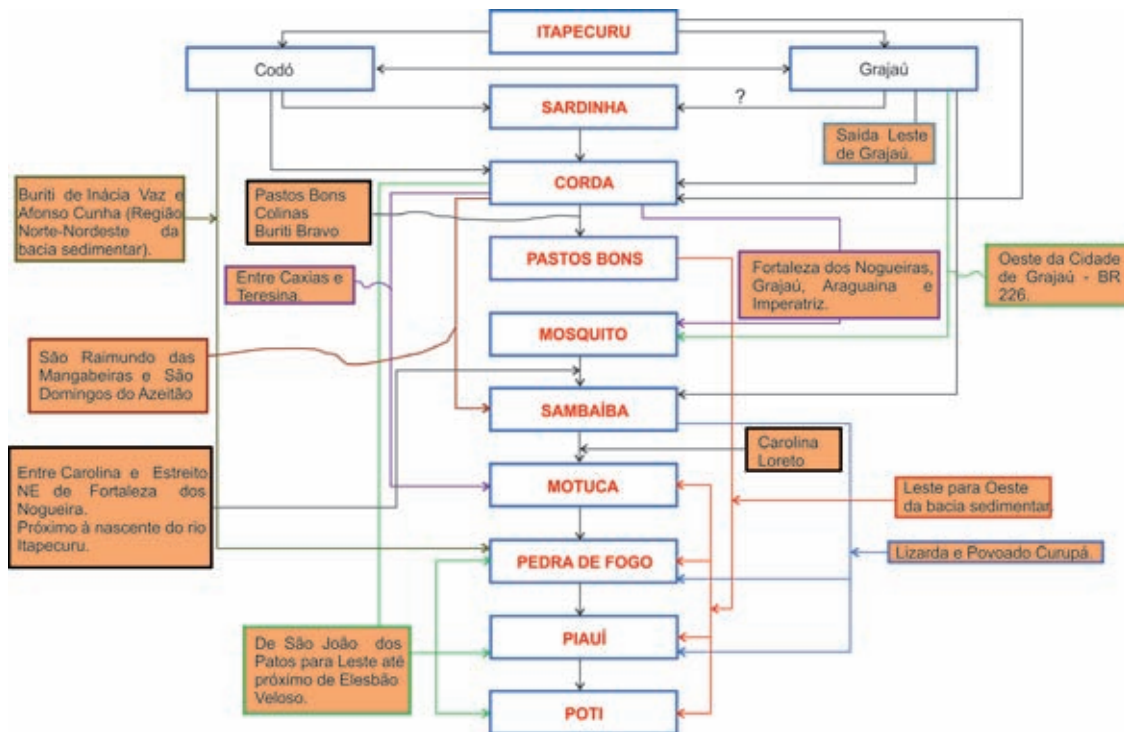


Figura 5.1 - Possíveis relações de contato das unidades paleozoicas e mesozoicas da bacia sedimentar do Parnaíba no estado do Maranhão.

ocorrendo na forma de espessos tabuleiros. É constituído, predominantemente, por arenitos quartzosos, finos a médios, com contribuições subordinadas de níveis conglomeráticos, sílticos, síltico-argilosos e horizontes silicificados do Grupo Uruçuia.

Características Hidrogeológicas: Ocupa uma área que se estende por 76.000 km², desde o sul dos estados do Piauí e Maranhão até o noroeste de Minas Gerais, com maior expressão no oeste da Bahia. No estado do Maranhão ocupa uma área de 2.755 km², representando apenas 0,8% de sua área total. Apresenta um divisor longitudinal que separa o fluxo subterrâneo para o oeste (Bacia Hidrográfica do Tocantins) e para leste (Bacia Hidrográfica do São Francisco), havendo progressivo aumento da profundidade da superfície potenciométrica do lado oeste desse divisor, caracterizada por níveis estáticos mais profundos. As informações disponíveis permitem a proposição de quatro subtipos de aquíferos dentro desse sistema: livre, regional; suspenso, local; confinado ou semiconfinado; livre, profundo. Admitem-se espessuras para o Grupo Uruçuia da ordem de 100 a 700 m, enquanto as espessuras saturadas variam entre 80 e 460 m (GASPAR, 2006). Apresenta condutividades hidráulicas de 10⁻⁶ a 10⁻⁷ m/s (aquífero livre) e 10⁻⁵ m/s (aquífero confinado/semiconfinado), transmissividades de 10⁻³ a 10⁻⁵ m²/s (aquífero livre) e 10⁻³ a 10⁻² m²/s (aquífero confinado/semiconfinado), coeficiente de armazenamento de 10⁻⁴ (aquífero confinado/semiconfinado) e capacidade específica média de 9,48 m³/h/m. Considerando o sistema em sua totalidade, possui

potencialidade hidrogeológica muito elevada. É de vital importância na alimentação das nascentes de tributários da margem direita do rio Tocantins.

Estimativa de Produtividade: De acordo com a classificação de Struckmeier e Margat (1995), modificada por Diniz (2012), esse aquífero apresenta produtividade *Muito Alta* (Classe 1), que, dependendo da espessura e da profundidade, varia para *Alta* (Classe 2).

Qualidade: Suas águas são de boa qualidade, pouco mineralizadas, com média de 82,8 µS/cm para condutividade elétrica (CE) e de 52,9 mg/L para sólidos totais dissolvidos (STD).

- Aquífero Sambaíba

Características Litológicas: É constituído por uma sequência de arenitos avermelhados, róseos e esbranquiçados, granulometria fina a média, bem selecionados, consolidados, cimentação média, friáveis, baixo grau de fraturamento, com níveis de sílex e basalto no topo do pacote (Figura 5.2).

Características Hidrogeológicas: Unidade promissora para captação de água subterrânea, em função de sua alta poropermeabilidade, decorrente da litologia predominantemente arenosa, o que lhe confere potencialidade muito elevada. Quando livre, apresenta espessura média de 230 m e, quando confinado, sua espessura média é de 300 m. Possui produtividade muito alta, com vazões específicas superiores a 4 m³/h/m, para 12 horas de bombeamento, e vazões superiores a 100 m³/h, para



Figura 5.2 - Afloramento do aquífero Sambaíba, em corte na rodovia BR-230, representado por arenito avermelhado, fino a médio, muito friável. Município de Carolina (MA).

25 m de rebaixamento. Embora seja uma unidade carente de ensaios de bombeamento, os seguintes parâmetros hidrodinâmicos para a região de Santo Antônio dos Lopes foram considerados como referência para o aquífero: transmissividade de $6,08 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$ e condutividade hidráulica de $2,0 \times 10^{-6} \text{ m/s}$.

Estimativa de Produtividade: De acordo com a classificação de Struckmeier e Margat (1995), modificada por Diniz (2012), apresenta produtividade *Muito Alta (Classe 1)*, que, dependendo da espessura e da profundidade, varia para *Alta (Classe 2)*.

Qualidade: De modo geral, suas águas são boas para consumo humano e adequadas para agricultura, apresentando média de $345 \mu\text{S}/\text{cm}$ para condutividade elétrica (CE) e de $220,8 \text{ mg/L}$ para sólidos totais dissolvidos (STD).

Produtividade alta a moderada

- Sistema Aquífero Poti/Piauí (Figura 5.3)

Características Litológicas: O Aquífero Poti é constituído de arenitos finos a médios, esbranquiçados a creme, consolidados, com intercalações de siltitos argilosos, folhelhos, além de conglomerado intraformacional na base. Apresenta cimentação, compactação e grau de fraturamento médio, além de espessura média de 250 m.

O Aquífero Piauí é representado por arenitos avermelhados, esbranquiçados a creme, finos a médios, terrígenos, consolidados, com intercalações de folhelhos, cimentação e compactação média e grau de fraturamento alto, com espessura média de 150 m.

Características Hidrogeológicas: Hidraulicamente, essas unidades são semelhantes, formando o Sistema Aquífero Poti/Piauí. Ocorre na condição de aquífero livre e confinado. É um sistema contínuo, com extensão regional, espessura média de 400 m, porosidade primária alta e potencialidade de moderada a elevada. Na condição de aquífero livre, apresenta produtividade moderada,

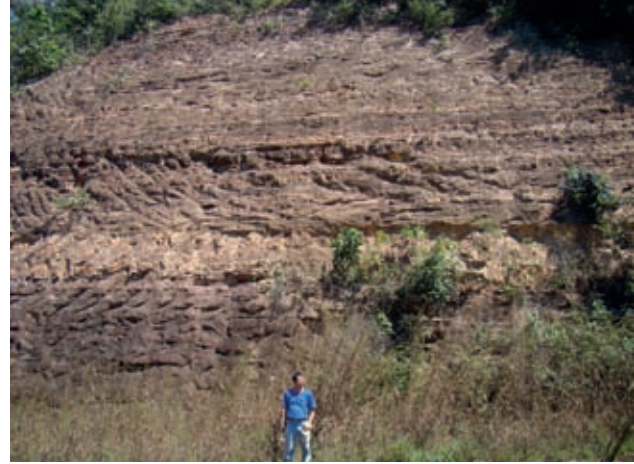


Figura 5.3 - Sistema aquífero Poti/Piauí, representado por arenitos esbranquiçados a creme, granulação fina a média, intercalados com siltitos e folhelhos, aflorando em corte na rodovia MA-006. Município de Tasso Fragoso (MA).

capacidade específica média de $1,68 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$, para 12 horas de bombeamento, e vazão média de $42 \text{ m}^3/\text{h}$, para rebaixamento médio de 25 m. Quando em confinamento, esse sistema possui produtividade elevada a muito elevada, com vazões superiores a $50 \text{ m}^3/\text{h}$, capacidade específica média de $2,57 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$, para 12 horas de bombeamento, transmissividade média (T) de $1,7 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ e condutividade hidráulica média de (K) de $1,7 \times 10^{-5} \text{ m/s}$.

Estimativa da Produtividade: De acordo com a classificação de Struckmeier e Margat (1995), modificado por Diniz (2012), esse sistema apresenta produtividade *Moderada (Classe 3)*, quando livre, e, quando em confinamento, produtividade *Alta (Classe 2)* a *Muito Alta (Classe 1)*.

Qualidade: De modo geral, suas águas são boas para consumo humano e adequadas para agricultura, com média de $345 \mu\text{S}/\text{cm}$ para condutividade elétrica (CE) e de 221 mg/L para sólidos totais dissolvidos (STD).

Produtividade moderada a geralmente baixa, porém localmente moderada

- Aquífero Barreiras

Características Litológicas: É constituído por clásticos finos a grosseiros, heterogêneos, pouco consolidados, representados por arenitos médios a conglomeráticos, além de siltitos e argilas de cores variegadas.

Características Hidrogeológicas: Trata-se de aquífero poroso, heterogêneo, descontínuo, livre, com espessura média de 60 m, capacidade específica entre 0,4 e $2,0 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$, para 12 horas de bombeamento, e vazão entre 10 e $50 \text{ m}^3/\text{h}$, para rebaixamento de 25 m. A grande variação litológica desse aquífero acarreta condutividade hidráulica e transmissividade também variável, conseqüentemente, uma produtividade diversificada, predominando produtividade média a baixa. Na região de Itaqui, foram encontrados os seguintes valores de transmissividade e condutividade

hidráulica: $7,0 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ e $1,4 \times 10^{-5} \text{ m/s}$, respectivamente. À semelhança do Aquífero Itapecuru, é de vital importância no abastecimento da ilha de São Luís.

Estimativa da Produtividade: De acordo com a classificação de Struckmeier e Margat (1995), modificada por Diniz (2012), esse aquífero apresenta produtividade *Moderada (Classe 3)* e *Baixa*, porém, localmente *Moderada (Classe 4)*.

Qualidade: São águas de baixa salinidade, com média de $118 \mu\text{S}/\text{cm}$ para condutividade elétrica (CE) e de $75,5 \text{ mg/L}$ para sólidos totais dissolvidos (STD). Podem ser utilizadas para consumo humano e agricultura.

• Aquífero Itapecuru

Características Litológicas: Suas litologias englobam arenitos finos a grosseiros, argilosos, esbranquiçados, avermelhados e creme, com intercalações de argilitos e siltitos (Figura 5.4). Apresentam-se pouco consolidados, cimentação e grau de compactação baixo e grau de fraturamento de baixo a médio. Na ilha de São Luís, os arenitos apresentam-se mais quartzosos e menos argilosos, o que influi no aumento da potencialidade.

Características Hidrogeológicas: É um aquífero poroso, contínuo, livre a semiconfinado, de grande extensão regional, espessura média de 130 m, porosidade primária, média, e capacidade específica média de $1,0 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$, para 12 horas de bombeamento, e vazão média de $25 \text{ m}^3/\text{h}$, para 25 m de rebaixamento. A recarga ocorre por meio de infiltração direta da água de chuva e por rios que o drenam. Os parâmetros hidrodinâmicos, médios, do aquífero são $3,8 \times 10^{-6} \text{ m/s}$ de condutividade hidráulica (K) e $1,5 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$ de transmissividade (T). Mesmo sendo bastante pelítico, é o aquífero mais explotado no estado do Maranhão, em decorrência de grande área de ocorrência, tipologia livre e espessura.

Estimativa da Produtividade: De acordo com a classificação de Struckmeier e Margat (1995), modificada por

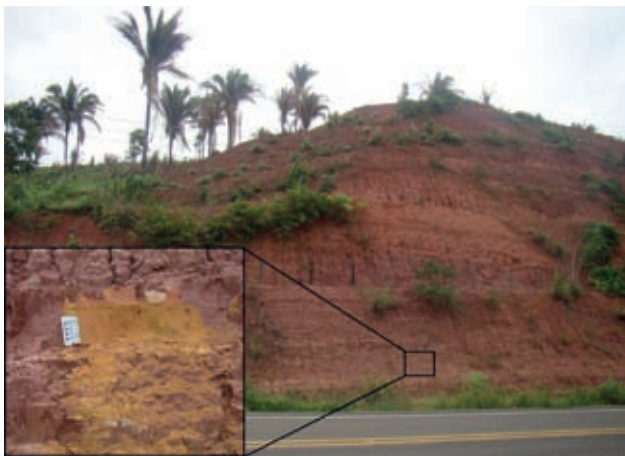


Figura 5.4 - Aquífero Itapecuru, representado por arenitos finos a médios, intercalados com siltitos e argilitos, pouco consolidados, livre, contínuo e regional, aflorando em corte na rodovia MA-020. Município de Peritoró (MA).

Diniz (2012), apresenta produtividade *Moderada (Classe 3)*, variando para *Baixa*, porém *Localmente Moderada (Classe 4)*, em decorrência de sua litologia arenoargilosa, principalmente na região central do estado. Na ilha de São Luís, observa-se que a produtividade se enquadra para profundidades até 200 m em *Moderada (Classe 3)* e *Alta (Classe 2)* para profundidades acima de 200 m.

Qualidade: De modo geral, suas águas são boas para consumo humano e adequadas para agricultura, apresentando média de $230 \mu\text{S}/\text{cm}$ para condutividade elétrica (CE) e de 147 mg/L para sólidos totais dissolvidos (STD).

• Aquífero Corda

Características Litológicas: Constitui-se de arenitos finos a médios, amarronzados e arroxeados, consolidados, quartzosos, com níveis argilosos e eventuais intercalações de siltitos e folhelhos (Figura 5.5). Mostra grau de cimentação, compactação e faturamento médio.

Características Hidrogeológicas: Classifica-se como aquífero poroso, livre a semiconfinado, espessura média de 160 m, contínuo, extensão regional e capacidade específica média de $1,5 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$, para 12 horas de bombeamento, e vazão média de $37,5 \text{ m}^3/\text{h}$ para rebaixamento de 25 m. Apresenta os seguintes parâmetros hidrodinâmicos, médios: condutividade hidráulica (K) – $2,0 \times 10^{-5} \text{ m/s}$ e transmissividade (T) – $8,0 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$.

Estimativa da Produtividade: De acordo com a classificação de Struckmeier e Margat (1995), modificada por Diniz (2012), apresenta produtividade *Moderada (Classe 3)*, variando para *Baixa*, porém *Localmente Moderada (Classe 4)*, principalmente quando livre.

Qualidade: De modo geral, suas águas são boas para consumo humano e adequadas para agricultura, apresentando média de $248 \mu\text{S}/\text{cm}$ para condutividade elétrica (CE) e de 158 mg/L para sólidos totais dissolvidos (STD).



Figura 5.5 - Aquífero Corda, representado por arenitos esbranquiçados, finos a médios, friáveis, com níveis argilosos, ocorrendo de forma contínua, regional, aflorando em corte na rodovia MA-034. Município de Caxias (MA).

Produtividade geralmente baixa, porém localmente moderada a geralmente muito baixa, porém localmente baixa

- Aquífero Grajaú

Características Litológicas: É representado por arenitos creme-amarelados a esbranquiçados, finos a médios, friáveis, bem selecionados, capeados por arenitos médios, silicificados. Ocasionalmente, ocorrem intercalações de finas lentes de conglomerados imaturos e intercalações de argilitos, de coloração arroxeada, creme a esbranquiçada (Figura 5.6).

Características Hidrogeológicas: Trata-se de aquífero poroso, descontínuo, livre, com espessura média de 40 m, capacidade específica entre 0,2 e 1,0 m³/h/m, para 12 horas de bombeamento, e vazão entre 5 e 25 m³/h, para rebaixamento de 25 m. Embora seja uma unidade promissora para captação de água subterrânea, em função de sua boa poropermeabilidade, decorrente da litologia predominantemente arenosa, sua relevância como bom aquífero é diminuída, devido à sua reduzida espessura e restrita área de ocorrência.

Estimativa da Produtividade: De acordo com a classificação de Struckmeier e Margat (1995), modificada por Diniz (2012), apresenta produtividade geralmente *Baixa, porém Localmente Moderada (Classe 4)*, variando para *Muito Baixa, porém Localmente Baixa (Classe 5)*.

Qualidade: De modo geral, suas águas são boas para consumo humano e adequadas para agricultura, apresentando média de 177 µS/cm para condutividade elétrica (CE) e de 113 mg/L para sólidos totais dissolvidos (STD).



Figura 5.6 - Aquífero Grajaú, predominantemente constituído por arenitos creme-amarelados, finos a médios, friáveis, bem selecionados, ocorrendo de forma livre e descontínua. Afloramento, em corte, na rodovia BR-226. Município de Grajaú (MA).

Produtividade muito baixa, localmente baixa

- Aquífero Aluviões Indiferenciados

Características Litológicas: São sedimentos arenosos, finos a médios e grosseiros, com ocorrência de zonas cascalhosas e intercalações de siltes e argilas. Ocorre ao longo da planície aluvial dos principais rios, principalmente no rio Tocantins.

Características Hidrogeológicas: Trata-se de aquífero livre, descontínuo, com boa permoporosidade e espessura média de 15 m. Possui boas perspectivas hidrogeológicas, em decorrência da alta recarga, favorecida por elevada precipitação pluviométrica da região e contribuição dos cursos d'água que o drenam. Seu principal aproveitamento é por meio de poços rasos, visando ao atendimento rural e doméstico.

Estimativa da Produtividade: De acordo com a classificação de Struckmeier e Margat (1995), modificada por Diniz (2012), esse aquífero apresenta produtividade *Muito Baixa, porém Localmente Baixa (Classe 5)*.

Qualidade: Suas águas são adequadas para consumo humano e irrigação.

- Formações Cenozoicas Indiferenciadas

Características Litológicas: São sedimentos arenosos, arenoargilosos, cascalhosos, localmente lateríticos, pouco consolidados a inconsolidados e malselecionados.

Característica Hidrogeológicas: São aquíferos livres, porosos, descontínuos, geralmente de pequena extensão e espessura e de potencialidade *Muito Baixa*.

Estimativa da Produtividade: De acordo com a classificação de Struckmeier e Margat (1995), modificada por Diniz (2012), esse aquífero apresenta produtividade *Muito Baixa, porém Localmente Baixa (Classe 5)*.

Qualidade: Suas águas apresentam qualidade físico-química variada.

- Aquífero Codó

Características Litológicas: Unidade essencialmente pelítica, englobando folhelhos esverdeados e pretos, betuminosos e piritosos, siltitos cinza, carbonosos e margas, além de níveis de gipsita e calcário. A fácies arenosa ocorre, principalmente, na seção superior. Os arenitos são de coloração cinza, finos, carbonosos, piritosos e com restos de fósseis de vegetação.

Características Hidrogeológicas: Aquífero poroso, descontínuo, com espessura média de 70 m, de muito baixa potencialidade para captação de água subterrânea, restrita aos níveis arenosos, principalmente, na seção superior do pacote.

Estimativa da Produtividade: De acordo com a classificação de Struckmeier e Margat

(1995), modificada por Diniz (2012), apresenta produtividade geralmente *Muito Baixa, porém Localmente Baixa (Classe 5)*.

Qualidade: Embora suas águas tenham valor médio de $470 \mu\text{S}/\text{cm}$ para condutividade elétrica (CE) e de $300 \text{ mg}/\text{L}$ para sólidos totais dissolvidos (STD), apresentam teor de dureza muitas vezes elevado, inviabilizando seu uso para consumo humano.

- Aquífero Pastos Bons

Características Litológicas: Está representado, na seção superior, por arenitos róseos, avermelhados e esbranquiçados, finos e argilosos, com intercalação de folhelhos e siltitos fossilíferos, e, na seção inferior, por conglomerados e arenitos esverdeados, creme e esbranquiçados, com aspecto listrado. Os arenitos são argilosos, finos a médios, com grãos subarredondados e brilhosos. São comuns intercalação de calcários silicificados e *mudstones*, além de estratificação cruzada e plano-paralela.

Características Hidrogeológicas: Trata-se de aquífero poroso, livre, com baixa permeabilidade, porosidade média, espessura média de 60 m, capacidade específica média de $0,2 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$, para 12 horas de bombeamento, e vazão média, de $5 \text{ m}^3/\text{h}$, para rebaixamento de 25 m. A presença de sedimentos argilosos e de calcários confere a esse aquífero potencialidade hidrogeológica *Muito Baixa*.

Estimativa da Produtividade: De acordo com a classificação de Struckmeier e Margat (1995), modificada por Diniz (2012), apresenta produtividade *Muito Baixa, porém Localmente Baixa (Classe 5)*.

Qualidade: De modo geral, suas águas são adequadas para consumo humano e uso na agricultura.

- Aquífero Motuca

Características Litológicas: Suas litologias englobam, tanto na seção inferior como na superior, arenitos vermelhos a esbranquiçados, finos a médios, friáveis (Figura 5.7). Localmente, no topo, os arenitos se tornam argilosos e, na base, há ocorrência de folhelhos e siltitos arenosos, vermelho-tijolo, micáceos. Na seção média, há predominância de folhelhos e siltitos, laminados, fraturados, fisséis, esverdeados a marrom-esverdeados, intercalados com leitos de calcários, duros e, às vezes, lentes de gipsita.

Características Hidrogeológicas: É um aquífero poroso, livre a semiconfinado, com permeabilidade *Baixa a Moderada*, espessura média de 130 m, capacidade específica entre $0,16$ e $0,4 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$, para 12 horas de bombeamento, e vazões entre 4 e $10 \text{ m}^3/\text{h}$, para 25 m de rebaixamento. O domínio de sedimentos finos a muito finos reduz sua potencialidade como aquífero. De acordo com Costa (2000), apresenta os seguintes parâmetros hidrodinâmicos, médios: $3,6 \times 10^{-6} \text{ m}/\text{s}$ de condutividade hidráulica (K) e $2,3 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$ de transmissividade (T).

Estimativa da Produtividade: De acordo com a classificação de Struckmeier e Margat (1995), modificada por

Diniz (2012), apresenta produtividade *Muito Baixa, porém Localmente Baixa (Classe 5)*.

Qualidade: Suas águas são adequadas para consumo humano e agricultura, apresentando média de $364 \mu\text{S}/\text{cm}$ para condutividade elétrica (CE) e de $233 \text{ mg}/\text{L}$ para sólidos totais dissolvidos (STD).

- Aquífero Pedra de Fogo

Características Litológicas: É constituído de arenitos finos, argilosos e siltosos, com presença de calcário, evaporito, linhito e sílexito (Figura 5.8). É uma sequência terrígena, com contribuição carbonática, consolidada com cimentação alta e baixo fraturamento.

Características Hidrogeológicas: Trata-se de aquífero livre, contínuo, com espessura média de 130 m, produtividade e permeabilidade muito baixas, em decorrência,



Figura 5.7 - Aquífero Motuca, representado por arenitos, siltitos e folhelhos avermelhados. Aflorando, em corte, na rodovia BR-316. Município de Caxias (MA).



Figura 5.8 - Aquífero Pedra de Fogo, exibindo alternância de níveis de folhelhos e siltitos arroxeados a avermelhados, com níveis de sílex. Aflorando, em corte, na rodovia MA-034, na cidade de Coelho Neto (MA).

principalmente, dos níveis de silexito. Apresenta capacidade específica, média, de $0,24 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$, para 12 horas de bombeamento, e vazão média de $6 \text{ m}^3/\text{h}$, para 25 m de rebaiamento. Os valores de seus parâmetros hidrodinâmicos são: transmissividade (T) = $3,97 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$; condutividade hidráulica (K) = $4,67 \times 10^{-07} \text{ m/s}$.

Estimativa da Produtividade: De acordo com a classificação de Struckmeier e Margat (1995), modificada por Diniz (2012), apresenta produtividade *Muito Baixa, porém Localmente Baixa (Classe 5)*.

Qualidade: De modo geral, suas águas são boas para consumo humano e adequadas para agricultura. Produtividade insignificante ou não produtiva

- Não Aquífero, Depósitos de Pântanos e Mangues

Características Litológicas: Lamas arenosas, plásticas, não adensadas, maciças e bioturbadas.

Características Hidrogeológicas: Aquíferos livres ou aquitardos, com espessuras inferiores a 5 m, porosidade primária alta e *Produtividade Insignificante ou Nula*.

- Não Aquífero Vulcânico, Indiferenciado

Características Litológicas: Engloba, de forma indiferenciada, basaltos e diabásios da Formação Sardinha e basaltos com intercalações de arenitos, parcialmente silicificados, da Formação Mosquito, atribuídos à Bacia Sedimentar do Parnaíba e presentes em território maranhense (Figura 5.9).

Características Hidrogeológicas: Trata-se de unidade hidrogeológica que apresenta alta descontinuidade e *Produtividade Insignificante ou Nula*.

Estimativa da Produtividade: De acordo com a classificação de Struckmeier e Margat (1995), modificada por Diniz (2012), apresenta-se *Pouco Produtiva ou Não Aquífera (Classe 6)*.



Figura 5.9 - Unidade não aquífera, composta por rocha vulcânica alterada, de tonalidade marrom-avermelhada, atribuída à formação Mosquito, aflorando à margem da rodovia BR-226, entre as cidades de Porto Franco e Grajaú (MA).

- Aquíferos Fraturados

Características Litológicas: São representados por granitos e granodioritos da unidade geológica Tromaí; arenitos arcoseanos, quartzarenitos e conglomerados de forte diagênese, da unidade Igarapé de Areia; gnaisses e xistos do Grupo Gurupi.

Características Hidrogeológicas: Formam corpos isolados, com potencialidade hidrogeológica muito baixa e águas, geralmente, salinizadas.

Estimativa da Produtividade: De acordo com a classificação de Struckmeier e Margat (1995), modificada por Diniz (2012), apresentam produtividade *Muito Baixa, porém Localmente Baixa (Classe 5)*.

Qualidade: Águas, geralmente, salinizadas.

PROJETO CADASTRO DE FONTES DE ABASTECIMENTO POR ÁGUA SUBTERRÂNEA NO ESTADO DO MARANHÃO

O Polígono das Secas, que abrange quase toda a Região Nordeste e o norte do estado de Minas Gerais e do Espírito Santo, apresenta regime pluviométrico marcado por extrema irregularidade de chuvas no tempo e no espaço. Nesse cenário, a escassez de água constitui forte entrave ao desenvolvimento socioeconômico e à subsistência da população. A ocorrência cíclica das secas e seus efeitos catastróficos são por demais conhecidos e remontam aos primórdios da história do Brasil.

Esse quadro de escassez poderia ser modificado em determinadas regiões, por meio de gestão integrada dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos. Entretanto, a carência de estudos de abrangência regional, fundamentais para avaliação da ocorrência e da potencialidade desses recursos, reduz substancialmente as possibilidades de seu manejo, inviabilizando um gerenciamento eficiente. Além disso, as decisões sobre a implementação de ações de convivência com a seca exigem conhecimento básico sobre localização, caracterização e disponibilidade dessas fontes hídricas.

Para o efetivo gerenciamento dos recursos hídricos, principalmente em um contexto emergencial, como é o caso das secas, merece atenção a utilização das fontes de abastecimento de água subterrânea, pois esse recurso pode se tornar significativo no suprimento hídrico da população e dos rebanhos. Nesse sentido, preocupa sobremaneira o desconhecimento generalizado, em todos os setores, tanto do número quanto da situação das captações existentes, fato agravado quando se observa a grande quantidade de captações de água subterrânea no semiárido, principalmente em rochas cristalinas, desativadas e/ou abandonadas por problemas de pequena monta, em muitos casos passíveis de ser solucionados com ações corretivas de baixo custo.

Para suprir as necessidades das instituições e demais segmentos da sociedade atuantes na região nordestina, no atendimento à população quanto à garantia de oferta

e disponibilidade hídricas, principalmente nos momentos críticos de estiagem, a CPRM/SGB executou o “Projeto Cadastro de Fontes de Abastecimento por Água Subterrânea no Estado do Maranhão”, em consonância com as diretrizes do Governo Federal e com os propósitos apresentados pelo Ministério de Minas e Energia (MME).

O principal objetivo do projeto – cadastrar todos os poços tubulares, poços amazonas representativos e fontes naturais em todo o estado do Maranhão – foi alcançado. Por questões metodológicas e de planejamento, o projeto foi dividido em oito áreas de atuação, compreendendo 213 municípios e cobrindo uma superfície aproximada de 330.511 km² (Figura 5.10).

Metodologia

O planejamento operacional para a realização desse projeto teve como base a experiência da CPRM/SGB em cadastramento de poços dos estados do Ceará, em 1998, Sergipe, em 2001, e Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Bahia, Piauí e norte de Minas Gerais e do Espírito Santo em 2002/2003, realizados com sucesso.

Do ponto de vista metodológico, os trabalhos de campo no estado do Maranhão foram executados a partir da divisão do estado em oito áreas de planejamento, nominadas de I a VIII, com superfícies variando de 35.431 a 50.525 km². Cada área foi levantada por uma equipe coordenada por um técnico da CPRM/

SGB e composta, em média, de quatro recenseadores, na maioria estudantes de nível superior dos cursos de Geologia e Geografia, selecionados e treinados pela CPRM/SGB. A área II, situada na porção nordeste do estado, abrange 33 municípios, cadastrados em 2008, sob a coordenação do geólogo Carlos Antônio da Luz. As áreas restantes – I, III, IV, V, VI, VII, VIII –, com 180 municípios, foram cadastrados em 2009, sob a responsabilidade do geólogo Francisco Lages Correia Filho (CORREIA FILHO et al., 2011).

O trabalho contemplou o cadastramento das fontes de abastecimento por água subterrânea (poços tubulares, poços amazonas e fontes naturais), com determinação das coordenadas geográficas com uso do Global Position System (GPS) e obtenção de todas as informações passíveis de ser coletadas, por meio de uma visita técnica (caracterização do poço, instalações, situação da captação, dados operacionais, qualidade e uso da água, aspectos ambientais, geológicos e hidrológicos).

Os dados coletados foram repassados, sistematicamente ao Núcleo de Geoprocessamento de Dados da CPRM/SGB – Residência de Teresina, para, após rigorosa análise, alimentarem um banco de dados, que, devidamente consistido e tratado, possibilitou a elaboração de um mapa de pontos d’água e um esboço geológico de cada um dos municípios inseridos na área de atuação do projeto, cujas informações estão contidas neste relatório diagnóstico de fácil manuseio e compreensão acessível a diferentes usuários.

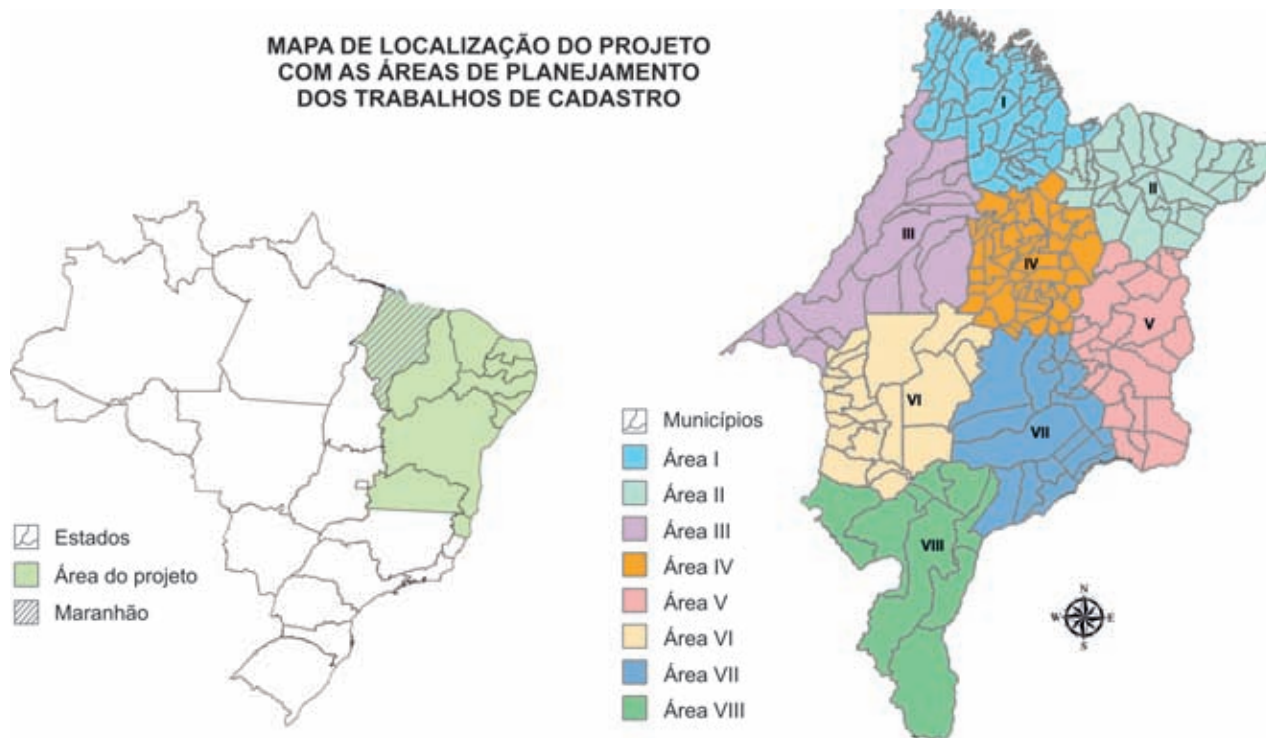


Figura 5.10 - Área do projeto, em destaque, abrangendo todo o estado do Maranhão e o cadastramento da região Nordeste e norte de Minas Gerais e do Espírito Santo, realizado pela CPRM/SGB.

Na elaboração desses mapas foram utilizadas bases cartográficas com dados disponibilizados pela Universidade Estadual do Maranhão (UEMA), como hidrografia, localidades e estradas e os mapas municipais estatísticos, em formato digital do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2007), elaborados a partir das cartas topográficas da Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE) e Diretoria de Serviço Geográfico (DSG), do Ministério do Exército – escala 1:100.000 –, sobre os quais foram colocados os dados referentes aos poços e fontes naturais, além da geologia e hidrogeologia. A base estadual com os limites municipais foi cedida pelo IBGE. Os trabalhos de montagem e arte final dos mapas foram realizados com o *software* ArcGIS 10.

Há municípios em que ocorrem alguns casos de poços plotados fora dos limites do mapa municipal. Tais casos acontecem por problemas na cartografia municipal ou devido a informações incorretas fornecidas aos recenseadores.

Além desse produto impresso, todas as informações coligidas em cada município estão disponíveis em meio digital (CD-ROM), permitindo a sua contínua atualização.

Diagnóstico dos Poços Cadastrados

O inventário hidrogeológico, realizado no estado do Maranhão, registrou a presença de 11.702 pontos d'água, sendo 11.452 poços tubulares, 159 poços amazonas, 24 fontes naturais e 67 sem informações representativas (Figura 5.11).

Como os poços tubulares representam 97,86% dos pontos cadastrados no estado, as discussões sobre o estudo ficarão restritas a essa categoria. Todos os locais dos poços tubulares levantados estão classificados em

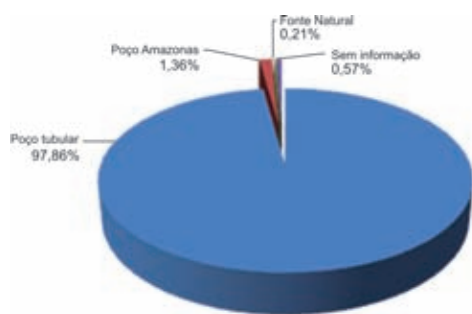


Figura 5.11 - Tipos de pontos de água cadastrados.

duas naturezas: públicos (7.714 poços), quando estão em terrenos de servidão pública; particulares (3.911 poços), quando estão situados em propriedades privadas e sem informação (77 poços) (Figura 5.12).

Foram identificadas nos trabalhos de campo quatro situações distintas durante o cadastramento: *poços em operação*, *paralisados*, *não instalados*, *abandonados*. Os poços em operação são aqueles que estão em pleno funcionamento. Os paralisados estão sem funcionar, em função de problemas relacionados à manutenção ou quebra do equipamento. Os não instalados representam aqueles poços que foram perfurados, tiveram um resultado positivo, mas não foram equipados com sistema de bombeamento e de distribuição. Os abandonados, que incluem poços secos e/ou obstruídos, são aqueles que não apresentam possibilidade de captação de água.

A situação dessas obras, levando-se em conta seu caráter público ou particular, é apresentada em números absolutos na Tabela 5.1 e, em termos percentuais, na Figura 5.13.

Em relação ao uso da água, 2.145 poços são utilizados para o abastecimento doméstico, 631 para uso doméstico/



Figura 5.12 - Natureza dos poços cadastrados.

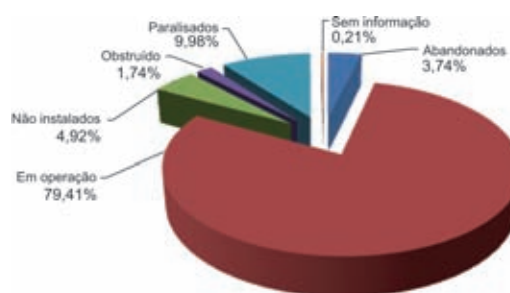


Figura 5.13 - Situação dos poços cadastrados.cadastrados.

Tabela 5.1 - Natureza e situação dos poços cadastrados.

Caráter	Abandonados	Em Operação	Não Instalados	Obstruídos	Paralisados	Sem Informação
Público	336	5.848	438	165	920	7
Particular	91	3.403	132	38	241	6
Sem informação	11	41	6	1	7	11
Total	438	9292	576	204	1.168	24

animal, 2 para uso doméstico/industrial, 87 para uso doméstico/irrigação, 87 para uso industrial, 75 para uso múltiplo (doméstico, animal, industrial e agricultura), 7.053 para uso urbano, 9 para uso doméstico/irrigação/animal, 28 para irrigação, 40 para outras finalidade (lazer, recreação etc.), 5 para uso na pecuária, 17 sem uso e em 1.523 poços não informaram sobre a sua utilização.

Na Figura 5.14 são apresentadas, em termos percentuais, as diferentes destinações da água subterrânea no estado. Quanto à natureza geológica da localização dos poços tubulares, em relação aos domínios hidrogeológicos de superfície, quase 100% estão locados sobre terrenos sedimentares.

A relação entre os poços em operação e os poços desativados (paralisados e não instalados), mas passíveis de entrar em funcionamento, é apresentada na Figura 5.15. Verifica-se que 1.358 poços públicos estão desativados, enquanto os particulares somam apenas 373. Os públicos, a depender de decisões do governo do estado, podem entrar em operação com substancial acréscimo de disponibilidade hídrica aos 5.848 já existentes em pleno uso.

Observa-se que cerca de 11,60% do total de poços públicos cadastrados ou 1.358 poços não estão em operação, causando um déficit de disponibilidade hídrica substancial às comunidades carentes do estado, representando cerca de 6.790 m³/h de água, geralmente de boa qualidade, para consumo humano.

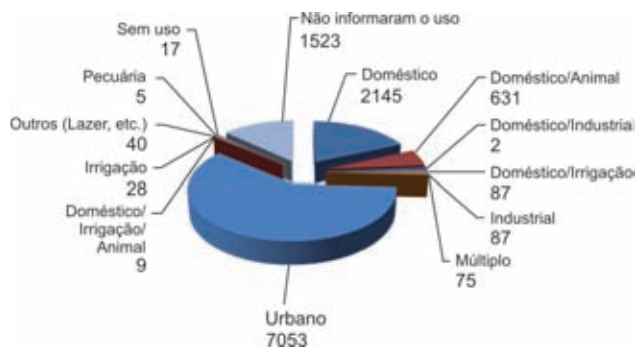


Figura 5.14 - Destinação do uso da água dos poços públicos e particulares cadastrados.

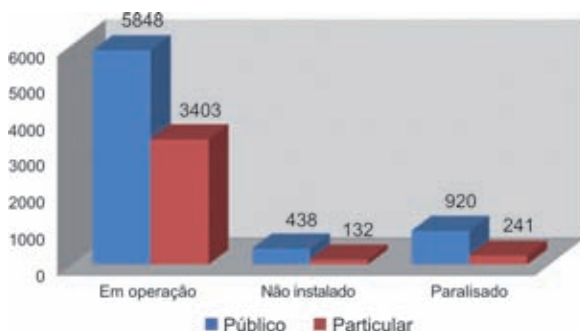


Figura 5.15 - Poços públicos e particulares em operação e outros passíveis de funcionamento.

REFERÊNCIAS

COLARES, J.Q. dos; ARAÚJO, C.C. de; PARENTE FILHO, J. **Vitorino Freire, folha SB.23-V-B**: estado do Maranhão. Brasília, DF: CPRM, 1990. 75 p. il. + 4 mapas. Escala 1:250.000. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. Projeto Especial Mapas de Recursos Minerais, de Solos e de Vegetação para a Área do Programa Grande Carajás. Subprojeto Recursos Minerais.

CORREIA FILHO, F.L. et al. (Org.). **Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea, estado do Maranhão**. Teresina: CPRM, 2011. 31 p. (Inédito).

COSTA, W.D. Água subterrânea e o desenvolvimento sustentável do semiárido nordestino. In: BRASIL. Presidência da República. **Projeto Áridas**. Brasília, DF: Ministério da Integração Nacional, 2000. (GT II – Recursos Hídricos, Versão Preliminar).

DINIZ, J.A.O. **Proposta metodológica para elaboração de mapas hidrogeológicos**. Recife: CPRM, 2012. (publicação interna).

GASPAR, M.T.P. **Sistema aquífero Urucuia**: caracterização regional e propostas de gestão. 2006. 214 f. Tese (Doutorado em Geociências) – Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2006.

IBGE. **População e domicílio**. Censo 2000. Contagem da população em 2007.

LEITES, S.R. (Org.) et al. **Presidente Dutra, folha SB.23-X-C**: estado do Maranhão. Brasília, DF: CPRM, 1994. 100 p. il. + 2 mapas. Escala 1:250.000. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. Projeto Especial de Recursos Minerais de Solos e de Vegetação para a Área do Programa Grande Carajás.

LIMA, E. de A.M. et al. **Projeto estudo global dos recursos minerais da bacia sedimentar do Parnaíba**: integração geológico-metalogenética. Recife: CPRM, 1978a. v. 1. Relatório final da etapa III.

LIMA, E. de A.M. et al. **Projeto estudo global dos recursos minerais da bacia sedimentar do Parnaíba**: integração geológico-metalogenética. Recife: CPRM, 1978b. v. 2. Relatório final da etapa III.

LOVATO, O.G.; CAYE, B.R.; ARAÚJO, C.C. de (Orgs.). **Barra do Corda, folha SB.23-V-D**: estado do Maranhão. Brasília, DF: CPRM, 1994. 75 p. il. Escala 1:250.000. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. Projeto Especial Mapas de Recursos Minerais de Solos e de Vegetação para a Área do Programa Grande Carajás. Subprojeto Recursos Minerais.

LOVATO, O.G.; CAYE, B.R.; ARAÚJO, C.C. de (Orgs.). **Itapecuru-Mirim, folha SA.23-Z-C**: estado do Maranhão. Brasília, DF: CPRM, 1995. 100 p. + 3 mapas. Escala 1:250.000. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. Projeto Especial. Mapas de Recursos Minerais de Solos e de Vegetação para a Área do Programa Grande Carajás. Subprojeto Recursos Minerais.

MONTEIRO, A.B. **Carta hidrogeológica do Brasil ao milionésimo**: folha rio São Francisco – SC.23. Recife: CPRM, 2012a. (No prelo).

MONTEIRO, A.B. **Carta hidrogeológica do Brasil ao milionésimo**: folha Teresina – SB.23. Recife: CPRM, 2012b. (No prelo).

NARASIMHAN, T.N. Groundwater: from mystery to management. **Environmental Research Letters**, v. 4, n. 3, 2009. Disponível em: <<http://iopscience.iop.org/1748-9326/4/3/035002/>>.

RIBEIRO, J.A.P.; MEMO, F.; VERISSIMO, L.S. (Orgs.). **Caxias, folha SB.23-X-B**: estados do Piauí e Maranhão. Brasília, DF: CPRM, 1998. 130 p. il. + 2 mapas. Escala 1:250.000. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. Projeto Especial Mapas de Recursos Minerais, de Solos e de Vegetação para a Área do Programa Grande Carajás. Subprojeto Recursos Minerais.

RODRIGUES, T.L. das N. (Org.) et al. **São Luís, folha SA.23-Z-A; Cururupu, folha SA.23-X-C**: estado do Maranhão. Brasília, DF: CPRM, 1994. 185 p. il. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. Programa Grande Carajás.

RODRIGUES, T.L. das N. et al. **Bacabal, folha SB.23-X-A, estado do Maranhão**. Brasília, DF: CPRM,

1994. 152 p. 2 mapas. Escala 1:250.000. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. Projeto Especial Mapas de Recursos Minerais de Solos e de Vegetação para a Área do Programa Grande Carajás. Subprojeto Recursos Minerais.

SOUZA, A.S.; VERÍSSIMO, L.S.; ARAÚJO, C.C. de (Orgs.). **Imperatriz, folha SB.23-V-C**: estados do Maranhão e Tocantins. Brasília, DF: CPRM, 1990. 75 p. il + 2 mapas. Escala 1:250.000. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. Projeto Especial Mapas de Recursos Minerais, de Solos e de Vegetação para a Área do Programa Grande Carajás. Subprojeto Recursos Minerais.

SOUZA, R.R. **Carta hidrogeológica do Brasil ao milionésimo**: folha São Luís – AS.23. [S.l.]: CPRM, 2012. (No prelo).

STRUCKMEIER, W.F.; MARGAT, J. Hydrogeological maps: a guide and a standard legend. **International Association of Hydrogeologists**, Hannover, v. 17, p. 1-77, 1995.

VILLAS BOAS, J.M.; ARAÚJO, C.C. de. **Açailândia, folha SB.23-V-A**: estados do Pará e Maranhão. Brasília, DF: CPRM, 1999. 1 CD-ROM. Escala 1:250.000. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. Projeto Especial Mapas de Recursos Minerais, de Solos e de Vegetação para a Área do Programa Grande Carajás. Subprojeto de Recursos Minerais.

ZOBY, J.L.G.; MATOS, B. Águas subterrâneas no Brasil e sua inserção na política nacional de recursos hídricos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 12., Florianópolis, 2002. **Anais...** Florianópolis: ABAS, 2002.

6

CARTOGRAFIA DA VULNERABILIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

Paulo Pontes Araújo (*paulo.araujo@cprm.gov.br*)
Cesar Lisboa Chaves (*cesar.chaves@cprm.gov.br*)
Helder Ribeiro da Silva (*helder.silva@cprm.gov.br*)

CPRM – Serviço Geológico do Brasil

SUMÁRIO

Introdução	93
Material e método	93
Índice de vulnerabilidade à poluição dos lençóis aquíferos	93
Referências.....	94

INTRODUÇÃO

A vulnerabilidade é analisada em função das características dos materiais que recobrem a zona saturada, os quais conferem algum grau de proteção às águas subterrâneas contra uma carga contaminante antrópica imposta (FOSTER; HIRATA, 1988).

A cartografia da vulnerabilidade à poluição de águas subterrâneas vem sendo desenvolvida, principalmente, sobre rochas sedimentares de elevada permeabilidade primária, em função da ocupação antrópica desordenada. Nesses ambientes geológicos, os estudos do comportamento dos contaminantes, da definição da taxa de infiltração e do processo de lixiviação na zona não saturada têm sido importantes para a validação dos índices de vulnerabilidade. Além disso, tais estudos complementares proporcionam dados que possibilitam o entendimento do comportamento hidrodinâmico dos recursos hídricos subterrâneos, como também dos processos de contaminação e definição de áreas de proteção das águas subterrâneas. A proteção das águas subterrâneas se faz pelo conhecimento da suscetibilidade dos aquíferos à contaminação e do comportamento dos contaminantes em subsuperfície.

Dados importantes são gerados na elaboração da cartografia da vulnerabilidade à poluição de águas subterrâneas, segundo características específicas dos recursos hídricos subterrâneos. Tais informações possibilitam ao gestor dos recursos hídricos tanto uma visão holística sobre a suscetibilidade dos aquíferos à contaminação quanto emitir decisões que estejam de acordo com preceitos estabelecidos para desenvolvimento sustentável, associados ao desenvolvimento econômico e à observação das limitações do meio ambiente hídrico subterrâneo.

A utilização do Sistema de Informação Geográfica (SIG) como ferramenta de processamento e de apresentação dos resultados gera subsídios que permitem desenvolver trabalhos de pesquisa mais apurados nos temas abordados.

MATERIAL E MÉTODO

A região de estudo restringe-se aos limites do estado do Maranhão, nordeste do Brasil, com área de 329.555,8 km², limitando-se ao norte com o oceano Atlântico, a leste com o Piauí, ao sul e sudoeste com o Tocantins e a noroeste com o Pará.

O trabalho de cartografia da vulnerabilidade, na escala 1:2.000.000, foi desenvolvido com o método "Poluição dos Lençóis Aquíferos", proposto por Taltasse (1972), o qual utiliza a geologia (litologia e estrutural) para classificação dos índices de vulnerabilidade, sem considerar as atividades antrópicas e o comportamento dos contaminantes em subsuperfície. Esse método deve ser claramente diferenciado daqueles baseados em trabalhos de campo.

O mapa de vulnerabilidade das águas subterrâneas apresenta uma releitura hidrogeológica do mapa geológico elaborado por Bizzi et al. (2003).

ÍNDICE DE VULNERABILIDADE À POLUIÇÃO DOS LENÇÓIS AQUÍFEROS

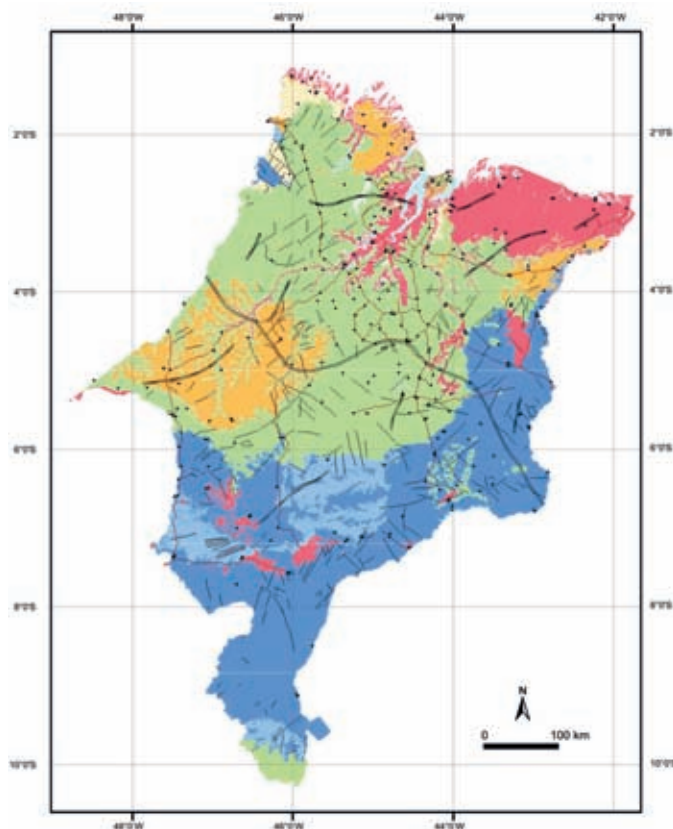
A classificação da vulnerabilidade mostra que, no estado do Maranhão, são evidentes seis diferentes índices de vulnerabilidade à poluição: *extremo* (12,30%); *muito alto* (11,30%); *alto* (01,4%); *moderado* (38,6%); *baixo* (05,5%); *muito baixo* (30,90%) (Figura 6.1).

O índice de vulnerabilidade extremo corresponde aos aquíferos compostos por sedimento aluvionar, detrito-laterítico, areia, argila e cascalho. A classe com índice muito alto refere-se a aquíferos constituídos por arenito, arenito conglomerático, argilito arenoso, argilito e conglomerado, classificada como uma formação porosa não consolidada. O índice de vulnerabilidade alto está associado a aquíferos fissurais descontínuos e de pouca importância regional, que ocorrem nas rochas ígneas e metamórficas. A classe de vulnerabilidade com índice moderado está associada aos aquíferos mais produtivos no estado, os quais estão relacionados às formações Codó, Grajaú, Urucuí, Itapecuru e aquitardo Sardinha, improdutivo. A classificação com índice baixo relaciona-se aos aquíferos Sambaíba e Serra Grande. Por último, as áreas classificadas como de baixo índice de vulnerabilidade estão representadas por aquíferos menos produtivos, associados às formações Pastos Bons, Pedra de Fogo, e aqueles mais produtivos: Poti-Piauí, Motuca e Corda. Também estão inclusos nessa classificação terrenos não aquíferos onde ocorrem derrames basálticos e o aquitardo Mosquito, improdutivo.

Em áreas onde a classificação da vulnerabilidade é moderada, as águas dos aquíferos podem, em longo prazo (100 a 1.000 anos), sofrer modificações por contaminantes moderadamente móveis, mais persistentes, como hidrocarbonetos halogenados ou não halogenados e alguns metais pesados. São menos solúveis são também incluídos nesse grupo. Nas áreas onde a classificação da vulnerabilidade é alta, as águas dos aquíferos são suscetíveis a muitos contaminantes, exceto aqueles que são muito absorvíveis e/ou facilmente transformáveis. Nas áreas onde a classificação da vulnerabilidade é extrema, as águas dos aquíferos podem ser atingidas de forma relativamente rápida por contaminantes degradáveis, como bactérias e vírus, sendo vulneráveis à maioria dos contaminantes (COSTA, 1997).

A classificação da vulnerabilidade das águas subterrâneas indica que, para a região analisada, 36,40% apresentam máxima aptidão, o que significa que poderia ser indicada como apta à instalação de empreendimentos para o desenvolvimento socioeconômico, enquanto 38,60% apresentam aptidão com severas restrições à implantação de atividades antrópicas, conforme a metodologia adotada. Ressalte-se que 23,60% da área do estado do Maranhão apresentam restrições absolutas à instalação de empreendimentos potencialmente poluidores.

Os resultados servem de base para uma discussão a respeito da definição de políticas de desenvolvimento mais apropriadas ao que, talvez, esteja se tornando um novo paradigma para a sociedade: a manutenção da qualidade ambiental



Índice de Vulnerabilidade

- Extremo:** aquíferos associados às Coberturas Cenozoicas.
- Muito alto:** aquíferos associados às Coberturas Cenozoicas, representados pelo Grupo Bameiras e Depósitos Detríticos e/ou Lateríticos.
- Alto:** aquíferos fissurais descontínuos e de pouca importância regional que ocorrem nas rochas ígneas e metamórficas.
- Moderado:** aquíferos associados às bacias São Luís e Grajaú. Formações Codó, Grajaú, Itapecuru, Uruçua e aquitardo Sardinha.
- Baixo:** aquíferos associados às formações Sambaíba e Serra Grande.
- Muito Baixo ou Nulo:** aquíferos localizados no contexto geológico da Bacia do Parnaíba, associados às formações Corda, Mosquito, Pastos Bons, Poté-Piauí, Pedra de Fogo e aquitardo Mótua.

Convenções Cartográficas

- Sede Estadual
- Outras cidades
- Rodovias
- ⊕ Porto
- ✈ Campo de pouso
- ✈ Aeroporto
- Hidrografia

Convenções Estruturais

- - - Estrutura de Impacto
- - - Falha extensional (normal)
- - - Falha ou fratura
- - - Falha ou fratura encoberta
- - - Falha ou zona de cisalhamento
- - - Falha ou zona de cisalhamento
- - - Falha ou zona de cisalhamento
- - - Alto estrutural
- - - Calha da bacia

Figura 6.1 - Mapa de vulnerabilidade das águas subterrâneas, no estado do Maranhão (escala 1:2.000.000).
Fonte: Araújo et al. (2012).

das águas subterrâneas. Além disso, subsidia a elaboração do Zoneamento Ecológico-Econômico (ZEE), com base nos mapas preliminares que refletem a vulnerabilidade dos aquíferos.

REFERÊNCIAS

ARAÚJO, P.P. **Variações sazonais dos componentes nitrogenados, em aquífero livre na zona urbana de Santa Isabel do Pará, nordeste do estado do Pará.** 113 p. 2001. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Universidade Federal do Pará, Belém, 2001.

ARAÚJO, P.P. **Águas subterrâneas: vulnerabilidade dos aquíferos à poluição como ferramenta para a instalação de empreendimentos industriais.** ZEE da área de consolidação e expansão da rodovia BR-163, vale do rio Jamanxim. Belém: CPRM, 2006.

ARAÚJO, P.P. **Avaliação dos compostos nitrogenados no aquífero livre em agroecossistemas de citros no alto rio Capitão Pocinho, Amazônia Oriental.** 175 p. 2011. Tese (Doutorado em Ciências Agrárias/Agroecossistemas da Amazônia) – Universidade Federal Rural da Amazônia e Embrapa Amazônia Oriental, Belém, 2011.

ARAÚJO, P.P.; CHAVES, C.L.; SILVA, H.R. da. Avaliação preliminar da vulnerabilidade das águas subterrâneas na bacia do Marajó e bacias adjacentes, escala 1:2.500.000. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 45., 2010, Belém, PA. **Anais...** Belém: SBG, 2010.

ARAÚJO, P.P.; CHAVES, C.L.; SILVA, H.R. da. Vulnerabilidade das águas subterrâneas no estado do Maranhão, em SIG, escala 1:2.000.000. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 46., Santos, SP. **Anais...** Santos, SP: SBG, 2012.

BIZZI, L.A.; SCHOBENHAUS, C.; VIDOTTI, R.M.; GONÇALVES, J.H. (Ed.). **Geologia, tectônica e recursos minerais do Brasil.** Brasília: CPRM, 2003. 692 p. [Texto, mapas & SIG]. DVD-ROM.

COSTA, W.D. Contaminação e programas de monitoramento de águas subterrâneas. In: SIMPÓSIO IMPACTOS AMBIENTAIS E ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NO BRASIL, Rio de Janeiro, RJ, 1997. **Anais...** Rio de Janeiro, RJ: ABAS, 1997.

FOSTER, S.S.D.; HIRATA, R.C.A. **Groundwater pollution risk evaluation: the methodology using available data.** Lima: CEPIS/PAHO/WHO, 1988. 78 p.

TALTASSE, P. **Mapas da vulnerabilidade à poluição dos lençóis aquíferos do município de Campinas (SP).** São Paulo: USP/Instituto de Geociências, 1972. (Publicação Avulsa, n. 1).

7

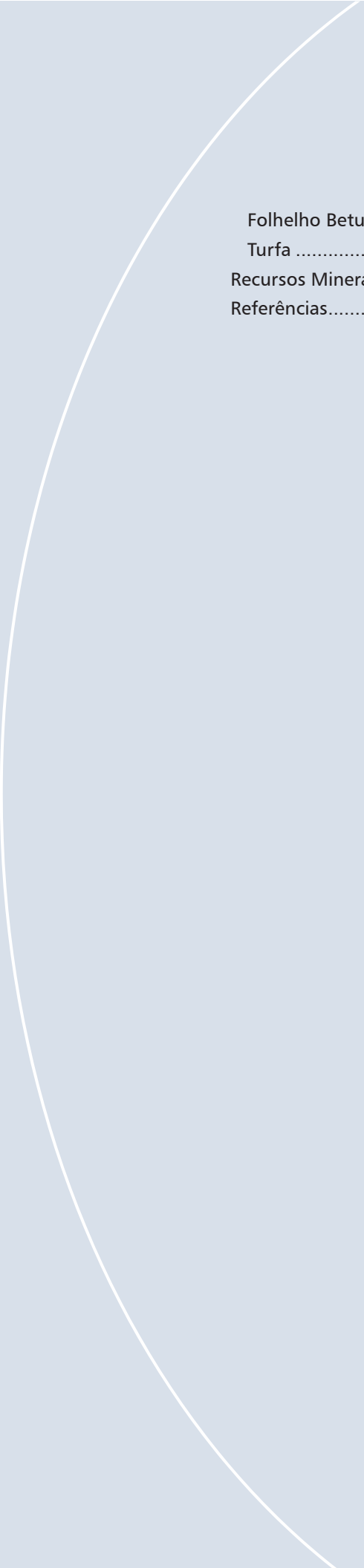
RECURSOS MINERAIS

Evandro L. Klein (evandro.klein@cprm.gov.br)

CPRM – Serviço Geológico do Brasil

SUMÁRIO

Introdução	97
Minerais Metálicos	98
Ouro	98
Zinco, Chumbo e Cobre	98
Alumínio	98
Insumos Para a Agricultura	99
Fosfato	99
Calcário Dolomítico e Dolomito Calcítico	99
Outros Fertilizantes Potenciais	99
Rochas e Minerais Industriais	99
Rocha Ornamental	99
Caulim	99
Titânio	99
Barita	100
Zeólita	100
Areias Especiais	100
Argilas Especiais	100
Gipsita	100
Calcário	100
Agregados para Construção Civil	101
Pedras Britadas e para Construção	101
Argila para Cerâmica Vermelha	101
Cascalho, Seixo, Areia e Saibro	101
Gemas	102
Diamante	102
Ametista e Cristal de Rocha	102
Recursos Energéticos	102
Urânio	102
Carvão e Linhito	102



Folhelho Betuminoso	102
Turfa	102
Recursos Minerais da Plataforma Continental.....	103
Referências.....	103

INTRODUÇÃO

Mais de 85% do território do estado do Maranhão estão inseridos nas bacias sedimentares e coberturas superficiais fanerozoicas, enquanto uma pequena parcela corresponde aos terrenos pré-cambrianos, representados pelo Fragmento Cratônico São Luís e Cinturão Gurupi, que compõem o embasamento aflorante dessas bacias no extremo noroeste do estado. Associadas a esses terrenos encontram-se algumas áreas com indicação, ocorrência e reservas minerais (Figura 7.1).

Por suas características geológicas, as bacias e coberturas sedimentares fanerozoicas hospedam minerais e

rochas pertencentes às classes de minerais industriais, de uso na construção civil e cerâmica, insumos para agricultura, gemas, recursos energéticos e água mineral/potável de mesa. Nos terrenos pré-cambrianos, o ouro é o recurso mineral largamente predominante. Na plataforma continental rasa, além de óleo e gás, são conhecidos depósitos de calcário agrícola e há potencial para fosfato, ouro, titânio e minerais pesados.

O Projeto Mapa Geológico do Estado do Maranhão, executado pela CPRM/SGB (KLEIN; SOUSA, 2012), compilou mais de 1.200 registros de jazimentos minerais e mais de 2.300 processos minerários constam no sistema de gerenciamento de direitos minerários do Departamento Nacional

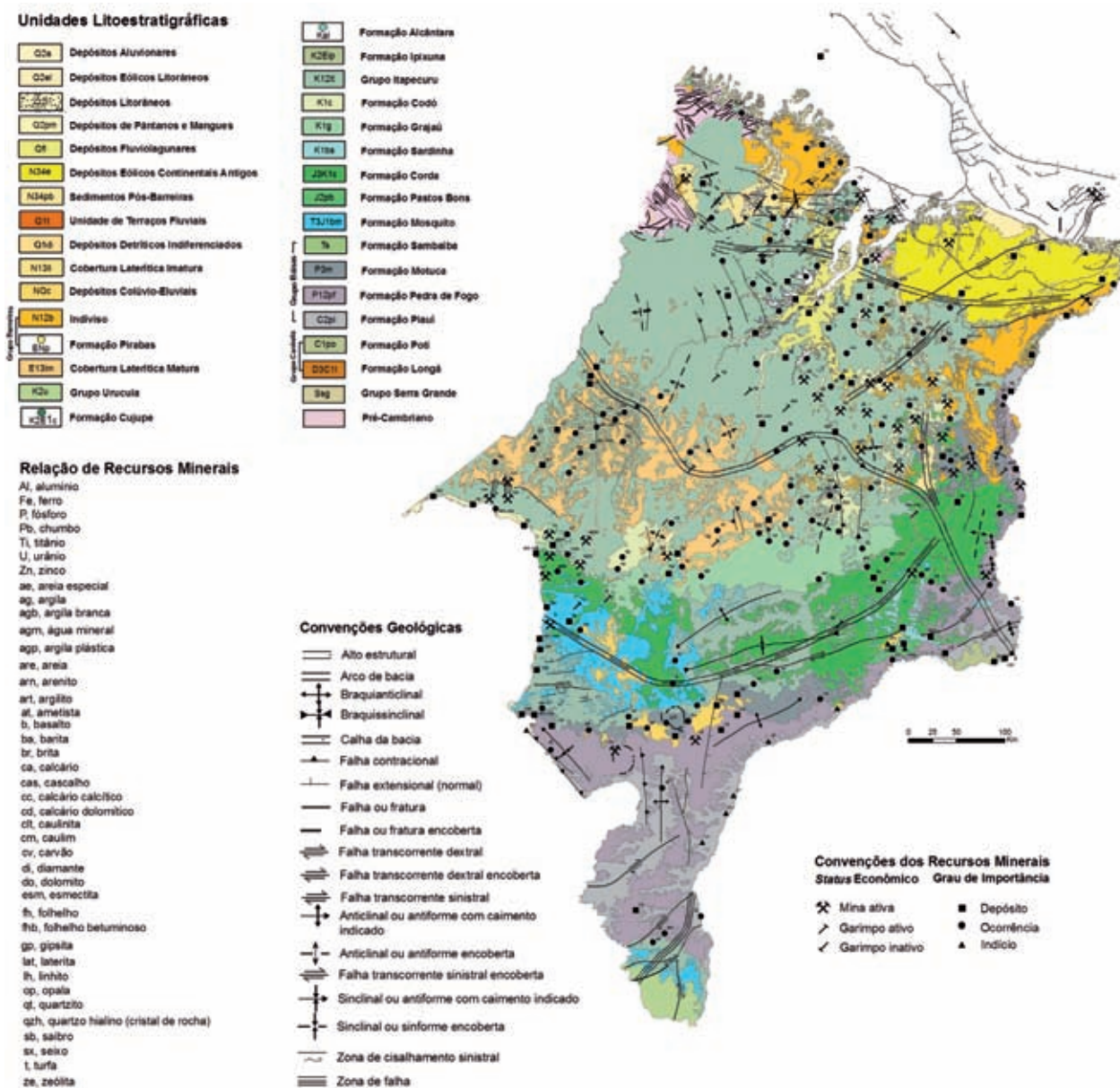


Figura 7.1 - Geologia e recursos minerais existentes no estado do Maranhão.
 Fonte: Klein e Sousa (2012).

de Produção Mineral (DNPM, 2012). As reservas minerais oficiais, publicadas no Anuário Mineral Brasileiro (DNPM, 2010) encontram-se resumidas no Quadro 7.1.

MINERAIS METÁLICOS

Ouro

Os depósitos e ocorrências de ouro concentram-se no Fragmento Cratônico São Luís e no Cinturão Gurupi, no noroeste do estado do Maranhão, próximo à costa atlântica, principalmente nos municípios de Godofredo Viana, Cândido Mendes, Luís Domingues, Centro Novo do Maranhão e Centro do Guilherme. A descoberta de ouro nessa região ocorreu por volta de 1612 e religiosos jesuítas estabeleceram garimpos na região a partir de 1678. Ao longo do século XX, além da garimpagem, diversas companhias mineradoras executaram trabalhos exploratórios que culminaram na descoberta de vários depósitos de ouro primário. A primeira mina industrial do Maranhão, Piaba (na localidade de Aurizona, município de Godofredo Viana), entrou em operação em 2010. Quase 60 t de ouro em minério primário e oxidado e três t em minério aluvionar são conhecidas na região (LOPES, 2000).

No Fragmento Cratônico São Luís, além de Piaba, Tatajuba é também depósito com pequena reserva dimensionada, sendo conhecidos, historicamente, os garimpos Caxias, Pedra de Fogo, Areal e Cavala, entre outros, todos com atividade intermitente ao longo de décadas. Tais depósitos e garimpos estão predominantemente associados à sequência metavulcanossedimentar do Grupo Aurizona, composta por rochas metavulcânicas ácidas e básicas, xistos de naturezas diversas, filitos, metachert e quartzitos e, secundariamente, por granitoides da Suíte Intrusiva Tromaí. O principal controle da localização dos depósitos, entretanto, são as estruturas tectônicas, pois os corpos de minério estão controlados por falhas e zonas de cisalhamento de amplitude pequena a moderada (KLEIN et al., 2008a).

No Cinturão Gurupi, os depósitos de Chega Tudo e Cipoeiro, descobertos em 1995-1996, são os mais adiantados em termos de desenvolvimento pela indústria mineral. A abertura da mina em Cipoeiro está programada para ocorrer a partir de 2013. Segundo Clark e Stone (2009), os recursos são de 65,3 t e 32,5 t de ouro para Cipoeiro e Chega Tudo, respectivamente. Outras ocorrências importantes são Serrinha, Montes Áureos e Sequeiro. Os depósitos apresentam controles estrutural e litoestratigráfico bastante claros. Estão distribuídos ao longo da Zona de Cisalhamento Tentugal, de orientação NW-SE, que ocorre na zona limítrofe entre o cinturão e a área cratônica e estão encaixados, principalmente, em estruturas que seccionam a sequência metavulcanossedimentar da Formação Chega Tudo. Secundariamente, há ocorrências e depósitos encaixados em estruturas que cortam granitoides da Suíte

Intrusiva Tromaí e em arenitos da Formação Igarapé de Areia. Estratigraficamente, a maioria dos depósitos está encaixada em dacitos, basaltos e xistos grafitosos com a Formação Chega Tudo (Chega Tudo, Serrinha, Montes Áureos), além de riolitos, andesitos, rochas vulcanoclásticas e xistos pelíticos.

Tanto os depósitos do Fragmento Cratônico São Luís como os do Cinturão Gurupi apresentam dois estilos de mineralização: veios ou conjuntos de veios de quartzo de espessura e comprimento variáveis e conjuntos de vênulas de quartzo-carbonato-sulfeto e disseminações nas rochas hospedeiras circundantes alteradas hidrotermalmente (KLEIN et al., 2008b; KLEIN; SOUSA, 2012 e suas referências).

Zinco, Chumbo e Cobre

Ocorrências de esfalerita e galena, com ou sem pirita e barita, e associações geoquímicas anômalas de Zn-Pb-Cu-Ba em sedimentos de corrente, foram identificadas em rochas da Formação Codó (ALMEIDA; CALDERARO, 1983; BRUNI et al., 1983; HUFF, 1988), na região de Codó. Os sulfetos ocorrem, às vezes, com quartzo e barita, como cimento em brechas carbonáticas, ou substituindo intraclastos, ou de forma disseminada em porções porosas de arenitos argilosos.

Indícios de mineralização de cobre foram reportados para as regiões de Grajaú e de Carolina (LIMA; LEITE, 1978), sob a forma de cobre nativo em disseminações pontuais em nível amigdaloidal e/ou preenchendo cavidades de basaltos da Formação Mosquito.

Alumínio

Da classe dos metais não ferrosos, o alumínio se concentra em depósitos do noroeste do Maranhão, nos municípios de Bom Jardim e Itinga do Maranhão. Os depósitos possuem reservas estimadas em 182,2 Mt de bauxita metalúrgica e 4,0 Mt de bauxita refratária (DNPM, 2010). Indícios e ocorrências não explotadas existem ao longo da Rodovia BR-010, entre Itinga do Maranhão e Açailândia (VILLAS BOAS; ARAÚJO, 1999), e na Rodovia MA-006, próximo à Vila Faísa, em Santa Luzia (KLEIN; SOUSA 2012).

A gênese das bauxitas da província está ligada ao intemperismo laterítico de sequências siliciclásticas da Formação Ipixuna e do Grupo Itapecuru durante o Paleógeno (KOTSCHOUBEY et al., 2005). Os perfis são maduros e autóctones (COSTA, 1991). O perfil laterítico mostra estrutura acamadada, definida pela alternância de horizontes ricos em Al ou Fe, e zoneamento regional de sul para norte (KOTSCHOUBEY et al., 2005). Os depósitos mais a sul são mais ferruginosos e, nos do norte, os níveis bauxíticos são predominantes, sendo a zona que abriga os principais depósitos econômicos do distrito. Segundo esses autores, a evolução do perfil intempérico e o zoneamento regional,

incluindo a redistribuição e o enriquecimento absoluto de Fe e Al nos diferentes horizontes e domínios, foram controlados por variações climáticas e fatores geomorfológicos, geotectônicos e sedimentológicos.

INSUMOS PARA A AGRICULTURA

Fosfato

Jazimentos de fosfato na região costeira e em ilhas do noroeste do Maranhão são conhecidos pelo menos desde o início do século XX, em localidades dos municípios de Godofredo Viana e Cândido Mendes. Reservas não oficiais são estimadas em 29 Mt, com teores de P_2O_5 variando entre 0,8 e 29% (OLIVEIRA; COSTA, 1984). Os depósitos de fosfato são supergênicos (secundários, formados por alteração e enriquecimento de concentrações primárias) e estão associados a coberturas lateríticas maduras e autóctones formadas no Eoceno-Oligoceno. Essas coberturas ocorrem em pequenos platôs isolados com 20-90 m de altura (COSTA, 1991). As concentrações de fosfatos formaram-se pelo intemperismo de rochas metamórficas do Grupo Aurizona originalmente portadoras de fósforo (COSTA, 1991; OLIVEIRA; COSTA, 1984; KLEIN et al. 2008a). O topo dos platôs é coberto por blocos de crosta ferruginosa marrom-escuro, que também pode conter fosfato.

Esses fosfatos aluminosos podem ser utilizados como fertilizantes após tratamento que aumente a solubilidade do fósforo e, em consequência, a sua eficiência agrônômica (SILVEROL et al., 2006). Estudos realizados nos fosfatos aluminosos dos depósitos de Pirocaua e Trauíra indicam que eles possuem eficiência agrônômica moderada (KLIEMANN; LIMA, 2001; OLIVEIRA; COSTA, 1984).

Indícios geoquímicos de mineralização de fósforo foram também apresentados por Lima e Leite (1978) em amostras com valores relativamente altos de P_2O_5 (1,07 a 23,2%), nas regiões de Brejo (Formação Longá) e Barão do Grajaú (Formação Poti).

Calcário Dolomítico e Dolomito Calcítico

Os jazimentos de calcário agrícola se concentram, principalmente, no município de Riachão e distribuem-se também por Balsas e São José dos Patos (DNPM, 2012), em domínios das formações Pedra de Fogo e Motuca, do Grupo Balsas. Análises químicas efetuadas em calcários da Formação Codó, nas localidades de Livramento e Jejum, mostraram teores de MgO de 11,7 a 16,1% e razão MgO/CaO entre 0,25 e 0,56, dentro do intervalo recomendado para uso como corretivo de solo (RODRIGUES et al., 1994a).

Outros Fertilizantes Potenciais

Na busca de fontes alternativas para fertilizantes, a rochagem tem se mostrado um processo promissor. Com base nisso, é citada a potencialidade das rochas básicas

das formações Mosquito e Sardinha para essa finalidade, mas há necessidade de estudos que definam tal potencialidade. Também as zeólitas, além de suas propriedades que permitem a melhoria da eficiência no uso de nutrientes agrícolas (MONTE et al., 2009), possuem grande potencial na rochagem.

ROCHAS E MINERAIS INDUSTRIAIS

Rocha Ornamental

O único polo produtor de rocha ornamental no Maranhão, no momento, é o do município de Rosário, que concentra reservas de 21,9 Mt (DNPM, 2010) de granitos relacionados à Suíte Intrusiva Rosário. Contudo, ocorrências de rochas com potencial ornamental e associadas à Suíte Intrusiva Tromaí foram reportadas por Klein e Lopes (2011), nas proximidades de Centro Novo do Maranhão. Os tonalitos apresentam tonalidade esverdeada e os ensaios físicos efetuados por Mello et al. (2011) foram positivos para uso ornamental, mas desaconselham seu uso em pisos de alto tráfego. Nas proximidades de Godofredo Viana, um afloramento apresenta matações de granitoide, também da Suíte Intrusiva Tromaí, com coloração esverdeada a azulada. Foi sugerido para futura avaliação, visando à sua utilização como rocha ornamental (KLEIN et al., 2008a).

Caulim

As reservas de caulim do Maranhão totalizam 2,5 Mt (DNPM, 2010) e se distribuem em dois depósitos localizados nos municípios de Caxias e Codó. Ocorrências e indícios associados ao Grupo Itapecuru são registrados na porção centro-norte do estado, entre a várzea do rio Mearim e o rio Munim; ao longo da Rodovia MA-006, nas proximidades de Arame e Buriticupu, e na Rodovia MA-245, em Encruzilhada; e Tuntum-Barra do Corda (COLARES et al., 1990; KLEIN; SOUSA, 2012; LOVATO et al., 1995). Outras ocorrências, localizadas ao longo da Rodovia BR-222, nas imediações do rio Pindaré, entre Açailândia e Verona, associam-se à Formação Ipixuna (VILLAS BOAS; ARAUJO, 1999).

Titânio

Indícios de mineralização de titânio são dados pela presença de ilmenita em concentrados de minerais pesados obtidos em área de domínio de sedimentos costeiros (COSTA et al., 1977). Esses concentrados foram amostrados em sedimentos aluvionares nas drenagens da zona costeira e em várias drenagens que cortam as rochas pré-cambrianas do Fragmento Cratônico São Luís. Considerando a expressiva ocorrência de sedimentos litorâneos nessa região e a existência de anomalias geoquímicas na plataforma continental, exatamente na continuidade

dos indícios aqui apresentados (CPRM, 2008), deve-se ficar atento para esse potencial mineral, empregado na produção de pigmentos.

Barita

Três pequenas ocorrências de barita foram reportadas por Lima e Leite (1978), ocorrendo como lâminas delgadas a placas tabulares de até 1 m de espessura, preenchendo fraturas em argilito siltooso da Formação Motuca, ou em níveis finos, de até 1 cm de espessura, em folhelhos da Formação Itapecuru.

Zeólita

O estado do Maranhão apresenta uma área relativamente vasta na Bacia do Parnaíba, com jazimentos de zeólita associados à Formação Corda que se distribuem nos municípios de Governador Edison Lobão, Ribamar Fiquene, Montes Altos e Lajeado Novo.

De acordo com Rezende e Angélica (1997) e Rezende (2002), a zona zeolítica da Formação Corda, que se estende por cerca de 400 km², com espessura superior a 8 m, compreende um pacote de arenitos eólicos e fluviais, depositados em amplo sistema desértico sobre derrames basálticos da Formação Mosquito. Não se conhecem, ainda, as dimensões reais desses jazimentos nem teores, porém, sabe-se que a zeólita não ocorre concentrada, mas dispersa em um nível zeolítico, como cimento do arenito hospedeiro (COSTA NETO et al. 2012; REZENDE, 2002).

A zeólita é um mineral com largo emprego nas áreas industrial, ambiental e agrônômica. Ensaio tecnológicos indicam o uso industrial do mineral após enriquecimento por processos gravimétricos (LUZ et al., 2010). A adição de zeólita pode aumentar a eficiência agrônômica dos fertilizantes e, se modificada quimicamente, possui uso potencial como fertilizante de liberação lenta, com taxas de liberação de P e N comparáveis às obtidas com produtos comerciais similares (CORREIA; PAIVA, 2003; LUZ et al., 2010; MONTE et al., 2009). Na área ambiental, a eficiência na remoção de metais pesados em efluentes industriais é aumentada sobremaneira após modificação química da zeólita, usando a propriedade de troca catiônica (DUARTE et al., 2002; SHINZATO, 2007).

Areias Especiais

Moura (1988) identificou areias oriundas da desagregação de arenitos da Formação Sambaíba, na região sul do Maranhão, com potencial para uso no fraturamento hidráulico de poços de petróleo. Essas areias especiais são compostas, predominantemente, por quartzo, com alto grau de arredondamento e esfericidade, ausência de feldspatos e outros minerais e biodetritos, com baixo teor de finos e boa resistência ao esmagamento a presença de areias especiais.

Argilas Especiais

Argilas para cerâmica branca, argilas esmectíticas (bentonitas) e argilas refratárias, com uso industrial diferenciado, quando comparado ao das argilas para cerâmica vermelha, podem ser consideradas argilas especiais.

Há várias ocorrências na região de Bacabal e municípios limítrofes (RODRIGUES et al., 1994a), onde as argilas estão associadas ao horizonte mosqueado do perfil laterítico imaturo que recobre ou se desenvolveu sobre rochas do Grupo Itapecuru (KLEIN; SOUSA, 2012). O Sistema de Informações Geográficas da Mineração (SIGMINE) (DNPM, 2012) registra duas minas de argilas em Timom, em área de ocorrência da Formação Piauí, e um depósito de argila refratária em Codó, em área da formação homônima.

Argila esmectítica ocorre a sudeste de Centro Novo do Maranhão, associada ao Grupo Serra Grande, mas não há informações sobre dimensões e real potencial da ocorrência (KLEIN; LOPES, 2011). Várias ocorrências e indícios de argila esmectítica são também conhecidos na porção ocidental do Maranhão, nos municípios de Governador Edison Lobão, Davinópolis, Porto Franco, Campestre do Maranhão, Ribamar Fiquene e Montes Altos, associados às formações Corda, Mosquito e Grajaú (COSTA NETO et al., 2012; REZENDE, 1997). Segundo Rezende (1997), a composição química das esmectitas da Formação Corda indica que elas possuem elevada capacidade de troca catiônica, compatível com o observado em argilas bentoníticas nacionais e estrangeiras.

Rezende (1997) cita a presença de esmectitas magnesianas na Formação Codó, na região de Codó, indicando seu uso como corretivo/condicionador de solos ácidos. O mesmo autor cita atapulgita preenchendo fraturas em pelitos da Formação Motuca, na região entre Riachão e Carolina.

Gipsita

A gipsita, com uso na construção civil, agricultura e pecuária, possui ocorrências e depósitos nos municípios de Codó e Grajaú. As reservas oficiais estão estimadas em 40,6 Mt (DNPM, 2010). A gipsita de Codó se associa a uma fácies evaporítica, onde forma lentes, juntamente com calcário, intercaladas em folhelhos pretos betuminosos na base da Formação Codó (BAQUIL, 1997a; KLEIN; SOUSA, 2012). Na região de Grajaú, a gipsita forma lentes com grande continuidade lateral e espessura média entre 1 e 14 m (BAQUIL, 1997b). Em Balsas, na jazida da Mineração Vale do Araguaia, gesso agrícola é fabricado como subproduto da extração de calcário.

Calcário

As reservas oficiais de calcário (indiferenciado) no estado do Maranhão totalizam 316,1 Mt (DNPM, 2010). Mais de 95% dessas reservas estão concentrados nos municípios

de Balsas e Codó e se associam à Formação Codó. Há, também, ocorrências nos municípios de Riachão, Imperatriz, Barra do Corda, Grajaú, Tuntum, Presidente Dutra, Timom e Caxias (DNPM, 2012; KLEIN; SOUSA, 2012).

Os depósitos de Codó não apresentam grande continuidade lateral, ocorrendo como lentes e bolsões localmente recobertos por sedimentos das formações Corda e Itapecuru. Com base no aspecto físico e nas condições de beneficiamento, esse calcário foi classificado em três tipos (BAQUIL, 1997a): **Tipo A:** de cor bege, ocorre intercalado com folhelhos pulverulentos, às vezes com aspecto brechoide, contendo drusas e concreções; é beneficiável. **Tipo B:** bege ou cinza-claro, compacto, maciço e ligeiramente estratificado; usado *in natura*. **Tipo C:** cinza, betuminoso e silicoso; não é utilizado na industrialização do cimento.

Há relatos passados da existência de lavras rudimentares e de ocorrências não exploradas que necessitam de confirmação sobre a continuação ou não de sua atividade. Foram descritas lavras nas proximidades do rio Mearim, em Barra do Corda, com teor de MgO inferior a 4%, sendo utilizado para fabrico de cal. Mas há, também, ocorrências com potencial para corretivo de solo (LOVATO et al., 1994). Em Vila Cocal, no rio Tocantins, há calcário com teores de CaO e MgO satisfatórios para utilização como corretivo de solos (ALMEIDA et al., 1995). Em Buriti Bravo, há ocorrência de lentes de calcário silicificado, com espessura média de 3 m, intercaladas em arenitos finos e pelitos da Formação Pastos Bons (LEITES et al., 1994). Próximo à divisa com o estado do Piauí, a extração de calcário calcítico (MgO/CaO = 0,005) e dolomito calcítico (MgO/CaO = 0,71) ocorre em jazimentos pertencentes às formações Motuca e Piauí (RIBEIRO et al., 1998). Segundo esses autores, os primeiros são indicados para uso na construção civil, fabrico de cimento, metalurgia e indústria química, enquanto os segundos foram indicados para uso como corretivo de solo, nas indústrias de tinta e construção civil e aditivo de asfalto.

Costa et al. (1977) observaram registros pontuais de calcário compacto, de granulação fina, com menos de 1,2 m de espessura, em meio à sedimentação quaternária litorânea entre Carutapera e Turiaçu e associaram essa rocha à Formação Alcântara do Grupo Itapecuru. Os calcários são magnesianos a dolomíticos, com teores de CaO entre 15,8 e >46,0% e de MgO entre 1,1 e 19,6%.

AGREGADOS PARA CONSTRUÇÃO CIVIL

Pedras Britadas e para Construção

São duas as principais unidades geológicas usadas na produção de pedras britadas no Maranhão. O polo Rosário-Bacabeira, ao sul de São Luís, possui várias pedreiras ativas que exploram os granitoides da Suíte Intrusiva Rosário. Reservas em 1985 eram estimadas em 7 milhões de m³ (RODRIGUES et al., 1994b). Na porção centro-ocidental do

estado, os basaltos da Formação Mosquito possuem larga utilização. Não há reservas conhecidas.

A extração de pedra para construção e calçamento é efetuada, geralmente, de forma artesanal em várias unidades geológicas. São exemplos: (i) arenito silicificado da Formação Grajaú, em Tuntum (LEITES et al., 1994), do Grupo Itapecuru, em Vitorino Freire (COLARES et al., 1990) e Grajaú-Barra do Corda (LOVATO et al., 1994), e da Formação Corda em Presidente Dutra (KLEIN; SOUSA, 2012); (ii) siltitos maciços a estratificados da Formação Pedra de Fogo (KLEIN; SOUSA, 2012); (iii) arenitos ferruginosos que ocorrem em horizontes concrecionários dos perfis lateríticos imaturos de larga distribuição no estado (KLEIN; SOUSA, 2012; RODRIGUES et al., 1994a).

Argila para Cerâmica Vermelha

Os jazimentos de argila para cerâmica vermelha estão distribuídos por todo o Maranhão, mas há uma concentração na porção centro-norte do estado que é coincidente com as planícies de inundação dos grandes rios, como Munim, Mearim e Itapecuru, que constituem a principal fonte de argilas. Também há concentração de jazimentos ao longo das rodovias BR-222, BR-226 e BR-230, que ligam as maiores cidades do estado (KLEIN; SOUSA, 2012). Há, também, jazimentos associados a pequenas lentes e camadas de argillito ou pelitos com laminação plano-paralela intercalados em arenitos do Grupo Itapecuru em Zé Doca (COLARES; ARAÚJO, 1990), Vitória do Mearim, Miranda do Norte e Vargem Grande (LOVATO et al., 1995).

Outras possibilidades são argilas relacionadas aos sedimentos da Formação Cujupe na ilha de São Luís e Mirinzal (RODRIGUES et al., 1994b), argila (mais areia e cascalho) da Formação Ipixuna e/ou Grupo Itapecuru em Açailândia e Verona (VILLAS BOAS; ARAÚJO, 1999), em Grajaú e norte de Barra do Corda (LOVATO et al., 1994). Ainda, lavras de argila, oriundas de alteração das rochas da Suíte Intrusiva Rosário, são relativamente abundantes em Bacabeira, município de Rosário, ao sul de São Luís (RODRIGUES et al., 1994b).

Cascalho, Seixo, Areia e Saibro

As coberturas lateríticas maduras e imaturas, bastante distribuídas no Maranhão, são fontes de concreções ferruginosas, areia, cascalho, saibro e argila. Também o Grupo Barreiras e os Sedimentos Pós-Barreiras são fontes desses insumos. Em Centro Novo do Maranhão, ao longo da Rodovia MA-306, há minas e ocorrências de seixo e areia; na porção sudoeste da ilha de São Luís, areia grossa é explorada mecanicamente em áreas onde afloram os sedimentos desse grupo e da Formação Cujupe; as extensas coberturas arenosas da Formação Grajaú fornecem areia em abundância, assim como leitos e paleoterraços dos rios Itapecuru, Mearim, Grajaú e Pindaré e a região dos lagos.

GEMAS

Diamante

Há referências, com localização imprecisa, à presença de diamante nas porções sul e sudoeste do Maranhão (CODEMINAS, 1975). Os indícios estariam relacionados a aluviões do rio Parnaíba, no limite com o estado do Piauí, ao sul de Alto Parnaíba; a aluviões do rio das Balsas, em seu médio curso; e a aluviões do rio Sereno, próximo a sua foz no rio Manoel Alves Grande, que limita os estados de Tocantins e Maranhão.

Minerais satélites do diamante (ilmenita e granada) foram identificados por Klein e Lopes (2011) em sedimentos ativos de drenagem e em solos ao norte de Centro Novo do Maranhão, em área de afloramento da Formação Igarapé de Areia e dos Sedimentos Pós-Barreiras, que ocorre sobre um dipolo magnético com eixo orientado segundo a direção N60°E, que indica a presença de intrusão em subsuperfície. Apesar da existência de mineralogia kimberlítica, a presença de intrusão kimberlítica associada a essa anomalia e, mesmo, da ocorrência de diamante, necessita de confirmação futura.

A ocorrência de um kimberlito (Flores-01) foi apontada em CPRM (2004), no município de Lajeado Novo.

Ametista e Cristal de Rocha

Oliveira (1998) apontou ocorrências de cristal de rocha na região de Balsas-Riachão e de ametista entre Timões e São Francisco, ambas em áreas de afloramento da Formação Pedra de Fogo. O mesmo autor cita a ocorrência de opala na região de Porto Franco-Estreito, próximo à divisa com Tocantins, associada ao vulcanismo básico da Formação Mosquito. Também cita uma ocorrência de ametista em Matões, em área de afloramento da Formação Codó. Supõe-se que também se associe ao vulcanismo básico.

RECURSOS ENERGÉTICOS

Urânio

Anomalias radiométricas de urânio, com valor em torno de 300 cps, foram identificadas por Lima e Leite (1978) na região de Coelho Neto, em algumas ocorrências de arenitos micáceos e argilosos, finos, intercalados com siltitos laminados, atribuídos à Formação Pedra de Fogo. Outra anomalia identificada pelos mesmos autores localiza-se mais ao sul, no município de Barão do Grajaú, próximo ao rio Parnaíba, e associa-se a indício geoquímico de fósforo.

Carvão e Linhito

Segundo Lenz e Ramos (1985), é baixa a favorabilidade à existência econômica de carvão na Bacia do Parnaíba.

O Anuário Mineral Brasileiro (DNPM, 2010) reporta uma reserva de carvão mineral, ou turfa, segundo o SIGMINE (DNPM, 2012), de 2,8 Mt no município de Balsas. Esse carvão está associado à Formação Poti, do Grupo Balsas. Além disso, próximo a Santa Helena, há registro da presença de diversos níveis carbonosos na Formação Codó, descritos como linhito, entre 220 e 1.060 m de profundidade no poço MO-1-MA (Mocambo) perfurado pela Petrobras (LEITE et al., 1975). CODEMINAS (1975) faz referência a pequenas ocorrências de carvão, sob a forma de delgadas lâminas ou camadas com 2-10 cm de espessura, intercaladas com níveis de arenitos, siltitos e folhelhos das formações Poti, Piauí e Pedra de Fogo.

Folhelho Betuminoso

Ocorrências de folhelho betuminoso são descritas para as regiões de Codó, Barra do Corda e Tuntum. Nesses locais, o folhelho ocorre em camadas de até 2 m de espessura, interestratificadas com calcários, calcarenitos, arenitos calcíferos, siltitos e gipsita, todo o conjunto sendo atribuído à Formação Codó. Em Barra do Corda, os folhelhos possuem teor de óleo de 10 a 12%, podendo atingir 17% (CODEMINAS, 1975 e suas referências). Segundo Lenz e Ramos (1985), os folhelhos pirobetuminosos estão contidos na porção estratigraficamente inferior da Formação Codó, que atinge 15-30 m de espessura, e possuem teores de óleo entre 2 e 7%, podendo atingir 20%.

Turfa

Turfeiras são comuns nas planícies de inundação de rios e lagos maranhenses e, secundariamente, na porção nordeste do estado. Araújo e Veríssimo (1984) definiram cinco áreas principais: (i) rio Pericumã, (ii) lagos interiores, (iii) rio Preguiças, (iv) rios Carrapato e Fome e (v) rio Magu. Os depósitos avaliados nessas áreas (Quadro 7.2) totalizam reservas inferidas de 17,6 Mt, em base seca, equivalentes a 7,6 Mt em óleo combustível BPF (baixo ponto de fluidez – óleo pesado, resíduo da destilação do petróleo).

As turfas do rio Pericumã têm potencial energético. Apresentam cor marrom, são fibrosas a fibrolenhosas, com médio grau de decomposição e espessuras variando entre 0,5 a 3,40 m, com capeamento máximo de 0,5 m. As turfeiras da região dos lagos interiores ocorrem como lentes argilosas, de pequena espessura e capeamento expressivo. Possuem grau de humificação muito baixo, baixo poder calorífico e não são adequadas para fins energéticos. No rio Preguiças (região de Barreirinhas), as turfeiras possuem dimensões reduzidas e são controladas pelo paleorrelevo. As turfas possuem médio a elevado grau de decomposição, baixo teor de cinzas e de enxofre e grau de humificação elevado. Na área dos rios Carrapato e Fome (municípios de Barreirinhas e Tutoia), as turfeiras apresentam médio a elevado grau de humificação e são

Quadro 7.2 - Reservas inferidas de turfa no estado do Maranhão..

Área	Setor	Espessura Média (m)	Área (ha)	Volume <i>in natura</i> (m ³ x 106)	Densidade Média (Base Seca) (g/cm ³)	Reserva (Base Seca) (Mt)	Teor Médio de Cinzas (%)	PCS* Médio (Base Seca) (cal/g)	Equivalente em Óleo BDP* (Mt)
Pericumã	Pinheiro	1,31	2506	32,94	0,125	3,77	24,8	4212	1,53
	Ilha Grande	1,96	2920	64,70	0,135	9,01	22,0	4437	3,76
Preguiças	Barreirinhas	2,46	458	12,91	0,116	1,52	14,4	5441	0,72
	Sobradinho	1,79	270	5,67	0,122	0,68	24,0	4667	0,32
Carrapato	Carrapato	1,53	1414	21,64	0,121	2,62	19,7	5224	1,30
Total			7569	137,87		17,60			7,63

Fonte: Modificado de Araújo e Veríssimo (1984)

*PCS: poder calorífico superior; BDP: barris por dia.

adequadas ao uso energético. As turfeiras do rio Magu (costa nordeste, próximo à divisa com o Piauí) são argilosas, fibrosas e com teores de cinzas moderados a altos e não são adequadas para uso energético nem agrícola (ARAÚJO; VERÍSSIMO, 1984).

RECURSOS MINERAIS DA PLATAFORMA CONTINENTAL

Há poucas informações disponíveis sobre os recursos minerais não fósseis da plataforma continental no estado do Maranhão. O Projeto Geologia da Plataforma Continental Jurídica Brasileira e Áreas Oceânicas Adjacentes (CPRM, 2008) apontou três áreas potenciais para calcário, uma para ouro e minerais pesados e uma para minerais ilmenita, monazita, zircão e rutilo. Nessas mesmas áreas potenciais há anomalias geoquímicas de Mo, Sr, Ti e Zr.

Segundo o SIGMINE (DNPM, 2012), depósitos de calcário com fins agrícolas já contam com concessões de lavra ou são objeto de requerimento de lavra. Vários requerimentos e autorizações para pesquisa de fosfato são também registrados. De acordo com Cavalcanti (2011), existem pelo menos quatro áreas com concentrações significativas de sedimentos carbonáticos bioclásticos marinhos: (i) bancos de Tutoia, formados quase que exclusivamente de fragmentos de algas coralíneas do gênero *Lithothamnium*; (ii) banco de São Luís, a norte da cidade de São Luís, composto por sedimentos bioclásticos formados por fragmentos de algas calcárias, predominantemente *Lithothamnium* e, subordinadamente, *Halimeda*; (iii) banco do Tarol, a norte de Cururupu, formado quase que exclusivamente por fragmentos das algas *Lithothamnium*; (iv) autofundo de Parnaíba, a 380 km da costa norte do Maranhão, formado por depósitos de sedimentos biodetríticos, também predominantemente formados de algas coralíneas, com predominância do gênero *Lithothamnium*. As reservas oficiais de granulados bioclásticos marinhos são

de 656,6 Mt e os sedimentos bioclásticos apresentam teores de Ca⁺⁺ e Mg⁺⁺ entre 34,45 e 37,73% e 1,09 e 3,32%, respectivamente (CAVALCANTI, 2011).

Com relação a minerais metálicos, entre os rios Gurupi e Turiaçu, que drenam as unidades pré-cambrianas do Fragmento Cratônico São Luís e Cinturão Gurupi, são reconhecidos plácemes litorâneos auríferos. Esses depósitos contêm ouro com teores em torno de 3,0 g/m³ (CAVALCANTI, 2011).

Convém ressaltar que o sal marinho apresenta potencial de ocorrência ao longo de toda a costa maranhense.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, H.D.F. de; CALDERARO, R.C.B. **Projeto sulfetos bacia do Parnaíba**: formação Codó, área do Butica. Relatório de etapa. Belém: PETROMISA, 1983. 1 v. (PETROMISA. Relatório Técnico).
- ALMEIDA, H.G.G.; MARINHO, P.A.C.; MARTINS, R.C. **Marabá, folha SB.22-X-D**: estados do Pará, Maranhão e Tocantins. Brasília, DF: CPRM, 1995. 113 p. il. + 2 mapas. Escala 1:250.000. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil (PLGB).
- ARAÚJO, C.C.; VERÍSSIMO, L.S. **Prospecção de turfa e linhito no nordeste setentrional**: relatório final das etapas I e II. Fortaleza: CPRM, 1984.
- BAQUIL, C.C. Depósitos de calcário e gipsita de Codó, Maranhão. In: SCHOBENHAUS, C.; QUEIROZ, E.T.; COELHO, C.E.S. (Coord.). **Principais depósitos minerais do Brasil**: rochas e minerais industriais. Brasília, DF: DNPM; CPRM, 1997a. p. 465-468. v. 4. Parte C.
- BAQUIL, C.C. Depósitos de gipsita de Grajaú, Maranhão. In: SCHOBENHAUS, C.; QUEIROZ, E.T.; COELHO, C.E.S.

(Coord.). **Principais depósitos minerais do Brasil:** rochas e minerais industriais. Brasília, DF: DNPM; CPRM, 1997b. p. 169-175. v. 4. Parte C.

BRUNI, D.C.; BECKEL, J.; SOBREIRA, G.V. **Projeto sulfetos bacia do Parnaíba:** formação Codó, prospecção geoquímica por sedimento de corrente, região do igarapé do Inferno. Belém: PETROMISA, 1983.

CAVALCANTI, V.M.M. **Plataforma continental:** a última fronteira da mineração brasileira. Brasília, DF: DNPM, 2011. 104 p.

CLARK, J.L.; STONE, B.G. **Technical review of mineral resources of the Gurupi Gold Project, Maranhão state, Brazil.** Prepared for Jaguar Mining Inc by Pincock Allen Holt. Project n. 100511. 2009. Disponível em: <<http://www.sedar.com/DisplayCompany Documents.do?lang=EN&issuerNo=00019963>>. Acesso em: 23 jan. 2010.

CODEMINAS. **Relatório de compilação e análise da bibliografia geológica e dos recursos minerais do Maranhão.** São Luís, 1975. 2 v.

COLARES, J.Q.S.; ARAÚJO, C.C. (Org.). **Santa Inês – folha SA.23-Y-D:** estado do Maranhão. Brasília, DF: CPRM; DNPM, 1990. 61 p. il. Escala 1:250.000. 4 mapas. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil (PLGB).

COLARES, J.Q.S.; ARAÚJO, C.C.; PARENTE FILHO, J. (Org.). **Vitorino Freire – Folha SB.23-V-B:** estado do Maranhão. Brasília, DF: CPRM; DNPM, 1990. 75 p. il. Escala 1:250.000. 4 mapas. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil (PLGB).

CORREIA, J.G.; PAIVA, P.R.P. **Estudo da zeólita para utilização na agricultura.** 2003. Disponível em: <http://www.cetem.gov.br/publicacao/serie_anais_XI_jic_2003/13_Jackieline_JIC_2003.pdf>. Acesso em: 20 abr. 2009.

COSTA, J.L. da et al. **Projeto Gurupi:** relatório final de etapa. Belém: CPRM, 1977.

COSTA, M.L. Aspectos geológicos dos lateritos da Amazônia. **Revista Brasileira de Geociências,** São Paulo, v. 21, n. 2, p. 146-160, jun. 1991.

COSTA NETO, M.C. et al. **Geologia e recursos minerais da Folha Imperatriz SB.23-V-C-V, estados do Maranhão e do Tocantins:** escala 1:100.000. Belém: CPRM, 2012. Programa Geologia do Brasil (PGB).

CPRM. **Carta geológica do Brasil ao milionésimo:** sistema de informações geográficas (SIG): folha SB.23 Teresina. Brasília, DF: CPRM, 2004. Escala 1:1.000.000. 1 CD-ROM. Programa Geologia do Brasil (PGB).

CPRM. **Geologia da plataforma continental jurídica brasileira e áreas oceânicas adjacentes.** Brasília, DF: CPRM, 2008. 1 CD-ROM; mapas. Programa Geologia do Brasil (PGB). Sistema de Informação Geográfica (SIG).

DNPM. **Anuário mineral brasileiro 2010.** Brasília, DF: DNPM, 2010. Disponível em: <<http://www.dnpm.gov.br/conteudo.asp?IDSecao=68&IDPagina=2005>>. Acesso em: 29 mar. 2012.

DNPM. **SIGMINE.** 2012. Disponível em: <<http://sigmine.dnpm.gov.br/webmap/>>. Acesso em: 28 fev. 2012.

DUARTE, A.C.P. et al. Aplicação de zeólita natural como adsorvente de metais pesados presentes em efluentes industriais. ENCONTRO NACIONAL DE TRATAMENTO DE MINÉRIOS E METALURGIA EXTRATIVA, 19., Recife, 2002. **Anais...** Recife: CETEM, 2002. Disponível em: <<http://www.cetem.gov.br/publicacao/CTs/CT2002-072-00.pdf>>. Acesso em: 20 abr. 2010.

HUFF, S.C. **Petrografia e modelo deposicional das áreas de igarapé do Inferno e Anjo da Guarda.** Rio de Janeiro: PETROBRAS, 1988. 36 p. (PETROMISA. Relatório Técnico).

KLEIN, E.L.; LOPES, E.C.S. **Geologia e recursos minerais da folha Centro Novo do Maranhão SA.23-Y-B-I, estados do Maranhão e do Pará:** escala 1:100.000. Belém: CPRM, 2011. Programa Geologia do Brasil (PGB).

KLEIN, E.L.; SOUSA, C.S. (Orgs.). **Geologia e recursos minerais do estado do Maranhão:** sistema de informação geográfica (SIG). Belém: CPRM, 2012. Texto explicativo do mapa geológico e de recursos minerais do estado do Maranhão, escala 1:750.000.

KLEIN, E.L.; LARIZZATTI, J.H.; MARINHO, P.A.C.; ROSA-COSTA, L.T.; LUZARDO, R.; FARACO, M.T.L. **Geologia e recursos minerais da folha Cândido Mendes SA.23-V-D-II, estado do Maranhão:** escala 1:100.000. Belém: CPRM, 2008a. 150 p. Programa Geologia do Brasil (PGB).

KLEIN, E.L.; RIBEIRO, J.W.A.; HARRIS, C.; MOURA, C.A.V.; GIRET, A. Geology and fluid characteristics of the Mina Velha and Mandioccal orebodies and implications for the genesis of the orogenic Chega Tudo gold deposit, Gurupi belt, Brazil. **Economic Geology,** v. 103, p. 957-980, 2008b.

KLIEMANN, H.J.; LIMA, D.V. Eficiência agrônômica de fosfatos naturais e sua influência no fósforo disponível em dois solos de cerrado. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 31, p. 111-119, 2001.

KOTSCHOUBEY, B. et al. Caracterização e gênese dos depósitos de bauxita da província bauxitífera de Paragominas, noroeste da bacia do Grajaú, nordeste do Pará/noroeste do Maranhão. In: MARINI, O.J.; QUEIROZ, E.T.; RAMOS, B.W. (Coord.). **Caracterização em depósitos minerais em distritos mineiros da Amazônia**. Brasília, DF: DNPM-CT; Mineral-ADIMB, 2005. p. 687-782.

LEITE, J.F.; ABOARRAGE, A.M.; DAEMON, R.F. **Projeto carvão da bacia do Parnaíba**. Recife: DNPM; CPRM, 1975. 5 v. (Relatório interno).

LEITES, S.R.; PIMENTEL, G.B.; ALVES, F.J.; CAMOZZATO, E.D. (Org.). **Presidente Dutra, folha SB.23-X-C**: estado do Maranhão: escala 1:250.000. Brasília, DF: CPRM, 1994. 100 p. il. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil (PLGB).

LENZ, G.R.; RAMOS, B.W. Combustíveis fósseis sólidos no Brasil: carvão, linhito, turfa e rochas oelígenas. In: SCHOBENHAUS, C.; COELHO, C.E.S. (Coord.). **Principais depósitos minerais do Brasil**: recursos minerais energéticos. Brasília, DF: DNPM/CVRD/CPRM, 1985. p. 3-37. v. 1.

LIMA, E.A.M.; LEITE, J.F. **Projeto estudo global dos recursos minerais da bacia sedimentar do Parnaíba**: integração geológico-metalogenética. Relatório final, etapa III. Recife: DNPM; CPRM, 1978. v. 1. 190 p.

LOPES, R.F. **Projeto Aurizona**: depósito Piaba. Reavaliação de reservas. [s.l.]: Mineração Aurizona S/A, 2000. Portaria de Lavra nº 1.201/88. v. 1 (Relatório inédito).

LOVATO, O.G. et al. **Barra do Corda, folha SB.23-V-D**: estado do Maranhão. Brasília, DF: CPRM, 1994. 95 p. il. Escala 1:250.000. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil (PLGB).

LOVATO, O.G.; CAYE, B.R.; ARAÚJO, C.C. **Itapecuru-Mirim, folha SA.23-Z-C**: estado de Maranhão. Brasília, DF: CPRM, 1995. 93 p. il. Escala 1:250.000. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil (PLGB). Programa Grande Carajás.

LUZ, A.B. et al. Rochas, minerais e rotas tecnológicas para a produção de fertilizantes alternativos. In: FERNANDES, F.R.C.; LUZ, A.B.; CASTILHOS, Z.C. (Ed.).

Agrominerais para o Brasil. Rio de Janeiro: CETEM, 2010. p. 61-88.

MELLO, I.S.C.; CHIODI FILHO, C.; CHIODI, D.K. **Atlas de rochas ornamentais da Amazônia brasileira**. São Paulo: CPRM, 2011, 300 p.

MONTE, M.B.B. et al. Nutrient release by a Brazilian sedimentary zeolite. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, Rio de Janeiro, v. 81, p. 641-653, 2009.

MOURA, B. **Pesquisa de areias especiais para fraturamento de poços de petróleo em rochas sedimentares na bacia do Parnaíba**. [S.l.]: CPRM, 1988, 87 p.

OLIVEIRA, J.C. **Recursos gemológicos dos estados do Piauí e Maranhão**. Teresina: CPRM, 1998. (Informe de Recursos Minerais. Série Pedras Preciosas, n. 4).

OLIVEIRA, N.P.; COSTA, M.L. Os fosfatos aluminosos do Pará e do Maranhão: estágio atual de conhecimentos e estratégia para o aproveitamento econômico. *Ciência da Terra*, Rio de Janeiro, v. 10, p. 16-19, mar./abr. 1984.

REZENDE, N.G.A.M. **Argilas nobres e zeólitas na bacia do Parnaíba**: relatório final de projeto. Belém: CPRM, 1997. 31 p. il. (Informe de Recursos Minerais. Série Diversos, 2).

REZENDE, N.G.A.M. **A zona zeolítica da formação Corda, bacia do Parnaíba**. 2002. 142 f. Dissertação (Mestrado em Geologia e Geoquímica) – Universidade Federal do Pará, Belém, 2002.

REZENDE, N.G.A.M.; ANGÉLICA, R.S. Geologia das zeólitas sedimentares no Brasil. In: SCHOBENHAUS, C.; QUEIROZ, E.T.; COELHO, C. E. S. (Coord.) **Principais depósitos minerais do Brasil**: rochas e minerais industriais. Brasília, DF: DNPM; CPRM, 1997. p. 193-209. v. IV, parte B.

RIBEIRO, J.A.P.; MELO, F.; VERÍSSIMO, L.S. **Barra do Corda, folha SB.23-X-B**: estados do Piauí e Maranhão: escala 1:250.000. Brasília, DF: CPRM, 1998. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil (PLGB).

RODRIGUES, T.L. das N. et al. (Org.). **Bacabal, folha SB.23-X-A**: estado do Maranhão. Brasília, DF: CPRM, 1994a. 124 p. il. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil (PLGB). Programa Grande Carajás.

RODRIGUES, T.L. das N. (Org.). **São Luís, folha SA.23-Z-A; Cururupu, folha SA.23-X-C**: estado do Maranhão. Brasília, DF: CPRM, 1994b. 185 p. il. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil (PLGB). Programa Grande Carajás.

SHINZATO, M.C. Remoção de metais pesados em solução por zeólitas naturais: revisão crítica. **Revista do Instituto Geológico**, São Paulo, v. 27-28, n. 1/2, p: 65-78, 2007.

SILVEROL, A.C.; TOLEDO, M.C.M.; BENEDITO, D.S.; PROCHNOW, L.I. Caracterização e avaliação da eficiência agrônômica dos compostos organofosfatados obtidos pelo processo Humifert. In: **Congresso Brasileiro de Geologia**, 43., 2006, Aracaju. **Anais...** Aracaju: SBG, 2006. p. 146.

VILLAS BOAS, J.M.; ARAUJO, C.C. (Coord.). **Acailândia, folha SB.23-V-A**: estados do Pará e Maranhão. Escala 1:250.000. Brasília, DF: CPRM, 1999. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil (PLGB). 1 CD-ROM.

8

RECURSOS ENERGÉTICOS FÓSSEIS

Juliana Ribeiro Vieira (*jrveira@anp.gov.br*)
Eliane Petersohn (*epetersohn@anp.gov.br*)
Marina Abelha (*maafferreira@anp.gov.br*)

ANP – Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis

SUMÁRIO

Introdução	109
Petróleo	109
Bacia do Parnaíba	109
Bacia de São Luís.....	111
Bacia do Pará-Maranhão	111
Bacia de Barreirinhas.....	111

INTRODUÇÃO

O estado do Maranhão possui potencial petrolífero altamente promissor, caracterizado pela presença das bacias sedimentares do Parnaíba, de São Luís, Barreirinhas e Pará-Maranhão (Figura 8.1). Essas últimas são classificadas como bacias de fronteira exploratória, pois constituem áreas ainda pouco exploradas e pouco conhecidas.

PETRÓLEO

Atualmente, a Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) monitora 26 concessões exploratórias (Figura 8.2), além de dois campos de petróleo (classificados como marginais) localizados na porção terrestre da Bacia de Barreirinhas.

Ao longo da história da exploração petrolífera das bacias sedimentares inseridas no estado do Maranhão, foi sendo adquirido um conjunto significativo de dados geológicos e geofísicos (levantamentos de métodos potenciais, geoquímicos, sísmicos e poços) (Figuras 8.3 e 8.4). No entanto, esse quantitativo é ainda insuficiente para comprovar o potencial dessas bacias.

A ANP, por meio de seu Plano Plurianual de Estudos de Geologia e Geofísica (PPA), vem investindo sistematicamente na aquisição de novos dados nas bacias de fronteira exploratória, especialmente nas bacias terrestres. Na Bacia do Parnaíba, por exemplo, os investimentos totais superam R\$ 200 milhões. Desde 2007, foram concluídos três projetos, incluindo aerolevanteamento geofísico, levantamento sísmico 2D e levantamento geoquímico. Em 2011, foi contratado novo levantamento sísmico 2D (Figura 8.5).

BACIA DO PARNAÍBA

A Bacia Sedimentar do Parnaíba localiza-se na porção nordeste do Brasil e abrange área aproximada de 680.000 km², distribuída pelos estados do Maranhão, Piauí, Tocantins e pequena parte pelos estados do Pará, Ceará e Bahia.

É preenchida por rochas sedimentares siliciclásticas associadas a vulcanis-



Figura 8.1 - Mapa de localização do estado do Maranhão, com indicação das bacias sedimentares terrestres e marítimas.



Figura 8.2 - Mapa de localização do estado do Maranhão, com indicação dos blocos exploratórios em concessão nas bacias sedimentares do Parnaíba, Pará-Maranhão e Barreirinhas.

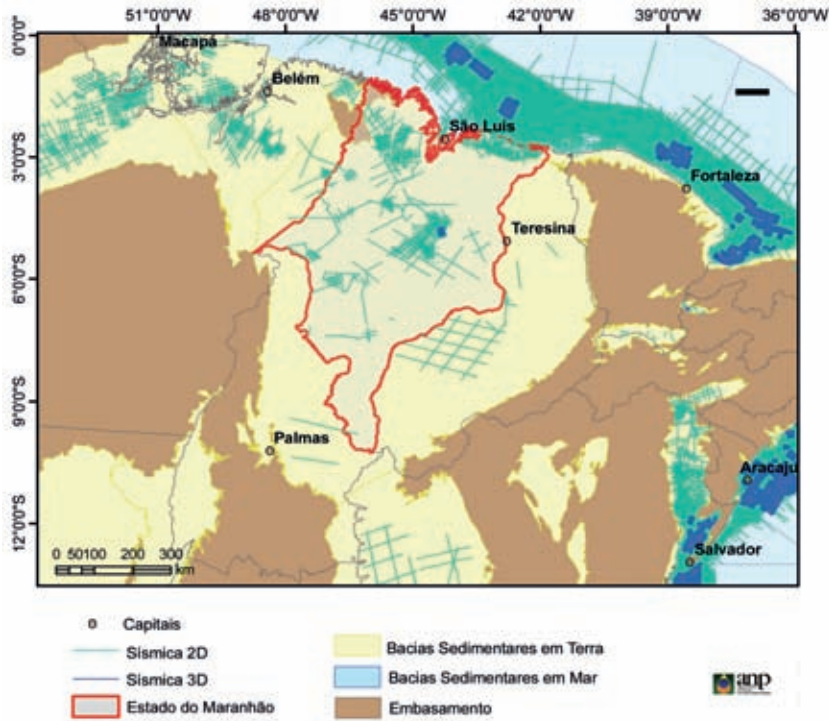


Figura 8.3 - Mapa de localização do estado do Maranhão, com indicação dos levantamentos sísmicos 2D e 3D realizados nas bacias sedimentares do Parnaíba, São Luís, Pará-Maranhão e Barreirinhas.

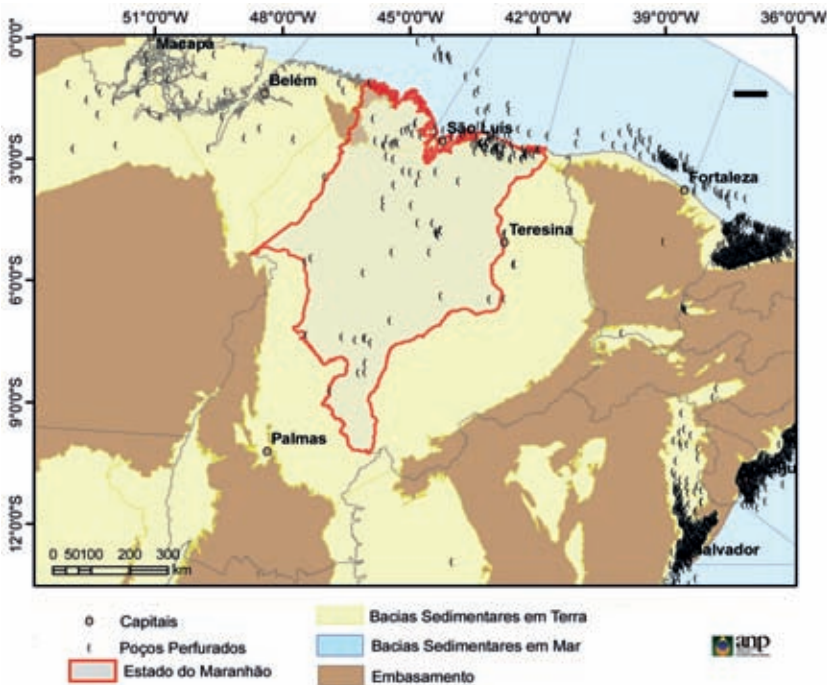


Figura 8.4 - Mapa de localização do estado do Maranhão, com indicação dos poços perfurados nas bacias sedimentares do Parnaíba, São Luís, Pará-Maranhão e Barreirinhas.

mo e intrusões básicas, constituindo unidades depositadas do Siluriano ao Cretáceo. Abriga em seu depocentro um pacote sedimentar-magmático da ordem de 3.500 m de espessura, incluindo horizontes com características de rochas geradoras e outros com atributos de reservatório.

Possui sistemas petrolíferos comprovados e potenciais para a geração de gás natural de origem termogênica comprovada.

A atividade exploratória na bacia é subdividida em quatro fases. A primeira iniciou na década de 1950, com mapeamentos geológicos de superfície, levantamentos gravimétricos e magnetométricos, levantamentos sísmicos e perfuração de dois poços exploratórios. A segunda fase se desenvolveu com a criação da Petrobras (1956 a 1966), quando foram realizados novos mapeamentos de superfície, levantamentos gravimétricos e sísmicos e perfuração de 29 poços exploratórios. A terceira fase é caracterizada pelos contratos de risco (1975 a 1988), com novos trabalhos sísmicos, levantamentos aerogeofísicos e perfuração de sete poços exploratórios. A quarta fase exploratória da bacia iniciou em 1998, após a criação da ANP, com os trabalhos de fomento da Agência e com as rodadas de licitação. Atualmente, a bacia contempla um total de 48 poços exploratórios.

A Bacia do Parnaíba é classificada como bacia de fronteira exploratória, ainda pouco conhecida, porém promissora, em função de vários indícios de petróleo e gás natural constatados nos poços perfurados; anomalias de geoquímica de superfície; presença de exsudações de gás natural; recentes descobertas de gás identificadas na bacia.

Em 2010, perfurações na seção devoniana do bloco exploratório PN-T-68, arrematado na Rodada 9 (2008), levaram à descoberta comercial de gás natural na Bacia do Parnaíba. Foi declarada a comercialidade dos campos de gás de Gavião Azul, que se encontra na etapa de desenvolvimento, e Gavião Real (já está em produção).



Figura 8.5 - Mapa de localização da bacia do Parnaíba, com indicação dos levantamentos geológicos e geofísicos realizados (e em andamento) pela ANP (destaque para o estado do Maranhão).

BACIA DE SÃO LUÍS

A Bacia de São Luís, exclusivamente terrestre, localiza-se no nordeste brasileiro, compreendendo parte do noroeste do estado do Maranhão e nordeste do estado do Pará. Possui área aproximada de 19.000 km².

Abriga, em seu depocentros, pacote sedimentar da ordem de 4.000 m de espessura. É preenchida por sedimentos mesocenoicos predominantemente clásticos.

A Bacia de São Luís também é classificada como bacia de fronteira exploratória, porém, com potencial petrolífero promissor. Possui 18 poços perfurados. A bacia possui potencial para geração de óleo e gás natural.

BACIA DO PARÁ-MARANHÃO

A Bacia do Pará-Maranhão está localizada na Margem Equatorial Brasileira, no litoral dos estados do Pará e Maranhão, totalizando área de 92.890 km² (até a cota batimétrica de 3.000 m).

Apresenta três estágios evolutivos (rifte, transicional e drifte), sendo preenchida por sedimentos siliciclásticos e carbonáticos, com vulcanismo associado, constituindo unidades depositadas do Neoptiano ao Recente.

Possui sistemas petrolíferos comprovados e potenciais para geração de óleo leve. No entanto, está em estágio

de conhecimento geológico ainda incipiente, sendo classificada como bacia de fronteira exploratória. Contudo, apresenta potencial petrolífero altamente promissor, com numerosos indícios de petróleo registrados nos poços já perfurados.

A exploração teve início na década de 1970, com levantamentos geofísicos (gravimétricos e magnetométricos) em grande parte da bacia e aquisição de dados sísmicos. O primeiro poço (1MAS 0005 MA), perfurado em 1978, foi classificado como produtor subcomercial de óleo. Até o momento, 33 poços já foram perfurados na bacia, resultando em cinco poços produtores subcomerciais de petróleo; um produtor subcomercial de gás natural e condensado; um produtor subcomercial de gás e um descobridor de campo (1PAS 0011 PA), que finalizou produção em 1984. Os óleos identificados são leves de excelente qualidade (de até 44° API), corroborando o potencial dessa bacia.

Além dos indícios identificados, o potencial da Bacia do Pará-Maranhão é corroborado pelo sucesso exploratório da Margem Equatorial Africana e a recente descoberta de Zayedus na

Guiana Francesa, correlatos às bacias da Margem Equatorial Brasileira.

Atualmente a Bacia do Pará-Maranhão possui 12 blocos exploratórios em concessão, um bloco da 3ª Rodada (2001); dois blocos da 6ª Rodada (2004) e nove blocos da 9ª Rodada (2007), totalizando 4.102 km² de área concedida.

Nesses blocos, as concessionárias vêm investindo na aquisição de novos dados e na perfuração de poços exploratórios.

BACIA DE BARREIRINHAS

A Bacia de Barreirinhas situa-se na Margem Equatorial Brasileira, no litoral do estado do Maranhão. Possui área de 54.710 km², dos quais 8.880 km² em terra e 45.830 km² em mar (até a cota batimétrica de 3.000 m). Limita-se, a noroeste, com a Bacia do Pará-Maranhão; a oeste, com a Bacia de São Luís; a sul com a Bacia do Parnaíba pelo Arco Ferrer-Urbano Santos; a leste, com a Bacia do Ceará.

A evolução geológica é caracterizada por três seqüências evolutivas: intracratônica, rifte e drifte, sendo preenchida por sedimentos siliciclásticos e carbonáticos, com vulcanismo associado, constituindo unidades depositadas do Devoniano ao Recente.

A atividade exploratória é marcada por três ciclos exploratórios. O primeiro e principal ciclo exploratório

da bacia teve início em 1959, quando foi perfurado o primeiro poço (2 HCST 0001 MA). As atividades de perfuração e levantamentos geofísicos seguiram até 1975, sobretudo na parte emersa da bacia, com a perfuração da maior parte dos poços hoje existentes. O segundo ciclo exploratório (1980 e 1988) é caracterizado por novos levantamentos de métodos potenciais e de sísmica terrestre e marinha, além da perfuração de 34 poços (terrestres e marítimos). Após a criação da ANP, iniciou-se o terceiro ciclo exploratório da bacia, com as atividades das concessionárias dos blocos exploratórios. Foram realizadas novas prospecções sísmicas e perfuração de dois poços em águas profundas.

A Bacia de Barreirinhas possui duas acumulações de óleo (Espigão e Oeste Canoas), arrematadas na Segunda Rodada de Campos Marginais. Essas acumulações são de

gás natural e estão localizadas na porção terrestre da bacia. Essas áreas estão no período de avaliação e os concessionários estão cumprindo o Programa de Trabalho Inicial (PTI).

Atualmente, quatro blocos exploratórios estão em concessão, sendo um bloco da 3ª Rodada (2001), um da 4ª Rodada (2002), um da 5ª Rodada (2003) e um bloco da 6ª Rodada (2004), totalizando área em concessão de 2.307 km².

A Bacia de Barreirinhas ainda não possui descobertas comerciais. Contudo, para a porção marítima da bacia, as expectativas são muito promissoras, onde se espera o mesmo sucesso exploratório das margens correlatas na África e na América do Sul. O potencial da bacia é corroborado pelos resultados dos poços perfurados (atualmente, dos 94 poços existentes na bacia, 34 apresentam indícios de hidrocarbonetos).

9

ATRATIVOS GEOTURÍSTICOS, POLOS TURÍSTICOS E UNIDADES DE CONSERVAÇÃO

Iris Celeste Nascimento Bandeira (*iris.bandeira@cprm.gov.br*)

Marcelo Eduardo Dantas (*marcelo.dantas@cprm.gov.br*)

CPRM – Serviço Geológico do Brasil

SUMÁRIO

Introdução	115
Principais Atrativos Geoturísticos	115
Sítio Geológico	116
Geoparques	116
Patrimônio Paleontológico	117
Patrimônio Espeleológico	118
Patrimônio Geomorfológico	122
Patrimônio Geomineiro	122
Polos Turísticos e Atrativos Geoturísticos	122
Polo Amazônia Maranhense	122
Polo Floresta dos Guarás	123
Polo São Luís	124
Polo Lagos e Campos Floridos	125
Polo Munim	125
Polo Parque dos Lençóis	126
Polo Delta das Américas	127
Polo Cocais	129
Polo Serras Guajajara, Timbira e Kanela	129
Polo Chapada das Mesas	129
Unidades de Conservação	130
Referências	130

INTRODUÇÃO

As paisagens atuais, que admiramos e utilizamos como atrativos turísticos, são resultados de processos geológicos atuantes ao longo do tempo. As rochas e o relevo, além de sua importância científica, formam o substrato sobre o qual se desenvolve toda a vida no planeta (NASCIMENTO et al., 2008). Com base nessa perspectiva, originou-se um novo conceito de turismo que tem o patrimônio geológico-geomorfológico como seu principal atrativo e busca sua proteção por meio da conservação de seus recursos e da sensibilização do turista, com informações sobre a origem desse patrimônio (RUCHKYS, 2007).

Esse novo conceito de turismo natural tem como atrativos parques geológicos; afloramentos rochosos (ígneos, metamórficos e sedimentares); depósitos sedimentares recentes; cachoeiras; cavidades naturais; sítios fossilíferos; paisagens geomorfológicas; fontes termais; minas inativas e outros sítios geológicos, que, associados a características ecológicas, arqueológicas ou histórico-culturais aumentam o potencial turístico de determinada área.

Em função de seu valor científico e econômico, o levantamento do patrimônio geoturístico de uma região é de grande importância para a sociedade, pois contribui

para o desenvolvimento das atividades de preservação, conservação e sustentabilidade, aliadas ao lazer e à educação, por meio da exposição dos estudos geocientíficos de maneira compreensível ao público leigo (SILVA, 2008).

O conceito de geoturismo está intimamente atrelado ao conceito de geodiversidade, este consagrado por Gray (2004) como “a diversidade natural entre aspectos geológicos, do relevo e dos solos”, abrangendo o sistema abiótico em sua integridade. Cada cenário da diversidade natural (ou paisagem natural) estaria em constante dinâmica por meio da atuação de processos de natureza geológica, biológica, hidrológica e atmosférica. Um expressivo número de autores (BRILHA, 2005; KOZLOWSKI, 2004; PETRISOR; SARBU, 2010; SERRANO; RUIZ-FLAÑO, 2007; SHARPLES, 2002), com diferentes olhares, estende sua aplicação aos estudos de planejamento territorial, ainda que com ênfase em geoconservação e geoturismo, além de abranger, em certa medida, sua componente biótica, ou seja, a biodiversidade.

PRINCIPAIS ATRATIVOS GEOTURÍSTICOS

O estado do Maranhão apresenta alto potencial geoturístico (Figura 9.1), pois abrange grande parte da Bacia

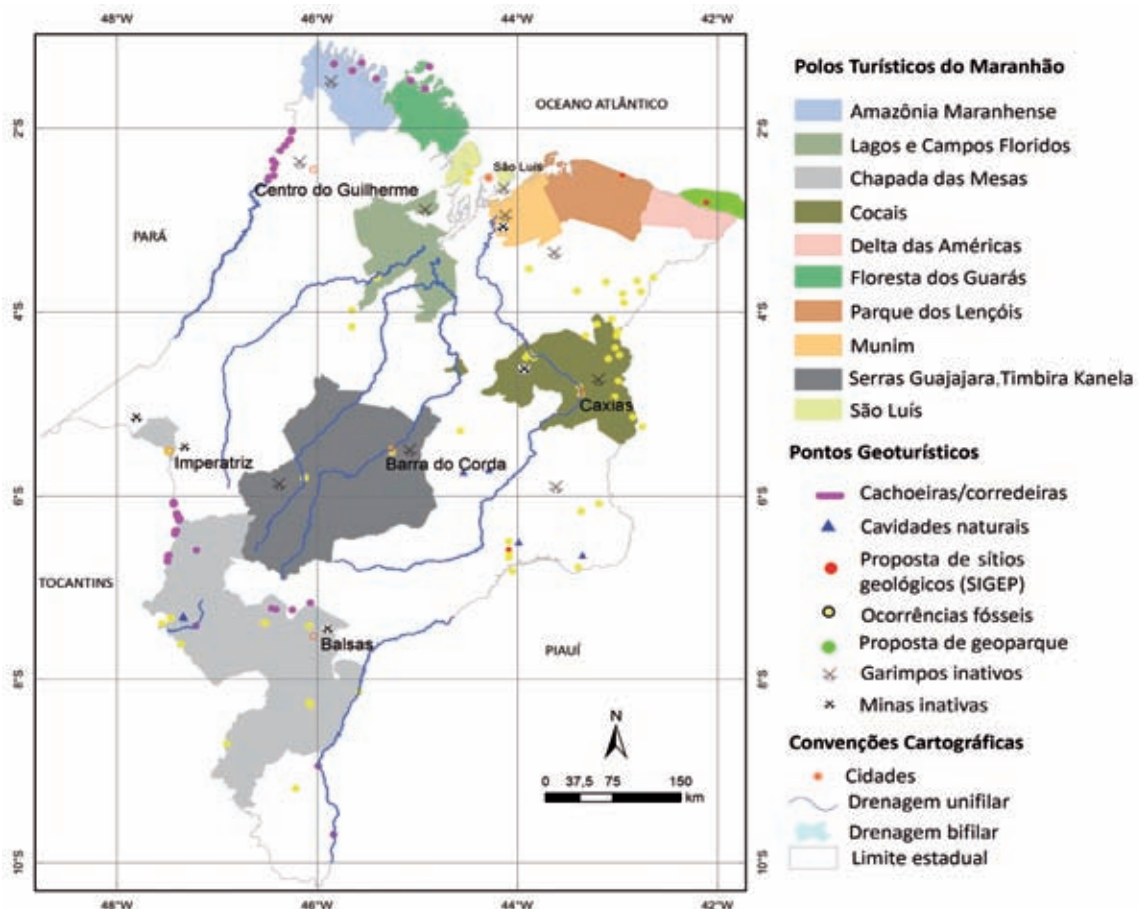


Figura 9.1 - Localização dos polos turísticos e principais atrativos geoturísticos do estado do Maranhão. Fonte: Modificado de Bandeira et al. (2013).

Sedimentar do Parnaíba, unidade geotectônica constituída por sítios fossilíferos, formas de relevo de grande beleza paisagística, cachoeiras, corredeiras, piscinas naturais e afloramentos rochosos que descrevem a história geológica dessa bacia do Paleozoico ao Mesozoico. O estado possui, ainda, rochas pré-cambrianas com potencial para geoturismo mineiro e feições e depósitos sedimentares recentes, do Quaternário, que proporcionam belas paisagens, como praias, campos de dunas, planícies fluviais com potencial para balneários, depósitos fluviolagunares recobertos por extensos lagos da Baixada Maranhense e mangues, constituindo-se em áreas favoráveis ao turismo ecológico.

Sítio Geológico

Sítio geológico ou geossítio é a exposição natural ou artificial de um ou mais elementos da geodiversidade, bem delimitado geograficamente, que apresenta valor singular do ponto de vista científico, pedagógico, cultural ou turístico, seja por seus aspectos geomorfológicos, paleontológicos, paleoambientais, sedimentológicos, ígneos, metamórficos, estratigráficos, minerários, espeleológicos, seja pela história geológica do lugar. O conjunto de geossítios inventariados e caracterizados constitui o patrimônio geológico de uma região (BRILHA, 2005).

Para que determinado monumento natural se torne um geossítio, é necessário um estudo técnico-científico detalhado, que comprove a sua singularidade, importância na caracterização de processos geológicos, expressão cênica, bom estado de conservação, acesso viável e existência de mecanismos ou possibilidade de criação que lhe assegure condições de preservação, conservação e manutenção. Esse estudo será avaliado pela Comissão Brasileira de Sítios Geológicos e Paleobiológicos (SIGEP) e, se bem fundamentado, será aprovado e cadastrado por essa comissão, que é representada pelas seguintes instituições: Academia Brasileira de Ciências (ABC), Associação Brasileira para Estudos do Quaternário (ABEQUA), Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM), Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (IPHAN), Petróleo Brasileiro S.A. (PETROBRAS), Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais/Serviço Geológico do Brasil (CPRM/SGB), Sociedade Brasileira de Espeleologia (SBE), Sociedade Brasileira de Geologia (SBG) e Sociedade Brasileira de Paleontologia (SBP).

Os geossítios aprovados são amplamente divulgados na Internet e em diversas publicações técnico-científicas, com o objetivo de fomentar ações preservacionistas e conservacionistas imediatas, principalmente os sítios que estão em risco ou em processo de depredação, ou mesmo em extinção, encaminhando-se exemplares das referidas publicações a representantes de governos municipais e estaduais e órgãos executivos encarregados da conservação de tais áreas.

No Maranhão há dois sítios aprovados, conforme Inventário de Geossítios do Brasil (SIGEP, 2012): (i) Lençóis Maranhenses e Delta do Parnaíba, PI e MA; (ii) Vertebrados Permianos de Pastos Bons, MA (Formação Geológica Pedra de Fogo; unidade geológico-ambiental DSVMPasac), no município de Pastos Bons, onde foi encontrado um dos maiores exemplares de anfíbio fóssil do Permiano (PRICE, 1948). Há, ainda, sugestão preliminar para o sítio Astroblema de Riachão, MA, com diâmetro de 4,5 km e núcleo central soerguido de 1 km de diâmetro.

Entretanto, como o estado apresenta contexto paleontológico, geomorfológico e sedimentológico diversificado, é provável que existam outros sítios com potencial de estudo para serem classificados e inseridos no cadastro nacional de geossítios, como o grande acervo de fósseis bivalves, icnofósseis, palinóforos, algas, gastrópodes, ostracóides, gimnospermas, angiospermas (madeira petrificada), insetos, peixes, répteis, anfíbios, aves, dentre outros fósseis indicativos dos mais diversos ambientes. Destacam-se, ainda, as cachoeiras e corredeiras da Chapada das Mesas e formações rochosas exibindo estratificações cruzadas de grande porte, formadas em ambiente desértico com mais de 200 milhões de anos, assim como outras unidades geológicas que mostram estruturas e texturas geológicas.

Geoparques

De acordo com CPRM/SGB (<http://www.cprm.gov.br/>), “a geologia e a paisagem influenciaram profundamente a sociedade, a civilização e a diversidade cultural de nosso planeta, mas, até poucos anos atrás, não havia o reconhecimento internacional do patrimônio geológico de importância nacional ou regional e não havia especificamente uma convenção internacional sobre o patrimônio geológico. A iniciativa da UNESCO [United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization/Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura] de apoiar a criação de geoparques responde à forte demanda expressa por muitos países através de uma rede global [Rede Global de Geoparques] no sentido de aumentar o valor do patrimônio da Terra, suas paisagens e formações geológicas, que também são testemunhas-chave da história da vida”.

Segundo definição da UNESCO, geoparque é uma região com limites bem definidos, envolvendo um número de sítios do patrimônio geológico-paleontológico de importância científica, raridade ou beleza, não apenas por razões geológicas, como também em virtude de seu valor arqueológico, ecológico, histórico e/ou cultural. Deve representar um território suficientemente grande para gerar atividade econômica, notadamente por meio do turismo.

A proposta de geoparque pode ser elaborada em parceria com instituições federais, estaduais ou municipais ou com o apoio de universidades e instituições privadas e submetida à avaliação de especialistas da UNESCO.

O Projeto Geoparques (disponível em: <<http://www.cprm.gov.br/>>), criado pela CPRM/SGB, tem o objetivo de

identificar, classificar, descrever, catalogar, georreferenciar e divulgar os parques geológicos do Brasil, bem como definir diretrizes para seu desenvolvimento no âmbito da sustentabilidade. Nesse projeto constam 28 propostas de geoparques finalizadas pela CPRM/SGB que aguardam resposta da UNESCO.

A partir de 2012, a CPRM/SGB iniciou estudos de novas áreas para geoparques, dentre elas o Delta do Parnaíba. Essa região, caracterizada por um ambiente deltaico de interface entre os sistemas sedimentares fluviais e marinhos, apresenta diversificado conjunto de feições deposicionais de origens fluvial, fluviomarinha, eólica e marinha, com marcante domínio das planícies fluviomarinhas e mangues. Caracteriza-se como área de crescente aproveitamento turístico, onde estratégias de desenvolvimento sustentável podem e precisam ser inseridas e fomentadas (BARROS, 2012).

Patrimônio Paleontológico

Paleontologia é a ciência que estuda os restos de animais e vegetais ou de evidências das atividades desses organismos que ficaram preservados em rochas sedimentares, denominados “fósseis” (TEIXEIRA et al., 2000). Esse patrimônio fossilífero é importante por representar monumentos únicos da história geológica da Terra, possibilitando

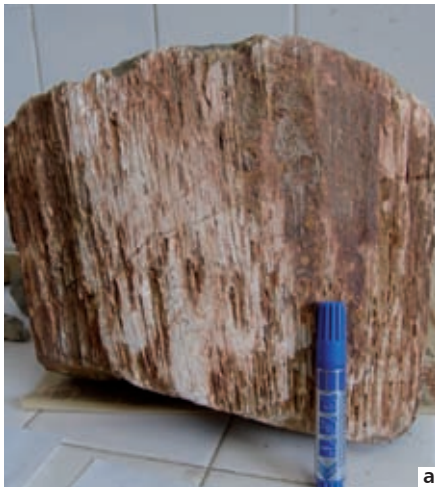


Figura 9.2 - Perfil longitudinal (a) e corte transversal (b) de tronco silicificado (*Psaronius brasiliensis*), com cerca de 270 milhões de anos, encontrado no município de Balsas (MA).
Fonte: Fabriciana Vieira Guimarães.

a compreensão de catástrofes ecológicas, transformações ambientais, evolução dos seres vivos e do próprio significado da vida em nosso planeta (CARVALHO; ROSA, 2008).

O turismo paleontológico pode ser realizado por museus, parques, rotas turísticas e escavações guiadas, possibilitando a conexão entre a preservação e o desenvolvimento econômico regional (CARVALHO; ROSA, 2008).

Devido a grande parte de seu território estar inserida na Bacia Sedimentar do Parnaíba, o Maranhão apresenta alto potencial paleontológico, pois abrange diversos tipos de fósseis (Figuras 9.2 a 9.6), com diferentes idades e em vários locais do estado (Quadros 9.1 a 9.5).

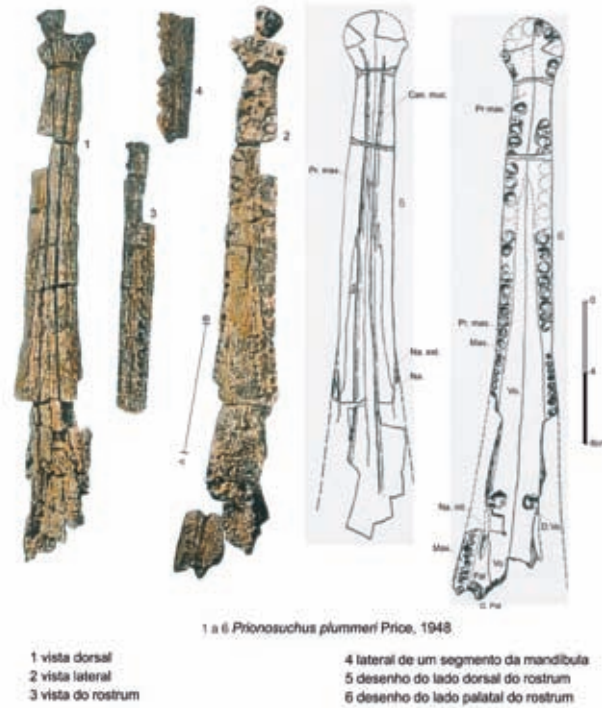


Figura 9.3 - Anfíbios gigantes, que jazem em rochas sedimentares da formação Pedra de Fogo, de idade permiana, encontrados 6 km ao sul da cidade de Pastos Bons (MA).
Fonte: Price, 1948 apud Santos e Carvalho (2009).

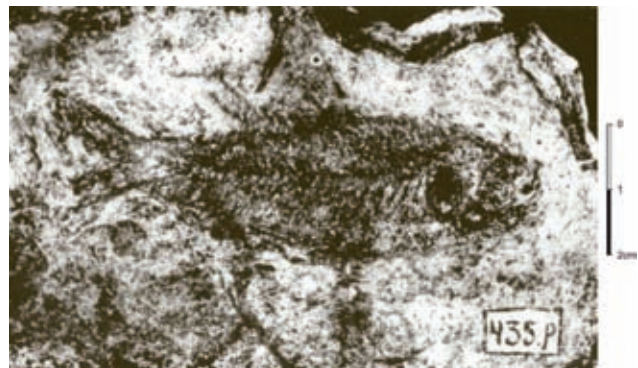


Figura 9.4 - Fóssil de peixe do período Cretáceo, localizado na pedra Umburanas, município de Brejo (MA).
Fonte: Santos, 1994 apud Santos e Carvalho (2009).



Figura 9.5 - Pegada de dinossauro do período Cretáceo, na localidade Ponta da Guia, município de São Luís (MA)
 Fonte: Santos, 1994 apud Santos e Carvalho (2009).



Figura 9.6 - Vértebra caudal de dinossauro. Lage do Coringa, ilha do Cajual (MA). Fonte: Oliveira Junior (2009).

Patrimônio Espeleológico

Conforme Resolução CONAMA nº 347 (BRASIL, 2004), patrimônio espeleológico é “o conjunto de elementos bióticos e abióticos, socioeconômicos e histórico-culturais, subterrâneos ou superficiais, representados pelas cavidades naturais subterrâneas ou a estas associadas”, definindo, por sua vez, cavidade natural subterrânea como “todo e qualquer espaço subterrâneo penetrável pelo ser humano, com ou sem abertura identificada, popularmente conhecido

como caverna, gruta, lapa, toca, abismo, fuma e buraco, incluindo seu ambiente, seu conteúdo mineral e hídrico, as comunidades bióticas ali encontradas e o corpo rochoso onde elas se inserem, desde que a sua formação tenha sido por processos naturais, independentemente de suas dimensões ou do tipo de rocha encaixante”.

De acordo com o Centro Nacional de Estudo, Proteção e Manejo de Cavernas (CECAV), o estado do Maranhão contém oito ocorrências espeleológicas distribuídas em cinco municípios (Quadro 9.6) (Figura 9.7).

Quadro 9.1 - Principais ocorrências em afloramentos de fósseis do Carbonífero (Pensilvaniano) no estado do Maranhão.

Fósseis	Formação Geológica	Período Geológico	Localização	Coordenadas
Restos de vegetais	Piauí	Carbonífero (Pensilvaniano)	Cachoeira do rio Itapecuru, cerca de 45 km da cidade de Carolina.	
Conchostráceos e restos de peixes			Barranco do rio Tocantins.	07°20'S-47°28'W
Restos vegetais			Margem direita do rio Tocantins, próximo à localidade de Patos.	
Vegetais	Poti		Km 23 da rodovia Barão do Grajaú, BR-230.	
Palinomorfos, vegetais e peixes			Margem direita do rio Manuel Alves Grande, próximo à barra do rio Sereno.	07°36'S-47°21'W
Vegetais			Rio Tocantins, 50 km a montante da cidade de Carolina.	07°41'S-47°41'W
Peixes			Estrada São João dos Patos-Limpeza.	

Fonte: Modificado de Santos e Carvalho (2009).

Quadro 9.2 - Principais ocorrências em afloramentos de fósseis no Permiano no estado do Maranhão.

Fósseis	Formação Geológica	Período Geológico	Localização	Coordenadas
Peixes	Pedra de Fogo	Permiano	Estrada São Domingos-Benedito Leite, 16 km ao sul de São Domingos.	
Vegetais			Riacho Salobro, em Benedito Leite.	07°10'S-44°20'W
Madeira fóssil, ostracoides, peixes e anfíbios			Fazenda Testa Branca, 15 km a leste de Balsas.	07°23'S-46°31'W
Vegetais (tronco fóssil)			Morro do Corró, 3 km a sul de Carolina, rodovia Carolina-Riachão.	7°19.800'S-47°27.600'W
Peixes			Oeste de Laje Grande, em Carolina	7°20.000'S-47°28.000'W
Fragmentos de tronco petrificado			Pedro Afonso, sul de Carolina.	08°57'S-48°10'W
Madeiras de coníferas			Fazenda União, em Codó.	
Madeira de dicotiledôneas			15 km ao norte de Coelho Neto.	
Madeira de dicotiledôneas			Fazenda do Coelho, norte de Grajaú.	
Madeiras			Fazenda Monte Alegre, em Grajaú.	
Peixes			Estrada Pastos Bons-Nova Iorque.	06°49'S-44°03'W
Madeira fóssil			Localidade Malhada Areia, Fazenda Bom Sucesso, em São João dos Patos.	06°46'S-43°23'W
Madeira petrificada			Carnaúba de Pedra, em Timom.	05°02'S-42°55'W
Tronco fossilizado			Rio Tocantins, em frente à barra do rio Manoel Alves Grande.	7°23.500'S-47°33.000'W
Tronco e plantas fósseis			Fazenda do Torto, 9 km de Grajaú; Ponta Vermelha, São Venâncio e Porteira; arredores de Grajaú.	5°48.600'S-46°7.800'W

Fonte: Modificado de Santos e Carvalho (2009).

Quadro 9.3 - Principais ocorrências em afloramentos de fósseis do Cretáceo (Barremiano) no estado do Maranhão.

Fósseis	Formação Geológica	Período Geológico	Localização	Coordenadas
Palinomorfos, conchostráceos, ostracoides	Corda	Cretáceo	1,8 km ao sul e 4,2 km a oeste de Montes Altos.	05°50'S-47°03'W
Palinomorfos, ostracoides		Cretáceo	2 km a nordeste de Porto Franco, estrada para Grajaú.	06°08'S-46°45'W
Palinomorfos e ostracoides	Pastos Bons	Cretáceo (Barremiano)	9 km do rio Pedra de Fogo, estrada de Nova Iorque-Orozimbo.	06°38'S-43°56'W
Peixes			Arraial Nazaré, 6 km a oeste de Lajes e a 33 km de Passagem Franca.	
Palinomorfos e ostracoides			25,8 km ao norte de Pastos Bons, estrada para Feira da Várzea.	06°35'S-44°15'W
Peixes			Cerca de 20 km de Limpeza, em São João dos Patos.	

Fonte: Modificado de Santos e Carvalho (2009).

Quadro 9.3 - Principais ocorrências em afloramentos de fósseis do Cretáceo (Barremiano) no estado do Maranhão.

Fósseis	Formação Geológica	Período Geológico	Localização	Coordenadas
Palinomorfos, conchostráceos, ostracoides	Corda	Cretáceo	1,8 km ao sul e 4,2 km a oeste de Montes Altos.	05°50'S-47°03'W
Palinomorfos, ostracoides		Cretáceo	2 km a nordeste de Porto Franco, estrada para Grajaú.	06°08'S-46°45'W
Palinomorfos e ostracoides	Pastos Bons	Cretáceo (Barremiano)	9 km do rio Pedra de Fogo, estrada de Nova Iorque-Orozimbo.	06°38'S-43°56'W
Peixes			Arraial Nazaré, 6 km a oeste de Lajes e a 33 km de Passagem Franca.	
Palinomorfos e ostracoides			25,8 km ao norte de Pastos Bons, estrada para Feira da Várzea.	06°35'S-44°15'W
Peixes			Cerca de 20 km de Limpeza, em São João dos Patos.	

Fonte: Modificado de Santos e Carvalho (2009).

Quadro 9.4 - Principais ocorrências em afloramentos de fósseis do Cretáceo (Aptiano/Albiano) no estado do Maranhão.

Fósseis	Formação Geológica	Período Geológico	Localização	Coordenadas
Vegetais, conchostráceos e ostracoides	Codó	Cretáceo (Aptiano/Albiano)	15 km ao norte de Sítio Novo, estrada para a cidade de Amarante do Maranhão.	05°45'S-46°39'W
Peixes			Fazenda Santa Alice, localidade de Caiara, município de Brejo.	3°46.800'S-42°45.767'W
Palinomorfos			Sondagem da Fábrica de Cimento Itapecuru, distando 22 km a oeste da cidade de Codó.	
Ostracoides e conchostráceos			1,5 km ao sul de Sítio Novo, estrada carroçável.	05°54'S-46°43'W
Insetos, peixes			16 km ao longo da margem direita do rio Mearim, nordeste da cidade Barra do Corda.	05°30'S-45°15'W
Peixes			Pedrinhas e arredores de Barra do Corda.	45°15'W-5°30'S
Vegetais			Pedreira de Umburanas, margem esquerda do rio Paranaíba, 13 km a sudoeste de Brejo.	3°37.800'S-42°38.400'W
Palinomorfos, bivalves, gastrópodes, ostracoides e equinoides			Lagoa, próximo à cidade de Chapadinha.	3°46.483'S-43°24.200'W
Vegetais, conchostráceos e peixes			Livramento/igarapé ou riacho do Inferno.	04°37'S-44°03'W
Peixes			Margem direita do rio Itapecuru, entre Fazenda City e Fazenda Cascavel, entre as cidades de Codó e Timbiras.	
Vegetais, conchostráceos e peixes			Santo Antônio, Porto Novo, margens do riacho Gameleira, Fábrica de Cimento Nassau e arredores de Codó.	04°30'S-43°50'W
Madeira petrificada, ostracoides, conchostráceos			18 km de Imperatriz, caminho para Montes Altos.	
Palinomorfos, gastrópodes, bivalves, ostracoides			Km 17, estrada para D. Pedro, próximo à entrada de Santo Antônio dos Lopes.	

Fonte: Modificado de Santos e Carvalho (2009).

Quadro 9.5 - Principais ocorrências em afloramentos de fósseis do Cretáceo (Albiano) no estado do Maranhão.

Fósseis	Formação Geológica	Período Geológico	Localização	Coordenadas
Palinomorfos e icnofósseis	Itapecuru	Cretáceo (Albiano)	Margens direita e esquerda do rio Itapecuru, norte de Itapecuru-Mirim.	
Algas, icnofósseis, bivalves, ostracoides, peixes, crocodilos			Estrada Pirapema-Cantanhede.	
Foraminíferos, ostracoides e peixes			BR-316, a 13,5 km a noroeste do cruzamento com o rio Pindaré, divisa dos municípios de Bom Jardim e Monção.	03°35'S-45°35'W
Bivalves, peixes, crocodilos e dinossauros			Margem direita do rio Itapecuru, próximo à ponte da rodovia BR-222.	
Palinomorfos, bivalves, conchostráceos, peixes, crocodilos e dinossauros			Margem esquerda do rio Itapecuru, norte de Cantanhede.	
Icnofósseis, bivalves, gastrópodes, conchostráceos, peixes, restos de dinossauros			Margem esquerda do rio Itapecuru, distante 3 km de Igarapé da Mata.	
Vegetais, peixes, pegadas de dinossauros			Praia Baronesa/ilha do Livramento, litoral de Alcântara.	
Vegetais, gastrópodes, peixes, restos de dinossauros	Alcântara		Ilha do Cajual/ilha de Itaúna.	2°28.717'S-44°28.167'W
Icnofósseis, peixes, répteis			Ilha do Medo/Ponta da Guia/Baía de São Marcos.	
Palinomorfos, peixes, vegetais, pegadas de dinossauros, icnofósseis			Ponta Grossa/Farol de São Marcos.	
Bivalves, gastrópodes, peixes, répteis			Porto de Itaqui/Ponta da Madeira.	

Fonte: Modificado de Santos e Carvalho (2009).

Quadro 9.6 - Ocorrências espeleológicas no estado do Maranhão.

Nome	Litologia	Formação Geológica	Unidade Geológico-Ambiental	Município
Gruta da Passagem Funda	Calcário	Pedra de Fogo	DSVMPasac	Carolina
Gruta do Amor	Calcário	Pedra de Fogo	DSVMPasac	Carolina
Gruta da Pedra Caída	Arenito	Sambaíba	DSVMPae	Carolina
Toca do Inferno	Arenito	Poti	DSVMPaef	Barão do Grajaú
Casa de Pedra do Zoador	Arenito ferruginoso	Corda	DSVMPaef	Pastos Bons/Colinas
Toca do Morcego	Arenito	Grajaú	DSVMPaef	São Domingos do Maranhão
Caverna Casa de Pedra	Arenito	Grajaú	DSVMPaef	São Domingos do Maranhão
Caverna Pedra Escrevida	Arenito	Grajaú	DSVMPaef	São Domingos do Maranhão
Casa Traqueira	Arenito	Grajaú	DSVMPaef	São Domingos do Maranhão

 Fonte: CECAV. Disponível em: <<http://www.icmbio.gov.br/cecav>>. Acesso em: 24 abr. 2011.



Figura 9.7 - Entrada da gruta Pedra Caída, localizada na área da Chapada das Mesas, município de Carolina (MA).

Fonte: Disponível em: <<http://www.1000dias.com/ana/?id=945&tit=Macme-cuh-tohr-toc-cym-xwa>>. Acesso em: 12 jul. 2012.

Patrimônio Geomorfológico

Com base no estudo do meio físico do estado do Maranhão, são descritos e analisados diversos cenários que constituem valioso patrimônio geomorfológico, de imenso potencial geoturístico. A região mais bem aproveitada turisticamente é a Planície Costeira do Maranhão, com múltiplas paisagens associadas a formas de relevo atuais ou subatuais de idade quaternária. Nessa região, destacam-se os Lençóis Maranhenses, caracterizados por diversificado conjunto de padrões de relevo deposicionais de origens eólica, representando a mais extensa área de sedimentação eólica de idade quaternária no Brasil e gerando complexo mosaico de feições e depósitos que mesclam campos de dunas fixas, campos de dunas móveis e lagoas interdunares. Merece destaque, também, o litoral das Reentrâncias Maranhenses, no noroeste do Maranhão, cujo contorno, recortado em rias e estuários, alterna prolongados espigões ancorados por cordões de areia que geram, à retaguarda, um ambiente de baixa energia, propício à instalação de vastos manguezais. Do mesmo modo, as planícies fluviomarinhas do Golfão Maranhense e a planície do Delta do Parnaíba apresentam áreas de grande relevância para o patrimônio geomorfológico e histórico-cultural do litoral maranhense.

O interior do estado, com formas de relevo modeladas em rochas sedimentares gonduânicas da Bacia do Parnaíba, apresenta algumas regiões de grande beleza cênica e potencial geoturístico, devendo ser integradas ao patrimônio geomorfológico do Maranhão. Merecem destaque três domínios geomorfológicos:

- Relevo de baixos conservados ou dissecados, que abrange toda a porção central do estado do Maranhão. Caracterizam-se por extensos terrenos planos das superfícies tabulares, alternados com superfícies profundamente sulcadas em vales encaixados por rede de alta densidade de drenagem.
- Conjunto de superfícies tabulares dispostas, de forma escalonada, em todo o centro-sul do estado do Maranhão, constituídas pelas chapadas das Mangabeiras, do Alto Rio Parnaíba e Alto Rio Itapecuru. Representam

superfícies planálticas de extensos topos planos e não dissecados – chapadões –, que se destacam topograficamente, por meio de escarpas rochosas, cerca de 200 m acima do nível de base regional demarcado pelas superfícies aplainadas desenvolvidas a partir da abertura dos principais vales na região e do recuo regressivo das escarpas de borda de chapada.

- Região do sudoeste do Maranhão, entre Carolina e Estreito, no médio vale rio Tocantins, vem despertando interesse geoturístico, devido à beleza cênica conferida por extensas superfícies planálticas e inúmeros platôs, mesetas e morros-testemunhos formados por processos erosivos e intempéricos.

Além de belas paisagens, os chapadões revestidos de cerrado e sua perene rede de drenagem formam escarpas com paredões rochosos subverticais e belas cachoeiras com alto potencial para turismo ecológico e de aventura, permitindo atividades como rapel, canoagem e escalada.

Observa-se, ainda, uma área no noroeste do estado, com grande potencial geoturístico, associada ao leito do rio Gurupi, que corre sobre as rochas pré-cambrianas do Cinturão Gurupi e o Cráton São Luís, formando várias corredeiras e cachoeiras, como: Lavadeira, Madalena, Jacu-recoaga, Canindé-Açu, Maria Suprema, Itapera, Mamuíra, Maguari, Omelar e Algibeira (BRASIL, 1997).

Patrimônio Geomineiro

O Maranhão apresenta alto potencial mineral, com muitas áreas a serem exploradas e outras que já tiveram seu auge na mineração (ouro, gipsita e calcário), mas que se encontram inativas. Algumas das minas/garimpos inativa(o)s possuem uma história de ocupação, exploração/exploração e geológica muito interessante cientificamente, podendo se constituir em atrativos geoturísticos.

POLOS TURÍSTICOS E ATRATIVOS GEOTURÍSTICOS

A criação de polos turísticos no Maranhão constitui-se em estratégia do governo estadual no sentido de otimizar o investimento e a concentração de produtos turísticos, visando a transformar o estado em “celeiro” de diferentes atrações, a exemplo de ecoturismo, lazer histórico, cultural, musical e folclórico (FERREIRA, 2007). Nesse sentido, foram individualizados 10 polos turísticos: Amazônia Maranhense, Floresta dos Guarás, São Luís, Lagos e Campos Floridos, Munim, Parque dos Lençóis, Delta das Américas, Cocais, Serras Guajajara, Timbira e Kanela, Chapada das Mesas (MARANHÃO, 2011).

Polo Amazônia Maranhense

O Polo Amazônia Maranhense localiza-se no noroeste do Maranhão, litoral ocidental, abrangendo os municípios de Turiaçu, Cândido Mendes, Luís Domingues, Godofredo Viana e Carutapera.

Seus principais atrativos baseiam-se na biodiversidade da mata amazônica, florestas de manguezais e na geodiversidade de mangues, rios (Figura 9.8), praias selvagens e corredeiras, assim como na cultura das comunidades quilombolas (Quadro 9.7).

Conhecida como a “Pérola do Litoral”, Turiaçu é famosa por seu abacaxi adocicado. Os municípios de Cândido Mendes, Luís Domingues, Godofredo Viana e Carutapera, em conjunto, possuem lindas praias semidesertas, ilhas belíssimas e uma fauna costeira exuberante. A região participa de uma identidade inusitada formada do entrelaçamento de tradições e manifestações culturais do Maranhão com o Pará, que vai desde a culinária a danças e festejos típicos até as expressões populares e gostos musicais (MARANHÃO, 2011).



Figura 9.8 - Orla da cidade de Carutapera, bordejada pelo rio interestadual Gurupi. Litoral das Reentrâncias Maranhenses, constituídas por sedimentos argilosos de manguê.

Quadro 9.7 - Patrimônio geológico do polo Amazônia Maranhense.

Polo Turístico	Patrimônio	Atrativos Geoturísticos	Descrição	Unidade de Conservação
Amazônia Maranhense	Atrativos geoturísticos	Praias, Igarapés, olhos d’água, Manguezais	Praias semidesertas, igarapés, corredeiras, áreas de manguê que possibilitam o turismo ecológico e de lazer.	Porção oeste da APA das Reentrâncias Maranhenses

Polo Floresta dos Guarás

O Polo Floresta dos Guarás também está localizado no litoral ocidental do estado, abrangendo os municípios de Cedral, Guimarães, Mirinzal, Serrano do Maranhão, Cururupu, Bacuri, Apicum-Açu e Porto Rico do Maranhão.

Caracteriza-se por uma área de ecoturismo em que se destacam alguns atrativos geoturísticos, como baías, igarapés (Figura 9.9), estuários e rios que deságuam em meio a manguezais, praias e ilhas desertas (Quadro 9.8). Entre os maiores atrativos, citam-se as ilhas Porto Alegre, do Peru e dos Lençóis, em Cururupu, com cenários deslumbrantes, formadas pelas praias de Caçacueira, São Lucas e Mangunça, e um banco de corais ao alcance apenas de mergulhadores profissionais.

O litoral do Polo Amazônia Maranhense e do Polo Floresta dos Guarás forma uma das maiores áreas detentoras de manguê do Brasil (SOUZA FILHO, 2005). Nesse ecossistema se alimentam e se reproduzem diversas espécies de peixes (bonito-listrado, badejo, anchova, corvina, piaú e cações), boto-cinza, peixe-boi-marinho, quelônios,



Figura 9.9 - Igarapé de águas cristalinas em meio a remanescentes da floresta amazônica, com belo cenário paisagístico e potencial para turismo recreativo e de lazer. Porto Rico do Maranhão (MA). Fonte: Marques (2011).

crustáceos, moluscos, aves costeiras (guará, garça-branca, jaçanã) e outros animais (mamíferos, teleósteos pelágicos e elasmobrânquios), de grande importância para a biodiversidade e subsistência das populações das zonas costeiras.

Quadro 9.8 - Patrimônio geológico do polo Floresta dos Guarás.

Polo Turístico	Patrimônio	Atrativos Geoturísticos	Descrição	Unidade de Conservação
Floresta dos Guarás	Atrativos geoturísticos	Praias, Banco de corais, Manguezais,	<ul style="list-style-type: none"> • Ecoturismo vinculado a praias semidesertas e bancos de corais. • Ambiente geoturístico que abriga diversificada biodiversidade florestal e faunística. 	Reserva Extrativista de Cururupu

Com base nessas características, tais regiões foram inseridas na Área de Preservação Ambiental das Reentrâncias Maranhenses em 1991 e na unidade de conservação federal Reserva Extrativista do Cururupu em 2004.

Polo São Luís

Esse polo está localizado no extremo norte do estado e abrange a capital, São Luís, a cidade-monumento Alcântara – tombada pelo Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (IPHAN) desde 1948 – e os municípios de São José de Ribamar, Paço do Lumiar e Raposa, na ilha de São Luís.

São Luís, fundada em 1612 por franceses, invadida posteriormente por holandeses, mas totalmente

construída por portugueses, é considerada a capital mais antiga do estado (FEITOSA; TROVÃO, 2006). Tombada em 1997 como Patrimônio da Humanidade pela UNESCO, devido ao seu conjunto arquitetônico (Figura 9.10), com cerca de cinco mil imóveis datados entre os séculos XVII e XIX, caracteriza-se como atrativo turístico de grande importância cultural. Seu litoral representa belo atrativo geoturístico, como as praias da Ponta da Areia, São Marcos, Calhau, Olho d'Água, do Meio e Araçagi (Figura 9.11).

Alcântara, assim como São Luís, destaca-se por seu harmonioso conjunto arquitetônico (Figura 9.12), ladeiras, lendas e praias encantadoras (Figura 9.13), além do patrimônio paleontológico (Quadro 9.9).



Figura 9.10 - Casarões históricos da cidade de São Luís (MA).
Fonte: Valter Marques.



Figura 9.12 - Ruínas da igreja de São Matias, em Alcântara (MA).
Fonte: Joaquim das Virgens.



Figura 9.11 - Praia de Araçagi, litoral de São Luís (MA).
Fonte: <<http://www.flickriver.com/photos/ritabarreto/3804734053/>>.



Figura 9.13 - Cenário nostálgico da praia de Alcântara (MA).
Fonte: Joaquim das Virgens.

Quadro 9.9 - Patrimônio geológico e paleontológico do polo São Luís.

Polo Turístico	Patrimônio	Atrativos Geoturísticos	Descrição	Unidade de Conservação
São Luís	Atrativos geoturísticos	Praias, mangues, dunas	Belas paisagens relacionadas ao turismo de lazer.	Porção oeste da APA Upaon-Açu/Miritiba/Alto Preguiças e porção sudeste da APA das Reentrâncias Maranhenses.
	Paleontológico	Fósseis	Fósseis de répteis na ilha de Cajual, pegadas de dinossauros na praia da Baronesa (Alcântara) e pegadas de dinossauros na Ponta da Guia (São Luís).	

Em São José de Ribamar, ressaltam-se a tranquilidade bucólica, a religiosidade e a bela enseada que garante místicas paisagens. Em Raposa, há atrativos turísticos, como praias, mangues (Figura 9.14) e dunas, assim como atrativos culturais (artesanato, rendas de bilro) e gastronômicos (culinária baseada em peixes e ostras). Em Vivendas de Paço do Lumiar encontra-se um turismo cultural, com carroças de tração animal que nos remetem a uma viagem no tempo.



Figura 9.14 - Ambiente de mangue (Raposa, MA).
Fonte: Rafysa dos Santos Costa.

Polo Lagos e Campos Floridos

Localizado no centro-norte do Maranhão, esse polo é composto pelos municípios de Cajari, Santa Inês, Arari, Pedro do Rosário, São Bento, Viana, Conceição do Lago Açu, Matinha, São Vicente Ferrer, Lago Verde, Monção, Penalva, Vitória do Mearim, Pindaré-Mirim e Pinheiro. É considerado um dos mais belos polos turísticos do estado, caracterizado por extensa planície fluviolagunar, rios, estuários, mangues e campos alagados da Baixada Maranhense, denominados “Pantanal Maranhense”, tendo como destaque as ilhas flutuantes dos lagos Formoso, da Lontra, Cajari e Capivari, no município de Penalva (Figura 9.15) (Quadro 9.10).

Ressalta-se o fenômeno natural da pororoca (Figura 9.16), no município de Arari, situado no baixo curso do rio Mearim, cujas águas, episodicamente, são barradas pela força das águas do oceano, que, devido às grandes amplitudes de maré de sizígia, avançam sobre a zona estuarina da Baía de São Marcos, no Golfão Maranhense, e invadem a desembocadura do rio Mearim. Atualmente, há grande interesse nesse fenômeno por parte de adeptos de



Figura 9.15 - Árvore em estágio final, porém majestosa, cercada por vegetação de macrófitas. APA da Baixada Maranhense – Lago Capivari, município de Penalva (MA).
Fonte: Mendonça (2011).



Figura 9.16 - Encontro das águas do rio Mearim e águas oceânicas, promovendo uma onda de sentido inverso ao da corrente fluvial (pororoca). Município de Arari (MA).
Fonte: <<http://blogs.diariodonordeste.com.br/manobrarradical/>>.

esportes radicais, em especial por praticantes de surfe, o que configura peculiar atrativo geoturístico nessa região pobre da Baixada Maranhense.

Polo Munim

O Polo Munim destaca-se pela diversidade de atrativos naturais e culturais contidos em seis municípios: Axixá, Icatu, Rosário, Presidente Juscelino, Cachoeira Grande e Morros. Na região são encontrados rios, igarapés, lagos e praias que constituem um cenário natural de beleza ímpar (Figuras 9.17 e 9.18). Somam-se a essa riqueza o acervo arquitetônico, as manifestações culturais, como bumba-meu-boi e tambor de crioula, além de toda a singularidade e importância das comunidades quilombolas da região (Quadro 9.11) (MARANHÃO, 2011).

Quadro 9.10 - Patrimônio geológico e geomorfológico do polo Lagos Campos Floridos.

Polo Turístico	Patrimônio	Atrativos Geoturísticos	Descrição	Unidade de Conservação
Lagos e Campos Floridos	Atrativos geoturísticos	Campos alagados e estuários	Ambiente fluviomarinho, que abriga história geológica recente, com alto potencial para o turismo ecológico.	APA Baixada Maranhense



Figura 9.17 - Área com alto potencial geoturístico relacionado a balneários, às margens do rio Munim.



Figura 9.18 - Cachoeira do Boqueirão, município de Icatu (MA).
Fonte: <<http://www.icatu.ma.gov.br/2010/12/2/turismo-247.htm>>

Quadro 9.11 - Patrimônio geológico do polo Munim.

Polo Turístico	Patrimônio	Atrativos Geoturísticos	Descrição	Unidade de Conservação
Munim	Atrativos geoturísticos	Praias, corredeiras, lagos e cachoeiras	Polo recortado por vários rios, com planícies aluviais favoráveis ao turismo de lazer em balneários.	Porção oeste da APA Upaon-Açu/Miritiba/Alto Preguiças

Polo Parque dos Lençóis

Situado no litoral oriental do Maranhão, abrange os municípios de Humberto de Campos, Primeira Cruz, Santo Amaro e Barreirinhas. Seus atrativos geoturísticos são rios (Figura 9.19), mangues, dunas móveis e lagoas interdunas (Figura 9.20), constituindo áreas de paisagens magníficas, com condições favoráveis para turismo de lazer.

Essa unidade geoambiental abriga uma biodiversidade que condiciona um ecossistema de grande fragilidade ambiental. Por esse motivo, em junho de 1981 foi criado o Parque Nacional dos Lençóis Maranhenses (Figura 9.21), com área de 155.000 ha, por meio do Decreto nº 86.060, de 02 de junho de 1981 (Quadro 9.12).



Figura 9.20 - Lagoa interduna. Município de Barreirinhas (MA).



Figura 9.19 - Rio Preguiças, coberto por vegetação de vitória-régias (a), margeado por vegetação de babaçus (b) e de mangue (c).

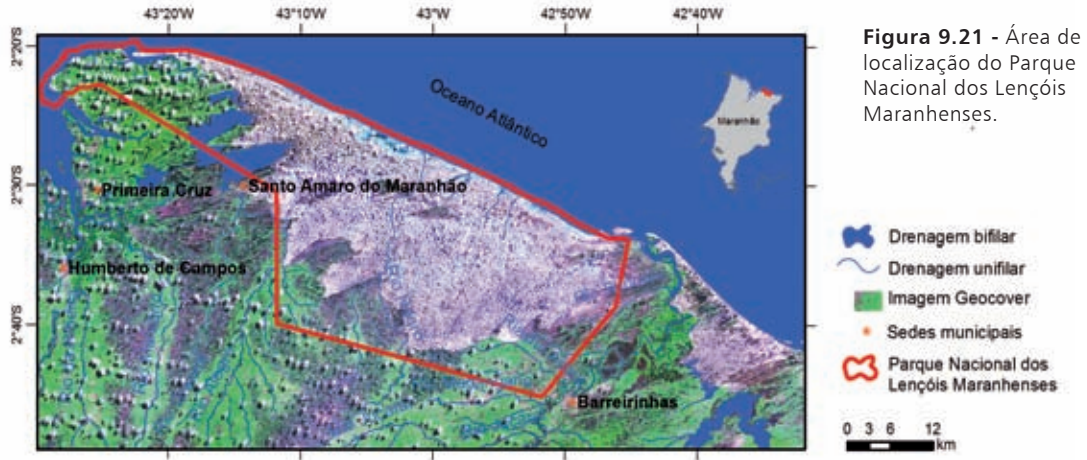


Figura 9.21 - Área de localização do Parque Nacional dos Lençóis Maranhenses.

Quadro 9.12 - Patrimônio geológico do polo Parque dos Lençóis.

Polo Turístico	Patrimônio	Atrativos Geoturísticos	Descrição	Unidade de Conservação
Parque dos Lençóis	Atrativos geoturísticos	Praias	Praias de grande beleza cênica, formadas ao longo do tempo geológico por processos sedimentares, eólicos e marinhos.	Parque Nacional dos Lençóis Maranhenses e porção leste da APA Upaon-Açu/Miritiba/Alto Preguiças e oeste da APA Foz do Rio Preguiças
		Lagoas	Lagoas rasas interdunares, formadas por águas pluviais quando o nível freático regional está mais elevado.	
		Rios e mangues	Rios margeados por diversos tipos de vegetação.	

Polo Delta das Américas

Localizado no nordeste do estado, na divisa com o Piauí, esse polo abrange os municípios de Tutoia, Paulino Neves, Água Doce do Maranhão e Araioses. Envolve a região sob influência do Delta do Parnaíba, que tem 70% de sua área no Maranhão, sendo a única feição deltaica das Américas localizada em mar aberto e o terceiro maior delta oceânico do mundo (MARANHÃO, 2011). Devido à sua importância ecológica, relacionada à presença de várias espécies vegetais e animais que habitam as planícies

costeiras, fluvio-marinhas, restingas, mangues e dunas, foi criada, em agosto de 1996, a Área de Proteção Ambiental (APA) Delta do Parnaíba (Figura 9.22), que envolve tanto o Maranhão quanto os estados do Piauí e Ceará, totalizando 313.809 ha que correspondem ao perímetro de 460.812 m de extensão, incluindo a área marítima.

Esse ambiente deltaico apresenta diferentes feições com alto potencial geoturístico, como: praias, lagoas, mangues, rios, dunas fixas associadas à vegetação de restinga e caatinga litorâneas e dunas móveis (Figura 9.23) (Quadro 9.13).

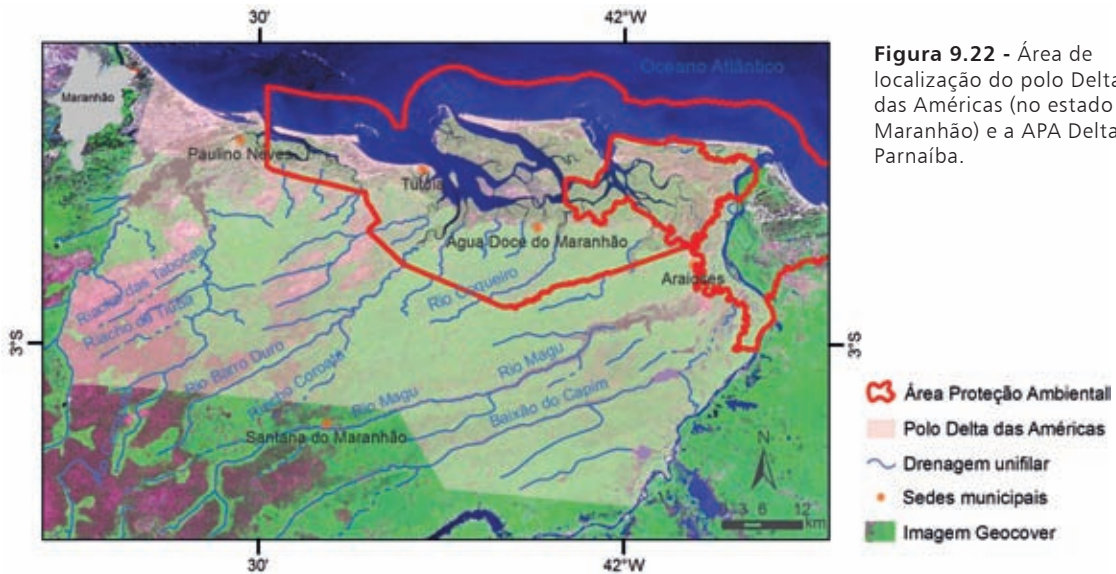


Figura 9.22 - Área de localização do polo Delta das Américas (no estado do Maranhão) e a APA Delta do Parnaíba.

Quadro 9.13 - Patrimônio geológico do polo Delta das Américas.

Polo Turístico	Patrimônio	Atrativos Geoturísticos	Descrição	Unidade de Conservação
Delta das Américas	Atrativos geoturísticos	Praias Lagoas Mangues e ilhas	Extensa e complexa feição geomorfológica, composta por sedimentos quaternários.	APA Foz do Rio Preguiças e APA Delta do Parnaíba



Figura 9.23 - Dunas móveis, dunas fixadas pela vegetação e lagoas interdunares. Delta do Parnaíba, município de Tutoia (MA).
Fonte: <<http://tutoia.olx.com.br/pousada-jagata-iid-492788>>.

Polo Cocais

O Polo Cocais localiza-se na porção leste do estado, abrangendo os municípios de Aldeias Altas, Caxias, Codó, Coelho Neto, Pedreiras e Timom e se insere na porção sul da APA dos Morros Garapenses (Figura 9.24). Sua denominação é em homenagem às palmáceas da região, especialmente o babaçu (Figuras 9.25 e 9.26).

Dentre os atrativos geoturísticos destacam-se os igarapés, com alto potencial para balneários, e os fósseis da Formação Codó (Quadro 9.14). Ressalta-se, ainda, o misticismo religioso da região, com destaque para os terreiros de cultura afro-indígena brasileira, o terecô, assim como os casarões seculares.

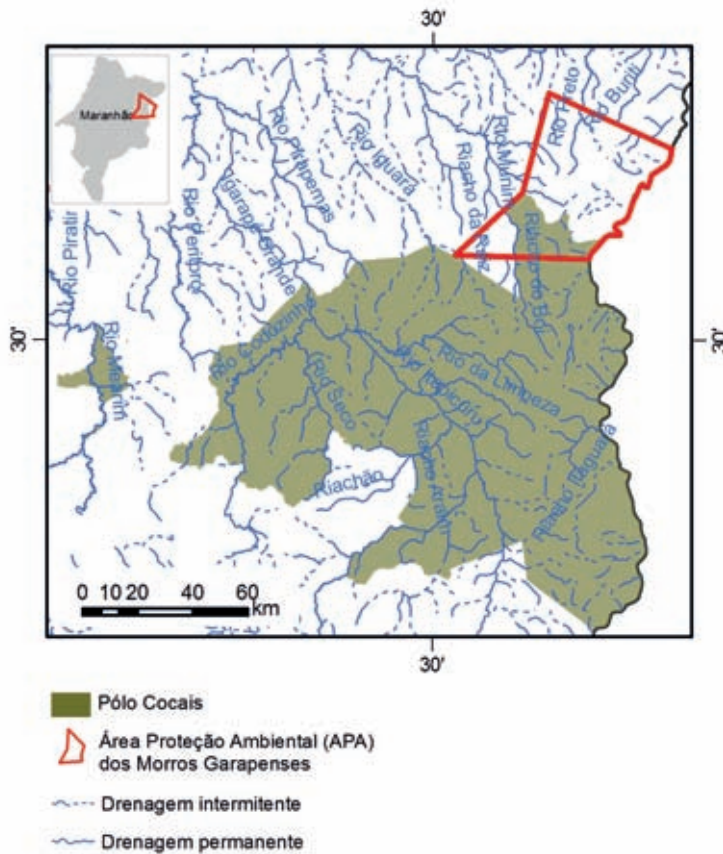


Figura 9.24 - Localização do polo Cocais e da APA dos Morros Garapenses.



Figura 9.25 - Vegetação de babaçu sobre planície aluvionar do rio Munim. Município de Chapadinha (MA).



Figura 9.26 - Baixos platôs dissecados sob vegetação exuberante de babaçus. Rodovia BR-222.

Quadro 9.14 - Patrimônio geológico e paleontológico do polo Cocais.

Polo Turístico	Patrimônio	Atrativos Geoturísticos	Descrição	Unidade de Conservação
Cocais	Atrativos geoturísticos	Igarapés	Turismo de lazer associado a balneários.	APA dos Morros Garapenses
	Paleontológico	Fósseis	Presença de fósseis na Formação Codó.	

Polo Serras Guajajara, Timbira e Kanela

No centro-sul maranhense encontra-se o Polo Serras Guajajara, Timbira e Kanela, situado entre os municípios de Barra do Corda, Grajaú, Fernando Falcão, Jenipapo dos Vieiras, Formosa da Serra Negra, Itaipava do Grajaú, Arame e Sítio Novo.

Região com atrativos geoturísticos de interesse paleontológico e geomorfológico, constituída por baixos platôs, colinas dissecadas e planaltos de significativa beleza (Figura 9.27) (Quadro 9.15), exibe notória relevância cultural, por ser o berço da cultura milenar das etnias Guajajara, Timbira e Kanela.



Figura 9.27 - Platôs dissecados sustentados por material caulínico da formação Itapecuru (unidade geoambiental DSVMPasaf). Rodovia BR-226, município Barra do Corda (MA).

Polo Chapada das Mesas

Localizado nas porções sul e sudoeste do estado, esse polo abrange os municípios de Imperatriz, Tasso Fragoso, Estreito, Carolina, Balsas, Riachão, São João do Paraíso e Porto Franco. Na área do polo registram-se paredões rochosos, formados há mais de 200 bilhões de anos, sob ambientes marinho, desértico, fluvial e extravasamento de lavas vulcânicas, que, por processos sedimentares, tectônicos e erosivos foram litificados esculpindo, formando relevos sob a forma de planaltos, platôs e morros residuais. Tais formações rochosas, quando associadas a vegetação de cerrado, inscrições rupestres e rios perenes, formam um cenário geoturístico de grande beleza geológica e geomorfológica (Figura 9.28) (Quadro 9.16).

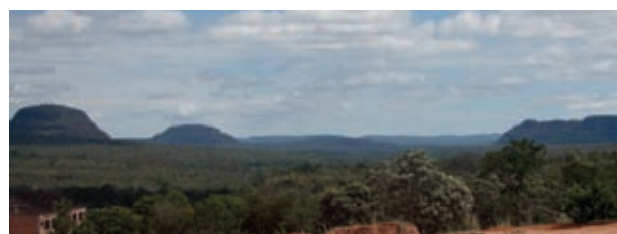


Figura 9.28 - Relevo de morros-testemunhos e platôs sustentados por unidades rochosas formadas em antigo ambiente desértico associado a derrames vulcânicos. Município de Carolina (MA).

Quadro 9.15 - Patrimônio geomorfológico e paleontológico do polo Serras Guajajara, Timbira e Kanela.

Polo Turístico	Patrimônio	Atrativos Geoturísticos	Descrição
Serras Guajajara, Timbira e Kanela	Geomorfológico	Formas de relevo e cachoeiras	Unidades geológicas do Permiano, Cretáceo e Paleógeno, sustentando relevos tabulares e colinosos.
	Paleontológico	Fósseis	Fósseis das formações Codó e Grajaú.

Quadro 9.16 - Patrimônio geológico, geomorfológico, paleontológico e espeleológico do polo Chapada das Mesas.

Polo Turístico	Patrimônio	Atrativos Geoturísticos	Descrição	Unidade de Conservação
Chapada das Mesas	Atrativos geoturísticos	Paredões rochosos	Estruturas geológicas com potencial para turismo científico e paisagístico.	Parque Nacional da Chapada das Mesas
	Paleontológico	Fósseis	Fósseis da Formação Pedra de Fogo.	
	Geomorfológico	Formas de relevo e cachoeiras	Associação de planaltos, platôs, vales encaixados e superfícies aplainadas com cachoeiras de grande beleza.	
	Espeleológico	Grutas	Grutas Passagem Funda, do Amor e Pedra Caída.	



Figura 9.29 - Cachoeira Santa Bárbara, região de Chapada das Mesas (MA).
Fonte: Hugo Leonardo Fernando Lope

Todavia, as cachoeiras de São Romão, Cocal, Santa Barbara (Figura 9.29), do Capelão, do Dodô, Itapecuruzinho, Pedra Caída, da Prata, da Caverna e Ilia, assim como as piscinas naturais de água cristalina (Poço Azul), em meio aos imensos paredões rochosos, são as grandes responsáveis pelo encanto que envolve esse polo.

UNIDADES DE CONSERVAÇÃO

O estado do Maranhão é composto por 26 unidades de conservação (Figura 9.30), sendo 14 sob jurisdição estadual (Quadro 9.17) e 12 sob jurisdição federal (Quadro 9.18), divididas em dois grupos (Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000): Unidades de Proteção Integral e Unidades de Uso Sustentável.

São consideradas Unidades de Proteção Integral: Reservas Biológicas (REBIO), Parques Estaduais (PES), Parques

Nacionais (PARNA), Estações Ecológicas (ESEC) e Reservas Particulares do Patrimônio Natural (RPPN). Já as Unidades de Uso Sustentável estão divididas nas seguintes categorias: Reservas Extrativistas (RESEX), Florestas Estaduais (FLORSU), Florestas Nacionais (FLONA), Áreas de Proteção Ambiental (APA).

As Reservas Biológicas (REBIO) representam as unidades mais restritivas, possuindo um nível máximo de proteção. As Unidades de Uso Sustentável, embora tenham restrições para algumas categorias, como Parques Nacionais e Estaduais, estabelecidas no Plano de Manejo, permitem visitas, pesquisas científicas, atividades de educação e recreação em contato com a natureza e turismo ecológico.

Já as categorias como Áreas de Proteção Ambiental (APA), Reservas Extrativistas (RESEX) e Estações Ecológicas (EE) são menos restritivas, permitindo a visita e, em certos casos, até propriedade privada. Entretanto, assim como as unidades de conservação de visita mais restrita, essas unidades têm papel estratégico para a conservação ecossistêmica.

REFERÊNCIAS

BANDEIRA, I.C.N.; DANTAS, M.E.; THEODOROVICZ, A.; SHINZATO, E. **Mapa geodiversidade do estado do Maranhão**. Teresina: CPRM, 2013.

BARROS, J.S. **Proposta de geoparque: delta do Parnaíba e das Américas**. Teresina, 2012. 7 p. Inédito.

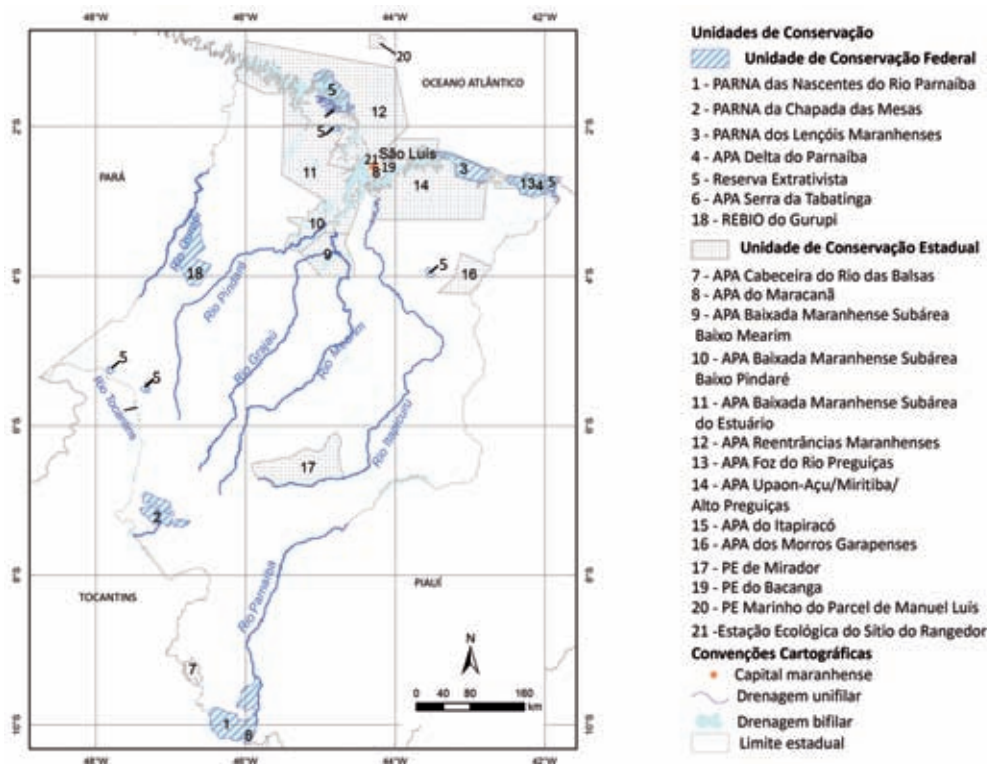


Figura 9.30 - Mapa de localização das unidades de conservação no estado do Maranhão (elaborado com base nos dados obtidos em: <<http://mapas.mma.gov.br/i3geo/datadownload.htm>>).

Quadro 9.17 - Unidades de conservação estadual no Maranhão.

Denominação	Categoria	Uso	Instrumento de Criação	Municípios Abrangidos	
APA das Nascentes do Rio das Balsas	Área de Proteção Ambiental	Sustentável	Decreto nº 14.968, de 20.03.1996.	Balsas.	
APA do Maracanã			Decreto nº 12.103, de 01.10.1991.	Ilha de São Luís.	
APA Baixada Maranhense Subárea Baixo Mearim			Decreto nº 11.900, de 11.06.1991, reeditado em 05.10.1991.	Anajatuba, Arari, Bequimão, Bacurituba, Cajapió, Central do Maranhão, Conceição do Lago-Açu, Lago Verde, Matinha, Mirinzal, Monção, Olho d'Água das Cunhãs, Olinda Nova do Maranhão, Palmeirândia, Pedro do Rosário, Penalva, Peri-Mirim, Pinheiro, Pindaré-Mirim, Pio XII, Presidente Sarney, Santa Helena, São Bento, São João Batista, São Mateus, São Vicente Ferrer, Viana, Vitória do Mearim e Ilha dos Caranguejos.	
APA Baixada Maranhense Subárea do Estuário				Cedral, Guimarães, Mirinzal, Bequimão, Cândido Mendes, Porto Rico do Maranhão, Apicum-Açu, Serrano do Maranhão, Turiaçu, Luís Domingues, Godofredo Viana, Cururupu, Bacuri, Carutapera e Alcântara.	
APA Reentrâncias Maranhenses				Decreto nº 11.899, de 11.06.1991, reeditado em 05.10.1991.	Barreirinhas, Paulino Neves, Tutoia, Água Doce do Maranhão e Araioses.
APA Foz do Rio Preguiças			Decreto nº 12.428, de 05.06.1992.	Axixá, Barreirinhas, Humberto de Campos, Icatu, Morros, São Luís, Paço do Lumiar, Presidente Juscelino, Primeira Cruz, Rosário, Santa Quitéria do Maranhão, Santa Rita, São Benedito do Rio Preto, São Bernardo, São José de Ribamar, Tutóia, Belágua, Cachoeira Grande e Urbano Santos.	
APA Upaon-Açu/Miritiba/Alto Preguiças				Decreto nº 15.618, de 23.06.1997.	Ilha de São Luís e São José de Ribamar.
APA do Itapiracó				Decreto nº 25.087, de 31.12.2008..	Duque Bacelar, Buriti, Coelho Neto e Afonso Cunha.
APA Morros Garapenses				Proteção Integral	Decreto nº 11.902, de 11.06.1991.
PE Marinho do Parcel de Manuel Luís	Decreto nº 7.641, de 04.06.1980, alterado pela Lei nº 8.958, de 08.05.2009.	Mirador.			
PE do Mirador	Decreto nº 7.545, de 02.03.1980.	Ilha de São Luís.			
PE do Bacanga	Decreto nº 21.797, de 15.12.2005, alterado pelo Decreto nº 23.303, de 07.08.2007.	Ilha de São Luís.			
Estação Ecológica do Sítio do Rangedor	Estação Ecológica				

Quadro 9.18 - Unidades de conservação federal no estado do Maranhão.

Fonte: Elaborado com base nos dados obtidos em: <<http://mapas.mma.gov.br/i3geo/datadownload.htm>>.

Nome	Categoria	Uso	Instrumento de Criação	Municípios Abrangidos
REBIO do Gurupi	Reserva Biológica	Proteção Integral	Decreto nº 95.614, de 12.01.1988.	Bom Jardim, Centro Novo e São João do Caru.
PARNA das Nascentes do Rio Parnaíba	Parque Nacional		Decreto s/nº, de 16.07.2002.	Alto Parnaíba (MA), Mateiros e São Félix (TO), Formosa do Rio Preto (BA), Gilbués, Barreiras do Piauí, São Gonçalo do Gurgueia e Corrente (PI).
PARNA da Chapada das Mesas			Decreto s/nº, de 12.12.2005.	Carolina, Riachão e Estreito.
PARNA dos Lençóis Maranhenses			Decreto nº 86.060, de 02.06.1981.	Primeira Cruz, Santo Amaro e Barreirinhas.
APA Delta do Parnaíba	Área de Proteção Ambiental	Sustentável	Decreto s/nº, de 28.08.1996.	Luís Corrêa, Morro da Mariana e Parnaíba (PI); Araioses e Tutoia (MA); Chaval e Barroquinha (CE).
APA Serra da Tabatinga			Decreto nº 99.278, de 06.06.1990.	Alto Parnaíba (MA), Ponta Alta do Norte (TO).
RESEX da Mata Grande	Reserva Extrativista		Decreto nº 532, de 20.05.1992.	João Lisboa, Davinópolis, Senador La Rocque.
RESEX do Ciriaco			Decreto nº 534, de 20.05.1992.	Cidelândia
RESEX Chapada Limpa			Decreto s/nº, de 26.09.2007.	Chapadinha
RESEX Marinha do Delta do Parnaíba			Decreto s/nº, de 16.11.2000.	Água Doce, Araioses (MA) e Ilha Grande (PI).
RESEX Quilombo Flexal			Decreto nº 536, de 20.05.1992.	Mirinzal.
RESEX Cururupu			Decreto s/nº, de 02.06.2004.	Cururupu e Serrano do Maranhão.

BRASIL. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. **Zoneamento geoambiental do estado do Maranhão**: diretrizes gerais para a ordenação territorial. Salvador: IBGE, 1997.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 347, de 10 de setembro de 2004. Dispõe sobre a proteção do patrimônio espeleológico. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, n. 176, p. 54-55, 13 set. 2004. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=452>>. Acesso em: 19 abr. 2012.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Áreas especiais**. [s.d.]. Disponível em: <<http://mapas.mma.gov.br/i3geo/datadownload.htm>>. Acesso em: 19 abr. 2012.

BRILHA, J. **Patrimônio geológico e geoconservação**: a conservação da natureza na sua vertente geológica. Braga: Palimage, 2005. 190 p.

CARVALHO, I.S.; ROSA, A.A.S. da. Patrimônio paleontológico no Brasil: relevância para o desenvolvimento socioeconômico. **Memórias e Notícias**, Coimbra, v. 3, n. 31, p. 15-28, 2008.

FEITOSA, A.C.; TROVÃO, J.R. **Atlas escolar do Maranhão**: espaço geo-histórico e cultural. João Pessoa: Grafset, 2006.

FERREIRA, A.J. de A. O turismo e a produção do espaço no estado do Maranhão, Brasil. **Revista Electrónica de Geografía y Ciencias Sociales**, Barcelona, v. XI, n. 245 (58), ago. 2007. (Nueva serie de Geo Crítica. Cuadernos Críticos de Geografía Humana). Número extraordinário dedicado al IX Colóquio Internacional de Geocrítica.

GRAY, M. **Geodiversity**: valuing and conserving abiotic nature. New York: John Wiley & Sons, 2004. 434 p.

KOZŁOWSKI, S. Geodiversity: the concept and scope of geodiversity. **Przegląd Geologiczny**, v. 52, n. 8/2, p. 833-837, 2004.

MARANHÃO. Secretaria de Estado do Turismo. **Plano maior** (2010-2020). São Luís: SETUR, 2011.

MARQUES, R. dos S. Águas cristalinas de Porto Rico. In: MARANHÃO. Secretaria de Estado de Meio Ambiente. **Conhecer para conservar**: um olhar sobre as unidades de conservação estaduais do Maranhão. São Luís: SETUR, 2011. Exposição de fotografias.

MENDONÇA, F.S. Irmã morte, irmã vida nos lagos da baixada. In: MARANHÃO. Secretaria de Estado de Meio Ambiente. **Conhecer para conservar**: um olhar sobre as unidades de conservação estaduais do Maranhão. São Luís: SETUR, 2011. Exposição de fotografias.

NASCIMENTO, M.A.L. do; RUCHKYS, U.A.; MANTESSO-NETO, V. **Geodiversidade, geoconservação e geoturismo**: trinômio importante para a proteção do patrimônio geológico. São Paulo: SBG, 2008. 82 p.

OLIVEIRA JUNIOR, F.P. de. **Levantamento e catalogação do registro fóssil na ilha do Cajual, Alcântara, MA**. 2009. 26 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Biologia) – Universidade Estadual do Maranhão, São Luís, 2009.

PETRISOR, A.I.; SARBU, C.N. Dynamics of geodiversity and eco-diversity in territorial systems. **Journal of Urban and Regional Analysis**, v. 2, n. 1, p. 61-70, 2010.

PRICE, L.I. **Um anfíbio labirintodonte da formação Pedra de Fogo, estado do Maranhão**. Rio de Janeiro: DNPM/DGM, 1948. 32 f. (Bol. DGM, 124).

RODRIGUES, N. **Galera toda surfando a pororoca do Mearim**. Arari, 2011. Disponível em: <<http://blogs.diariodonordeste.com.br/manobradical/surf/equipe-cearense-chega-em-arari-ma-para-1o-campeonato-de-longboard-na-pororoca/>>. Acesso em: 10 ago. 2012.

RUCHKYS, U.A. **Patrimônio geológico e geoconservação no Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais**: potencial para a criação de um geoparque da UNESCO. 2007. 211 f. Tese (Doutorado em Geologia) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007.

SANTOS, M.E. de C.M.; CARVALHO, M.S.S. de. **Paleontologia das bacias do Parnaíba, Grajaú e São Luís**: reconstituições paleobiológicas. Rio de Janeiro: CPRM, 2009. 211 p. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil (PLGB).

SANTOS, R.S. Ictiofauna da formação Codó, Cretáceo inferior, com a descrição de um novo taxon – *Codoichthys carnavaalii* (Pisces-Teleostei). **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, Rio de Janeiro, v. 66, n. 2, p. 131-143, 1994.

SERRANO, E.; RUIZ-FLAÑO, P. Geodiversity: a theoretical and applied concept. **Geographica Helvetica**, v. 62, n. 3, p. 140-147, 2007.

SHARPLES, C. **Concepts and principles of geoconservation**. Austrália: Tasmanian Parks & Wildlife Service, 2002. 79 p.

SIGEP. Comissão Brasileira de Sítios Geológicos e Paleobiológicos. **Inventário de geossítios do Brasil**. 28 ago. 2012. Disponível em: <http://sigep.cprm.gov.br/Lista_Geral_Sitios_e_Propostas.pdf>. Acesso em: 30 ago. 2012.

SILVA, C.R. da (Ed.). **Geodiversidade do Brasil**: conhecer o passado, para entender o presente e prever o futuro. Rio de Janeiro: CPRM, 2008. 264 p.

SOUZA FILHO, P.W.M. Costa de manguezais de macromaré da Amazônia: cenários morfológicos, mapeamento e quantificação de áreas usando imagens de sensores remotos. **Revista Brasileira de Geofísica**, Rio de Janeiro, v. 23, n. 4, p. 427-435, 2005.

TEIXEIRA, W.; TOLEDO, M.C.M. de; FAIRCHILD, T.R.; TAIOLI, F. (Orgs.) **Decifrando a Terra**. São Paulo: Oficina de Textos, 2000. 568 p.

10

ANÁLISE DE PADRÕES DE RELEVO: UM INSTRUMENTO APLICADO AO MAPEAMENTO DA GEODIVERSIDADE

Marcelo Eduardo Dantas (*marcelo.dantas@cprm.gov.br*)

CPRM – Serviço Geológico do Brasil

SUMÁRIO

Introdução	135
Pressupostos e Arcabouço Teórico-Conceitual.....	135
Procedimentos Operacionais.....	137
Biblioteca de Padrões de Relevo.....	138
Considerações Finais	139
Referências.....	139

INTRODUÇÃO

Premissa já ressaltada por vasta literatura, a geomorfologia representa um campo de conhecimento de notável capacidade de integração com as outras variáveis do meio geobiofísico. Frequentemente, unidades de paisagem delimitadas em estudos geoecológicos ou de geodiversidade são calcadas a partir de regiões com características morfológicas semelhantes e que estão, muitas vezes, diretamente associadas à ocorrência de determinados tipos de rochas, solos e vegetação.

O conceito de padrão de relevo baseia-se na identificação e representação espacial de determinado conjunto de formas de relevo que apresenta expressiva semelhança morfológica. Tal conceito foi descrito por Ross (1990), que o define como o terceiro táxon de sua metodologia de mapeamento geomorfológico, e é similar aos conceitos de sistemas de relevo (PONÇANO et al., 1979) ou de unidades homólogas (SOARES; FIORI, 1976).

Entretanto, um mapeamento de padrões de relevo deve estar firmemente atrelado à avaliação do contexto geomorfológico regional, com base na análise da evolução geológica dos terrenos e de seus condicionantes litoestruturais e na formação das superfícies regionais de aplainamento, assim como no entendimento das províncias geológicas (ou unidades morfoestruturais) e de seus correspondentes domínios geomorfológicos (ou unidades morfoesculturais).

PRESSUPOSTOS E ARCABOUÇO TEÓRICO-CONCEITUAL

O mapeamento e a descrição analítica de padrões de relevo foram elaborados objetivando atender às demandas geradas pela compartimentação geológico-geomorfológica proposta pela metodologia de mapeamento da geodiversidade do território brasileiro (CPRM, 2006; SILVA, 2008) em escalas de análise sintéticas ou pequenas (1:500.000 a 1:2.500.000) (RAMOS et al., 2006, 2010).

A proposta visa a agregar informação geomorfológica que complemente e enriqueça o mapeamento da geodiversidade, destacando-se os grandes conjuntos morfológicos compatíveis com o nível dos trabalhos, sem necessidade de utilização de códigos e parâmetros complexos, característicos dos mapeamentos geomorfológicos tradicionais. O principal objetivo é prover rapidez e eficiente aplicabilidade a estudos integrados, com vistas ao planejamento territorial.

A proposta em tela difere das metodologias clássicas de mapeamento geomorfológico presentes na literatura, tais como: as abordagens descritivas em base morfológico-morfométrica, como as elaboradas por Barbosa et al. (1977) para o Projeto RADAMBRASIL; Ponçano et al. (1979) e Ross e Moroz (1996), para o Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT); das abordagens sistêmicas, com base na compartimentação topográfica em bacias de drenagem (COELHO NETTO et al., 2007; MEIS et al.,

1982); ou da reconstituição de superfícies regionais de aplainamento (LATRUBESSE et al., 1998).

O mapeamento de padrões de relevo consiste na análise morfológica do relevo com base em fotointerpretação da textura e rugosidade dos terrenos, a partir de diversos sensores remotos. Nesse sentido, é de fundamental importância esclarecer que não se pretendeu produzir uma nova metodologia de mapeamento geomorfológico, mas gerar uma cartografia dos padrões de relevo de fácil e reproduzível operacionalidade, em consonância com os objetivos e as necessidades de um mapeamento e diagnóstico da geodiversidade, aplicável a todo o território nacional, sendo contempladas as suas especificidades ambientais e sua dimensão continental.

Sob essa ótica, Ab'Saber (1969) já propunha uma análise dinâmica da geomorfologia aplicada aos estudos ambientais, com base na pesquisa de três fatores interligados: identificação da compartimentação morfológica dos terrenos; levantamento da estrutura superficial das paisagens; estudo da fisiologia da paisagem (Figura 10.1).

A compartimentação morfológica dos terrenos é obtida a partir da avaliação empírica dos diversos conjuntos de formas e padrões de relevo posicionados em diferentes níveis topográficos, por meio de observações de campo e análise de sensores remotos (fotografias aéreas, imagens de satélite e Modelo Digital de Terreno (MDT)). Tal compartimentação é justaposta aos modelos de ordenamento do uso do solo e planejamento territorial, constituindo-se em importantíssima e fundamental contribuição da geomorfologia.

A estrutura superficial das paisagens consiste no estudo dos mantos de alteração *in situ* (formações superficiais autóctones) e coberturas inconsolidadas (formações superficiais alóctones) que jazem sob a superfície dos terrenos. Essa abordagem, de grande relevância para compreensão da gênese e evolução das formas de relevo, aliada à compartimentação morfológica dos terrenos, constitui-se em importante elemento para avaliação dos distintos graus de fragilidade natural dos terrenos frente a processos erosivo-deposicionais.

A fisiologia da paisagem, por sua vez, consiste na análise integrada das diversas variáveis ambientais em sua interface com a geomorfologia. Ou seja, expressa a influência de condicionantes litológico-estruturais, padrões climáticos e tipos de solos na configuração física das paisagens. Com essa terceira avaliação objetiva-se, também, compreender a ação dos processos erosivo-deposicionais atuais, inclusive os impactos decorrentes da ação antropogênica sobre a paisagem natural. Dessa forma, embute-se na análise geomorfológica o estudo da morfodinâmica, enfatizando-se a análise de processos.

Nesse sentido, a análise de padrões de relevo ateuve-se à avaliação do primeiro dos pressupostos elencados por Ab'Saber: a compartimentação morfológica dos terrenos. Portanto, a compartimentação de relevo efetuada nos mapeamentos de geodiversidade elaborados pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais/Serviço Geológico do

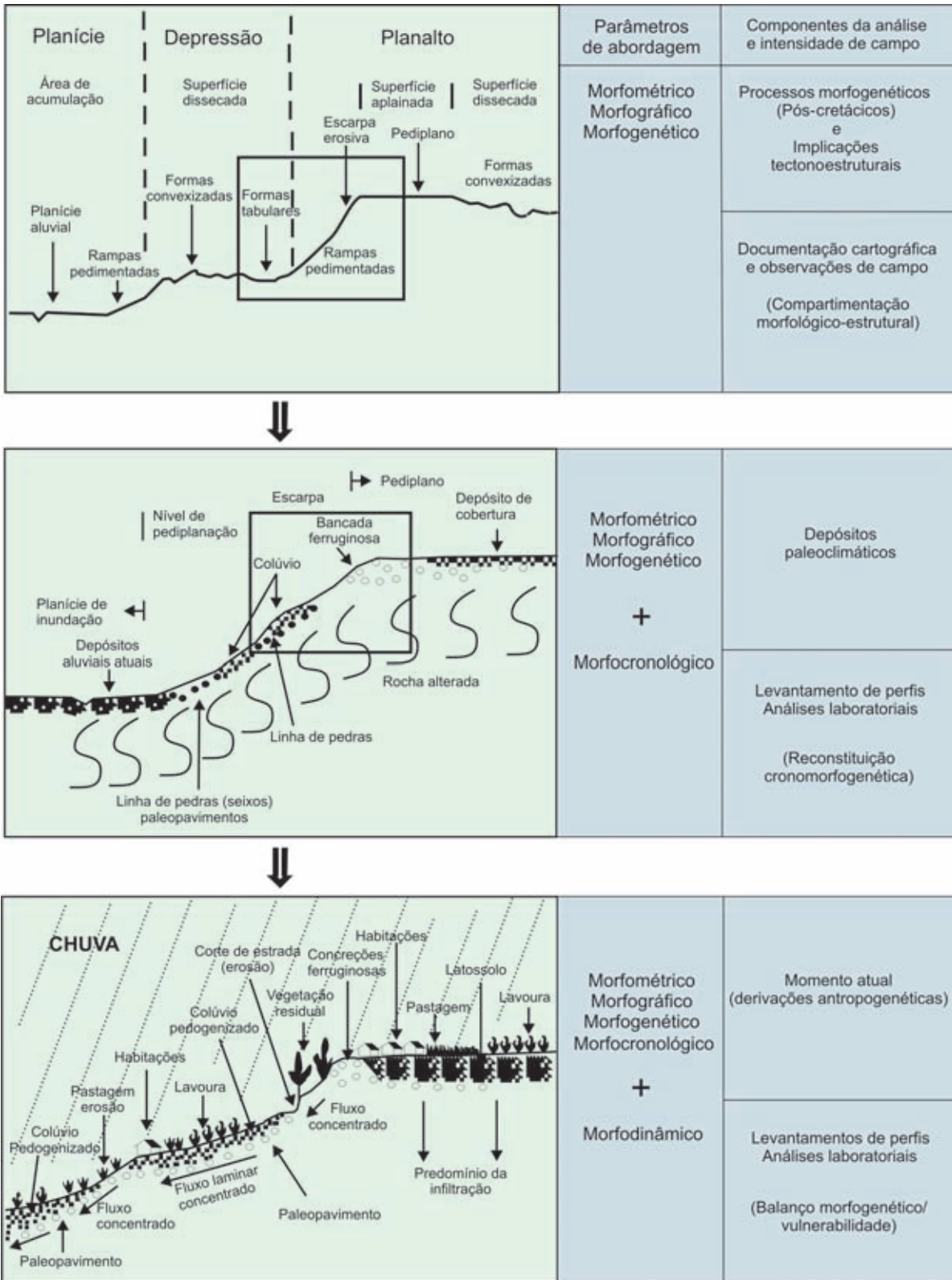


Figura 10.1 - Demonstração dos níveis de abordagem geomorfológica, seguindo metodologia de análise de Ab'Saber (1969).

Brasil (CPRM/SGB) não representa um mapeamento geomorfológico completo, clássico, haja vista não terem sido privilegiados os aspectos de gênese, evolução e morfodinâmica.

Desse modo, ao apresentar uma Biblioteca de Padrões de Relevo do Território Brasileiro que representa, em traços gerais, a complexa diversidade morfológica do relevo brasileiro, a CPRM/SGB tem como objetivo inserir a temática do relevo-paisagem-geomorfologia em uma análise integrada do meio físico aplicada ao planejamento territorial, empreendida por meio do mapeamento de geodiversidade em suas diferentes escalas. O mapeamento de padrões de relevo está calcado, metodologicamente, na aplicação do terceiro táxon hierárquico da metodologia de mapeamento geomorfológico proposta por Ross (1990).

Em todos os sistemas de informação geográfica (SIGs) de geodiversidade desenvolvidos pela CPRM/SGB, o mapa de padrões de relevo correspondente pode ser visualizado, acessando-se, no arquivo shapefile, o campo de atributos "COD_REL".

PROCEDIMENTOS OPERACIONAIS

Para executar a ambiciosa tarefa de engendrar uma "biblioteca de padrões de relevo" que expressasse, de forma coerente e representativa, toda a geodiversidade morfológica do território brasileiro, foram executados, entre os anos de 2006 e 2007, mapeamentos preliminares das Folhas ao Milionésimo em todas as regiões geográficas do Brasil, abrangendo, desse modo, todos os domínios morfoclimáticos preconizados por Ab'Saber (1977, 2003). Em adição, foi somada a esse esforço a produção de mapas geomorfológicos gerados pela CPRM/SGB por todo o país, em diferentes escalas de análise. Com esse enfoque, foram selecionados 28 padrões de relevo para os terrenos existentes no território brasileiro (Tabela 10.1), levando-se, essencialmente, em consideração:

- Parâmetros morfológicos e morfométricos que pudessem ser avaliados pelo instrumental tecnológico disponível nos kits digitais (imagens LandSat GeoCover e Modelo Digital de Terreno e Relevo Sombreado (SRTM – resolução espacial de 90 m); mapa de classes de hipsometria).
- Reinterpretação das informações existentes nos mapas geomorfológicos produzidos por diversas instituições, em especial os mapas desenvolvidos no âmbito do Projeto RADAMBRASIL, em escala 1:1.000.000.
- Execução de uma série de perfis de campo, com o objetivo de aferir a classificação executada.

Tabela 10.1 - Atributos e biblioteca de padrões de relevo do território brasileiro.

Símbolo	Tipo de Relevo	Declividade (graus)	Amplitude Topográfica (m)
R1a	Planícies Fluviais ou Fluvioacustres	0 a 3	zero
R1b1	Terraços Fluviais	0 a 3	2 a 20
R1b2	Terraços Marinhos	0 a 3	2 a 20
R1b3	Terraços Lagunares	0 a 3	2 a 20
R1c1	Vertentes Recobertas por Depósitos de Encosta	5 a 45	Variável
R1c2	Leques Aluviais	0 a 3	2 a 20
R1d	Planícies Fluviomarinhas	0 (plano)	zero
R1e	Planícies Costeiras	0 a 5	2 a 20
R1f1	Campos de Dunas	3 a 30	2 a 40
R1f2	Campos de Löess	0 a 5	2 a 20
R1g	Recifes	0	zero
R2a1	Tabuleiros	0 a 3	20 a 50
R2a2	Tabuleiros Dissecados	0 a 3	20 a 50
R2b1	Baixos Platôs	0 a 5	0 a 20
R2b2	Baixos Platôs Dissecados	0 a 5	20 a 50
R2b3	Planaltos	0 a 5	20 a 50
R2c	Chapadas e Platôs	0 a 5	0 a 20
R3a1	Superfícies Aplainadas Conservadas	0 a 5	0 a 10
R3a2	Superfícies Aplainadas Degradadas	0 a 5	10 a 30
R3b	<i>Inselbergs</i>	25 a 60	50 a 500
R4a1	Domínio de Colinas Amplas e Suaves	3 a 10	20 a 50
R4a2	Domínio de Colinas Dissecadas e Morros Baixos	5 a 20	30 a 80
R4a3	Domos em Estrutura Elevada	3 a 10	50 a 200
R4b	Domínio de Morros e de Serras Baixas	15 a 35	80 a 200
R4c	Domínio Montanhoso	25 a 60	300 a 2000
R4d	Escarpas Serranas	25 a 60	300 a 2000
R4e	Degraus Estruturais e Rebordos Erosivos	10 a 45	50 a 200
R4f	Vales Encaixados	10 a 45	100 a 300

O mapeamento dos padrões de relevo do território foi efetivamente consolidado entre os anos de 2008 e 2012, com a elaboração dos mapas de geodiversidade estaduais.

Para análise conjunta dos padrões de relevo, elaborou-se uma legenda explicativa. Trata-se do "Apêndice II – Biblioteca de Relevo do Território Brasileiro", parte integrante de todos os livros de geodiversidade estaduais da CPRM/SGB, que agrupa características morfológicas e morfométricas gerais, assim como informações generalizadas quanto à gênese e vulnerabilidade frente a processos geomorfológicos (intempéricos, erosivos e deposicionais).

Até o momento, encontra-se disponível para o público em geral (<http://www.cprm.gov.br>) o levantamento da geodiversidade dos seguintes estados: Rondônia (ADAMY, 2010), Bahia (CARVALHO; RAMOS, 2010), Minas Gerais (MACHADO; SILVA, 2010), Amazonas (MAIA; MARMOS, 2010), Mato Grosso (MORAES, 2010), São Paulo (PEIXOTO, 2010), Rio Grande do Norte (PFALTZGRAFF; TORRES, 2010), Piauí (PFALTZGRAFF et al., 2010), Mato Grosso do Sul (THEODOROVICZ; THEODOROVICZ, 2010) e Rio Grande do Sul (VIERO; SILVA, 2010).

Com relação aos demais estados, os levantamentos da geodiversidade estão em fase final de elaboração, tais como: Acre, Alagoas, Amapá, Ceará, Espírito Santo, Goiás, Maranhão, Pará, Pernambuco, Roraima, Santa Catarina e Sergipe.

Dentre os mais relevantes parâmetros e atributos analisados para cada padrão de relevo, destacam-se: amplitude de relevo; declividade média das vertentes; geometria de topos e de vertentes; ocorrência de processos de aluvionamento em fundos de vales; grau de dissecação dos terrenos.

Naturalmente, considerando-se a vastidão e a enorme geodiversidade do território brasileiro, assim como seu rico e diversificado conjunto de paisagens pedobioclimáticas e condicionantes geológico-geomorfológicas singulares, as informações de amplitude de relevo e declividade, dentre outras, devem ser reconhecidas como valores-padrão, não aplicáveis indiscriminadamente a todas as regiões. Não se descarta a hipótese de futuros ajustes e aprimoramento da Tabela 10.1, apresentada neste capítulo, bem como do Apêndice II constante nas publicações retromencionadas. À medida que os estudos de geodiversidade forem ampliados em escalas de análise de maior detalhe, forçosamente, a Biblioteca de Padrões de Relevo terá de incorporar novas unidades.

BIBLIOTECA DE PADRÕES DE RELEVO

A representação dos padrões de relevo em mapas de geodiversidade foi realizada por meio de abordagem hierarquizada da informação geomorfológica em dois níveis: domínios morfológicos e padrões de relevo.

Nesse sentido, a Biblioteca de Padrões de Relevo foi, inicialmente, compartimentada em cinco domínios morfológicos, assim caracterizados em linhas gerais:

I – Domínio das Unidades Agradacionais

Compreende amplo conjunto de ambientes deposicionais de diversas origens: fluvial, marinha, gravitacional, eólica, dentre as principais. Tais ambientes geram as diversas planícies de idade quaternária, espalhadas por todo o território brasileiro.

II – Domínio das Unidades Denudacionais em Rochas Sedimentares pouco Litificadas

Compreende vastas superfícies tabulares pouco elevadas e modeladas por rochas pouco consolidadas, geralmente, situadas em bacias sedimentares de idade neógena.

Destacam-se, nesse contexto, os tabuleiros elaborados por rochas sedimentares dos grupos Barreiras e Solimões, dentre as principais.

III – Domínio das Unidades Denudacionais em Rochas Sedimentares Litificadas

Compreende terrenos pouco a muito elevados e topos aplainados, elaborados, geralmente, sobre as bacias sedimentares intracratônicas de idades paleozoica a mesozoica, submetidas a diferentes graus de epirogênese pós-cretácica. Destacam-se, nesse contexto, planaltos, platôs e chapadas elaborados nas bacias sedimentares do Paraná, Parnaíba, Amazonas e Sanfranciscana, dentre as principais, assim como nas coberturas plataformais que jazem sobre os escudos cratônicos (por exemplo, Chapada Diamantina, serra do Cachimbo, monte Roraima etc.).

IV – Domínio das Unidades de Aplainamento

Compreende extensas superfícies de erosão com relevo praticamente plano que ocupam o piso das atuais depressões interplanálticas, ajustadas ao nível de base regional. Tais superfícies foram, preferencialmente, elaboradas sobre as bacias sedimentares intracratônicas ou sobre o dorso dos escudos cratônicos, submetidos a longas fases de aquiescência tectônica durante o Cenozoico. Destacam-se, nesse contexto, as superfícies aplainadas do norte e do sul da Depressão Amazônica (esculpida sobre os escudos cratônicos das Guianas e do Xingu, respectivamente); a Depressão Sertaneja (esculpida sobre terrenos de faixas móveis da Província Borborema); a Depressão do Médio Vale do Rio São Francisco, esculpida sobre o Cráton São Francisco, dentre outras.

V – Domínio das Unidades Denudacionais em Rochas Cristalinas ou Sedimentares

Compreende diversificado conjunto de formas e padrões de relevo esculpidos, indistintamente, sobre qualquer litologia, abrangendo todos os tipos de terrenos dissecados, desde colinas amplas de suave morfologia até terrenos acidentados de maciços montanhosos e escarpas serranas.

Os padrões de relevo identificados por fotoanálise foram, portanto, agrupados nos cinco domínios morfológicos supracitados, fundamentando a Biblioteca de Padrões de Relevo, conforme listado a seguir:

I – Domínio das Unidades Agradacionais

R1a – Planícies Fluviais ou Fluvioacustres (planícies de inundação, baixadas inundáveis e abaciamentos).

R1b1 – Terraços Fluviais (paleoplanícies de inundação em fundos de vales).

R1b2 – Terraços Marinhos (paleoplanícies marinhas à retaguarda dos atuais cordões arenosos).

R1b3 – Terraços Lagunares (paleoplanícies de inundação no rebordo de lagunas costeiras).

R1c1 – Vertentes Recobertas por Depósitos de Encosta (rampas de colúvio e de tálus)

R1c2 – Leques Aluviais

R1d – Planícies Fluvio-marinhas (mangues e brejos)

R1e – Planícies Costeiras (terraços marinhos e cordões arenosos)

R1f1 – Campos de Dunas (dunas fixas; dunas móveis)

R1f2 – Campos de Löess

R1g – Recifes

II – Domínio das Unidades Denudacionais em Rochas Sedimentares pouco Litificadas

R2a1 – Tabuleiros

R2a2 – Tabuleiros Dissecados

III – Domínio das Unidades Denudacionais em Rochas Sedimentares Litificadas

R2b1 – Baixos Platôs

R2b2 – Baixos Platôs Dissecados

R2b3 – Planaltos

R2c – Chapadas e Platôs

IV – Domínio das Unidades de Aplainamento

R3a1 – Superfícies Aplainadas Conservadas

R3a2 – Superfícies Aplainadas Retocadas ou Degradadas

R3b – *Inselbergs* e outros relevos residuais (cristas isoladas, morros residuais, pontões)

V – Domínio das Unidades Denudacionais em Rochas Cristalinas ou Sedimentares

R4a1 – Domínio de Colinas Amplas e Suaves

R4a2 – Domínio de Colinas Dissecadas e de Morros Baixos

R4a3 – Domos em Estrutura Elevada

R4b – Domínio de Morros e de Serras Baixas

R4c – Domínio Montanhoso (alinhamentos serranos e maciços montanhosos)

R4d – Escarpas Serranas

R4e – Degraus Estruturais e Rebordos Erosivos

R4f – Vales Encaixados

Informações pormenorizadas sobre essa biblioteca são apresentadas no Apêndice II retromencionado.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A metodologia de mapeamento de padrões revelou-se de inegável eficácia para estudos de geodiversidade, ao propiciar uma informação geomorfológica clara e de rápida aplicação aos estudos integrados do meio físico. Assim, essa metodologia apresenta excelente potencial para utilização nos mais diversos estudos de planejamento territorial.

Contudo, é importante ressaltar que tal produto não consiste em um mapeamento geomorfológico completo, pois enfatiza apenas a análise morfológica dos terrenos. Análises subsequentes sobre gênese e evolução dos terrenos, processos geomorfológicos e a interação geoecológica entre geologia, relevo, solos, clima e vegetação são

fundamentais para aprofundamento do conhecimento do meio geobiofísico de determinada região. Nesse ínterim, a delimitação geoespacial propiciada pela fotoanálise de padrões de relevo pode ser uma das bases mais úteis para estudos integrados de gestão ambiental e planejamento territorial.

REFERÊNCIAS

AB'SABER, A.N. Um conceito de geomorfologia a serviço das pesquisas sobre o quaternário. **Geomorfologia**, São Paulo, n. 18, p. 1-23, 1969.

AB'SABER, A.N. Os domínios morfoclimáticos na América do Sul: primeira aproximação. **Geomorfologia**, São Paulo, v. 52, p. 1-21, 1977.

AB'SABER, A.N. **Os domínios de natureza no Brasil: potencialidades paisagísticas**. São Paulo: Ateliê Editorial, 2003. 160 p.

ADAMY, A. (Org.). **Geodiversidade do estado de Rondônia**. Porto Velho: CPRM, 2010. 337 p.; 30 cm + 1 DVD-ROM.

BARBOSA, G.V.; FRANCO, E.M.S.; MOREIRA, M.M.A. Mapas geomorfológicos elaborados a partir do sensor radar. **Notícia Geomorfológica**, Campinas, v. 17, n. 33, p. 137-152, jun. 1977.

CARVALHO, L.M.; RAMOS, M.A.B. (Orgs.). **Geodiversidade do estado da Bahia**. Salvador: CPRM, 2010. 186 p.; 30 cm + 1 DVD-ROM.

COELHO NETTO, A.L.; AVELAR, A.S.; FERNANDES, M.C.; LACERDA, W.A. Landslide susceptibility in a mountainous geoecosystem, Tijuca massif, Rio de Janeiro: the role of morphometric subdivision of the terrain. **Geomorphology**, n. 87, p. 120-131, 2007.

CPRM. **Mapa geodiversidade do Brasil**. Brasília, DF: CPRM, 2006. Legenda expandida. Escala 1:2.500.000. 68 p.; 30 cm + 1 CD-ROM.

LATRUBESSE, E.M.; RODRIGUES, S.; MAMEDE, L. Sistema de classificação e mapeamento geomorfológico: uma nova proposta. **GEOSUL**, Florianópolis, v. 14, n. 27, p. 682-687, 1998.

MACHADO, M.F.; SILVA, S.F. da (Orgs.). **Geodiversidade do estado de Minas Gerais**. Belo Horizonte: CPRM, 2010. 131 p.; 30 cm + 1 DVD-ROM.

MAIA, M.A.M.; MARMOS, J.L. (Orgs.). **Geodiversidade do estado do Amazonas**. Manaus: CPRM, 2010. 275 p.; 30 cm + 1 DVD-ROM.

MEIS, M.R.M.; MIRANDA, L.H.G.; FERNANDES, N.F. Desnívelamento de altitude como parâmetros para a compartimentação do relevo: bacia do médio-baixo Paraíba do Sul. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 32., 1982, Salvador. **Anais...** Salvador: SGB, 1982, v. 4, p. 1459-1503.

MORAES, J.M. **Geodiversidade do estado do Mato Grosso**. Goiânia: CPRM, 2010. 111 p.; 30 cm + 1 DVD-ROM.

PEIXOTO, C.A.B. **Geodiversidade do estado de São Paulo**. São Paulo: CPRM, 2010. 176 p.; 30 cm + 1 DVD-ROM.

PFALTZGRAFF, P.A.S.; TORRES, F.S.M. (Orgs.). **Geodiversidade do estado do Rio Grande do Norte**. Recife: CPRM, 2010. 227 p.; 30 cm + 1 DVD-ROM.

PFALTZGRAFF, P.A.S.; TORRES, F.S.M.; BRANDÃO, R.L. (Orgs.). **Geodiversidade do estado do Piauí**. Recife: CPRM, 2010. 260 p.; 30 cm + 1 DVD-ROM.

PONÇANO, W.L.; CARNEIRO, C.D.R.; ALMEIDA M.A.; PIRES NETO, A.G.; ALMEIDA, F.F.M. O conceito de sistemas de relevo aplicado ao mapeamento geomorfológico do estado de São Paulo. In: SIMPÓSIO REGIONAL DE GEOLOGIA, 2., 1979, Rio Claro. **Atas...** Rio Claro: SBG/NS, 1979, v. 2, p. 253-262.

RAMOS, M.A.B.; ESPÍRITO SANTO, E.B.; PFALTZGRAFF, P.A.S.; DANTAS, M.E.; MAIA, M.A.M.; GONÇALVES, J.H.; JESUS, J.D.A.; SIMÃO, G.C.F.; JACQUES, P.D.; THEODOROVICZ, A.; ORLANDI FILHO, V.; MARQUES, V.J.; SILVA, C.R. Procedimentos no tratamento digital

de dados para o projeto SIG geologia ambiental do Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 43., 2006, Aracaju. **Anais...** Aracaju: SBG, 2006. 1 CD-ROM.

RAMOS, M.A.B.; DANTAS, M.E.; THEODOROVICZ, A.; MARQUES, V.J.; ORLANDI FILHO, V.; MAIA, M.A.M.; PFALTZGRAFF, P.A.S. Metodologia e estruturação da base de dados em sistema de informação geográfica. In: MAIA, M.A.M.; MARMOS, J.L. (Orgs.). **Geodiversidade do estado do Amazonas**. Manaus: CPRM, 2010. cap. 12. p. 149-162.

ROSS, J.L.S. **Geomorfologia, ambiente e planejamento**. São Paulo: Contexto, 1990. 85 p.

ROSS, J.L.S.; MOROZ, I.C. Mapa geomorfológico do estado de São Paulo. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, v. 10, p. 41-59, 1996.

SILVA, C.R. da (Ed.). **Geodiversidade do Brasil: conhecer o passado, para entender o presente e prever o futuro**. Rio de Janeiro: CPRM, 2008. 264 p.

SOARES, P.C.; FIORI, A.P. Lógica e sistemática na análise e interpretação de fotografias aéreas em geologia. **Notícia Geomorfológica**, Campinas, v. 16, n. 32, p. 71-104, 1976.

THEODOROVICZ, A.M.G.; THEODOROVICZ, A. (Orgs.). **Geodiversidade do estado de Mato Grosso do Sul**. São Paulo: CPRM, 2010. 179 p.; 30 cm + 1 DVD-ROM.

VIERO, A.C.; SILVA, D.R.A. (Orgs.). **Geodiversidade do estado do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: CPRM, 2010. 250 p.; 30 cm + 1 DVD-ROM.

11

METODOLOGIA E ESTRUTURAÇÃO DA BASE DE DADOS EM SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA

Maria Angélica Barreto Ramos (*angelica.barreto@cprm.gov.br*)¹

Marcelo Eduardo Dantas (*marcelo.dantas@cprm.gov.br*)¹

Antonio Theodorovicz (*antonio.theodorovicz@cprm.gov.br*)¹

Valter José Marques (*valter.marques@cprm.gov.br*)¹

Vitório Orlandi Filho (*vitórioorlandi@gmail.com*)²

Maria Adelaide Mansini Maia (*adelaide.maia@cprm.gov.br*)¹

Pedro Augusto dos Santos Pfaltzgraff (*pedro.augusto@cprm.gov.br*)¹

¹CPRM – Serviço Geológico do Brasil

²Consultor

SUMÁRIO

Introdução	143
Procedimentos Metodológicos	143
Definição dos Domínios e Unidades Geológico-Ambientais	143
Atributos da Geologia.....	144
Deformação	144
Tectônica: dobramentos	144
Tectônica: fraturamento (juntas e falhas)/cisalhamento	144
Tipo de deformação.....	144
Aspecto	144
Comportamento Reológico.....	144
Resistência ao Intemperismo Físico.....	144
Resistência ao Intemperismo Químico	145
Grau de Coerência	145
Características do Manto de Alteração Potencial (Solo Residual).....	145

Porosidade Primária	146
Característica da Unidade Lito-Hidrogeológica.....	146
Atributos do Relevo	146
Modelo Digital de Terreno – Shuttle Radar Topography Mission (Srtm)	148
Mosaico Geocover 2000	149
Análise da Drenagem	149
Kit de Dados Digitais.....	149
Trabalhando com o Kit de Dados Digitais	150
Estruturação da Base de Dados: GeoBank	152
Atributos dos Campos do Arquivo das Unidades Geológico-Ambientais:	
Dicionário de Dados.....	153
Referências.....	154

INTRODUÇÃO

Neste capítulo são apresentadas as diversas etapas que envolveram o tratamento digital dos dados no desenvolvimento do SIG Mapa Geodiversidade do Estado do Maranhão, do Programa Geologia do Brasil (PGB) da CPRM/SGB, integrante do Programa de Aceleração do Crescimento (PAC 2009), que tem como objetivo a geração de produtos voltados para o ordenamento territorial e o planejamento dos setores mineral, transportes, agricultura, turismo e meio ambiente.

As informações produzidas estão alojadas no GeoBank (sistema de bancos de dados geológicos corporativo da CPRM/SGB), a partir das informações geológicas multiescalares contidas em suas bases Litoestratigrafia e Recursos Minerais, além da utilização de sensores como o Modelo Digital de Terreno SRTM (Shuttle Radar Topography Mission), do Mosaico GeoCover 2000 e das informações de estruturas e drenagem (CPRM, 2004; RAMOS et al., 2005; THEODOROVICZ et al., 1994, 2001, 2002, 2005; TRAININI e ORLANDI, 2003; TRAININI et al., 1998, 2001).

Do mesmo modo que na elaboração do Mapa Geodiversidade do Brasil (escala 1:2.500.000), também foram utilizadas, para o Mapa Geodiversidade do Estado do Maranhão, informações temáticas de infraestrutura, recursos minerais, unidades de conservação, terras indígenas e áreas de proteção integral e de desenvolvimento sustentável estaduais e federais, dados da rede hidrológica e de água subterrânea, áreas impactadas (erosão, desertificação), áreas oneradas pela mineração, informações da Zona Econômica Exclusiva da Plataforma Continental (ZEE), gasodutos e oleodutos, dados paleontológicos, geoturísticos e paleontológicos.

PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Assim como para o Mapa Geodiversidade do Brasil e do SIG Geodiversidade ao Milionésimo, os levantamentos estaduais foram elaborados seguindo as orientações contidas em roteiro metodológico preparado para essa fase, apoiados em *kits* digitais personalizados para cada estado, que contêm todo o material digital (imagens, arquivos vetoriais etc.) necessário ao bom desempenho da tarefa.

A sistemática de trabalho adotada permitiu a continuação da organização dos dados na Base Geodiversidade inserida no GeoBank (CPRM/SGB), desde a fase do recorte ao milionésimo até os estaduais e, sucessivamente, em escalas de maior detalhe (em trabalhos futuros), de forma a possibilitar a conexão dos dados vetoriais aos dados alfanuméricos. Em uma primeira fase, com auxílio dos elementos-chave descritos nas tabelas dos dados vetoriais, é possível vincular facilmente mapas digitais ao GeoBank, como na montagem de SIGs, em que as tabelas das *shapefiles* (arquivos vetoriais) são produtos da consulta sistemática ao banco de dados.

DEFINIÇÃO DOS DOMÍNIOS E UNIDADES GEOLÓGICO-AMBIENTAIS

O estabelecimento de domínios geológico-ambientais e suas subdivisões para o estado do Maranhão se insere nos critérios adotados para a definição dos domínios e unidades geológico-ambientais do Brasil, com o objetivo de se agrupar conjuntos estratigráficos de comportamento semelhante frente ao uso e à ocupação dos terrenos. Da mesma forma, o resultado obtido não foi um mapa geológico ou tectônico, mas sim um novo produto, denominado Mapa Geodiversidade do Estado do Maranhão, no qual foram inseridas informações de cunho ambiental, muito embora a matéria-prima para análises e agrupamentos tenha sido proveniente das informações contidas nas bases de dados de Litoestratigrafia e Recursos Minerais do GeoBank, bem como na larga experiência em mapeamento e em projetos de ordenamento e gestão do território dos profissionais da CPRM/SGB.

A base geológico-ambiental foi obtida a partir de reclassificação e generalização do tema geologia, contido no SIG Geologia e Recursos Minerais do Estado do Maranhão, Escala: 1.750.000 (KLEIN; SOUSA, 2012).

Em alguns casos foram agrupadas, em um mesmo domínio, unidades estratigráficas com idades diferentes, desde que a elas se aplicasse um conjunto de critérios classificatórios, como: posicionamento tectônico, nível crustal, classe da rocha (ígnea, sedimentar ou metamórfica), grau de coesão, textura, composição, tipos e graus de deformação, expressividade do corpo rochoso, tipos de metamorfismo, expressão geomorfológica ou litotipos especiais. Se, por um lado, agruparam-se, por exemplo, quartzitos friáveis e arenitos friáveis, por outro foram separadas formações sedimentares muito semelhantes em sua composição, estrutura e textura, quando a geometria do corpo rochoso apontava no sentido da importância em distinguir uma situação de extensa cobertura de uma situação de pacote restrito, limitado em riftes.

O principal objetivo para tal compartimentação é atender a uma ampla gama de usos e usuários interessados em conhecer as implicações ambientais decorrentes do embasamento geológico. Para a elaboração do Mapa Geodiversidade do Brasil (escala 1:2.500.000), analisaram-se somente as implicações ambientais provenientes de características físico-químicas, geométricas e genéticas dos corpos rochosos. Na escala 1:1.000.000, do recorte ao milionésimo e dos estados, foram selecionados atributos aplicáveis ao planejamento e dos compartimentos de relevo, reservando-se para as escalas de maior detalhe o cruzamento com informações sobre clima, solo e vegetação.

Como a Base Geodiversidade é fruto da reclassificação das unidades litoestratigráficas contidas na base multiescalar Litoestratigrafia, compondo conjuntos estratigráficos de comportamento semelhante frente ao uso e à ocupação, atualmente essa base possui a estruturação em

domínios e unidades geológico-ambientais apresentada no Apêndice I (Unidades Geológico-Ambientais do Território Brasileiro). Tal estruturação é dinâmica e, na medida do detalhamento das escalas, novos domínios e unidades podem ser inseridos.

ATRIBUTOS DA GEOLOGIA

Desde a etapa do recorte ao milionésimo, para melhor caracterizar as unidades geológico-ambientais, foram selecionados atributos da geologia que permitem uma série de interpretações na análise ambiental, os quais são descritos a seguir.

Deformação

Relacionada à dinâmica interna do planeta. Procede-se à interpretação a partir da ambiência tectônica, litológica e análise de estruturas refletidas nos sistemas de relevo e drenagem.

Tectônica: dobramentos

- Ausente: sedimentos inconsolidados (aluviões, dunas, terraços etc.).
- Não dobrada: sequências sedimentares, vulcanosedimentares e rochas ígneas não dobradas e não metamorfizadas.
- Pouco a moderadamente dobrada: sequências sedimentares ou vulcanosedimentares do tipo Bambuí, por exemplo.
- Pouco a moderadamente dobrada: a exemplo das sequências sedimentares ou vulcanosedimentares.
- Intensamente dobrada: a exemplo das sequências sedimentares ou vulcanosedimentares complexa e intensamente dobradas (por exemplo, grupos Açungui e Minas, dentre outros) e das rochas granito-gnaissigmigmatíticas.
- Moderada a intensamente dobrada.
- Pouco a intensamente dobrada.

Tectônica: fraturamento (juntas e falhas)/cisalhamento

- Não fraturada: caso das coberturas sedimentares inconsolidadas.
- Pouco a moderadamente fraturada (distribuição regular).
- Pouco a moderadamente fraturada (distribuição irregular).
- Moderada a intensamente fraturada (distribuição regular).
- Moderada a intensamente fraturada (distribuição irregular).
- Pouco a intensamente fraturada (distribuição regular).
- Pouco a intensamente fraturada (distribuição irregular).

- Intensamente fraturada (distribuição regular).
- Intensamente fraturada (distribuição irregular).
-

Tipo de Deformação

- Não se aplica
- Deformação rúptil
- Deformação dúctil/rúptil
- Deformação rúptil/dúctil
- Deformação dúctil

Aspecto

- Sem estruturas
- Estratificada/Biogênica
- Maciça/Vesicular
- Maciça/Acamadada
- Maciça/Laminada
- Maciça
- Acamadada
- Acamadada/Filitosa
- Acamadada/Xistosa
- Xistosa/Maciça
- Filitosa/Xistosa
- Acamadamento Magmático
- Gnáissica
- Bandada
- Concrecional
- Concrecional/Nodular
- Biogênica
- Estruturas de Dissolução
- Estruturas de Colapso

Comportamento Reológico

De acordo com Oliveira e Brito (1998), as rochas podem apresentar as seguintes características reológicas (comportamento frente a esforços mecânicos):

- Comportamento isotrópico: aplica-se quando as propriedades das rochas são constantes, independentemente da direção observada.
- Comportamento anisotrópico: quando as propriedades variam de acordo com a direção considerada.
As bibliotecas para esse atributo são:
 - Isotrópico: caso dos granitos com granulação e textura homogênea.
 - Anisotrópico: caso das unidades formadas por diversas litologias e/ou deformações heterogêneas.

Resistência ao Intemperismo Físico

Procede-se à dedução a partir da análise da composição mineral da rocha ou das rochas que sustentam a unidade geológico-ambiental.

Se for apenas um tipo de litologia que sustenta a unidade geológico-ambiental ou se forem complexos

plutônicos de várias litologias, são definidas as seguintes classificações para esse atributo:

Baixa: rochas ricas em minerais ferromagnesianos, arenitos, siltitos, metassedimentos argilosos, rochas ígneas ricas em micas, calcários, lateritas, rochas ígneas básico-ultrabásico-alcálicas efusivas.

Moderada a alta: ortoquartzitos, arenitos silicificados, leucogranitos e outras rochas pobres em micas e em minerais ferromagnesianos, formações ferríferas, quartzitos e arenitos impuros.

Não se aplica: sedimentos inconsolidados.

Se forem várias litologias que sustentam a unidade, a classificação será:

Baixa a moderada na vertical: caso de coberturas pouco a moderadamente consolidadas.

Baixa a alta na vertical: unidades em que o substrato rochoso é formado por empilhamento de camadas horizontalizadas, não dobradas, de litologias de composição mineral e com grau de consolidação muito diferentes, como as intercalações irregulares de calcários, arenitos, siltitos, argilitos etc.

Baixa a alta na horizontal e na vertical: sequências sedimentares e vulcanossedimentares dobradas e compostas de várias litologias; rochas gnáissico-migmatíticas e outras que se caracterizam por apresentar grande heterogeneidade composicional, textural e deformacional lateral e vertical.

Resistência ao Intemperismo Químico

Procede-se à dedução a partir da análise da composição mineral da rocha ou das rochas que sustentam a unidade geológico-ambiental.

Se for só um tipo de litologia que sustenta a unidade geológico-ambiental ou se forem complexos plutônicos de várias litologias, são definidas as seguintes classificações para esse atributo:

Baixa: calcários, rochas básicas, ultrabásicas, alcalinas etc.

Moderada a alta: ortoquartzitos, leucogranitos e outras rochas pobres em micas e em minerais ferromagnesianos, quartzitos e arenitos impuros, granitos ricos em minerais ferromagnesianos e micáceos etc.

Não se aplica: aluviões.

Entretanto, se forem várias litologias que sustentam a unidade geológico-ambiental, a classificação será:

Baixa a moderada na vertical: unidades em que o substrato rochoso é formado por empilhamento de camadas horizontalizadas, não dobradas, de composição mineral e grau de consolidação semelhantes a ligeiramente diferentes e mesma composição mineralógica.

Baixa a alta na vertical: unidades em que o substrato rochoso é formado por empilhamento de camadas horizontalizadas, não dobradas, de litologias de composição mineral e grau de consolidação muito diferentes, como as intercalações irregulares de calcários, arenitos, siltitos, argilitos etc.

Baixa a alta na horizontal e na vertical: sequências sedimentares e vulcanossedimentares dobradas e com-

postas de várias litologias; rochas gnáissico-migmatíticas e outras que se caracterizam por apresentar grande heterogeneidade composicional, textural e deformacional lateral e vertical.

Grau de Coerência

Refere-se à resistência ao corte e à penetração. Mesmo em se tratando de uma única litologia, deve-se prever a combinação dos vários tipos de graus de coerência, a exemplo dos arenitos e siltitos (Figura 11.1). Para o caso de complexos plutônicos com várias litologias, todas podem estar enquadradas em um único grau de coerência.

As classificações utilizadas nesse atributo são:

- Muito brandas
- Brandas
- Médias
- Duras
- Muito brandas a duras

Entretanto, se forem várias litologias, esta será a classificação:

- Variável na horizontal
- Variável na vertical
- Variável na horizontal e vertical
- Não se aplica

Características do Manto de Alteração Potencial (Solo Residual)

Procede-se à dedução a partir da análise da composição mineral das rochas. Por exemplo, independentemente de outras variáveis que influenciam as características do solo, como clima, relevo e evolução do solo, o manto de alteração de um basalto será argiloso e, o de um granito, argilo-siltico-arenoso.

- Predominantemente arenoso: substrato rochoso sustentado por espessos e amplos pacotes de rochas predominantemente arenoquartzosas.
- Predominantemente argiloso: predominância de rochas que se alteram para argilominerais, a exemplo de derrames basálticos, complexos básico-ultrabásico-alcálicos, terrenos em que predominam rochas calcárias etc.
- Predominantemente argilossiltoso: siltitos, folhelhos, filitos e xistos.
- Predominantemente argilo-siltico-arenoso: rochas granitoides e gnáissico-migmatíticas ortoderivadas.
- Variável de arenoso a argilossiltoso: sequências sedimentares e vulcanossedimentares compostas por alternâncias irregulares de camadas pouco espessas, interdigitadas e de composição mineral muito contrastante, a exemplo das sequências em que se alternam, irregularmente, entre si, camadas de arenitos quartzosos com pelitos, calcários ou rochas vulcânicas.
- Predominantemente siltoso: siltitos e folhelhos.
- Não se aplica

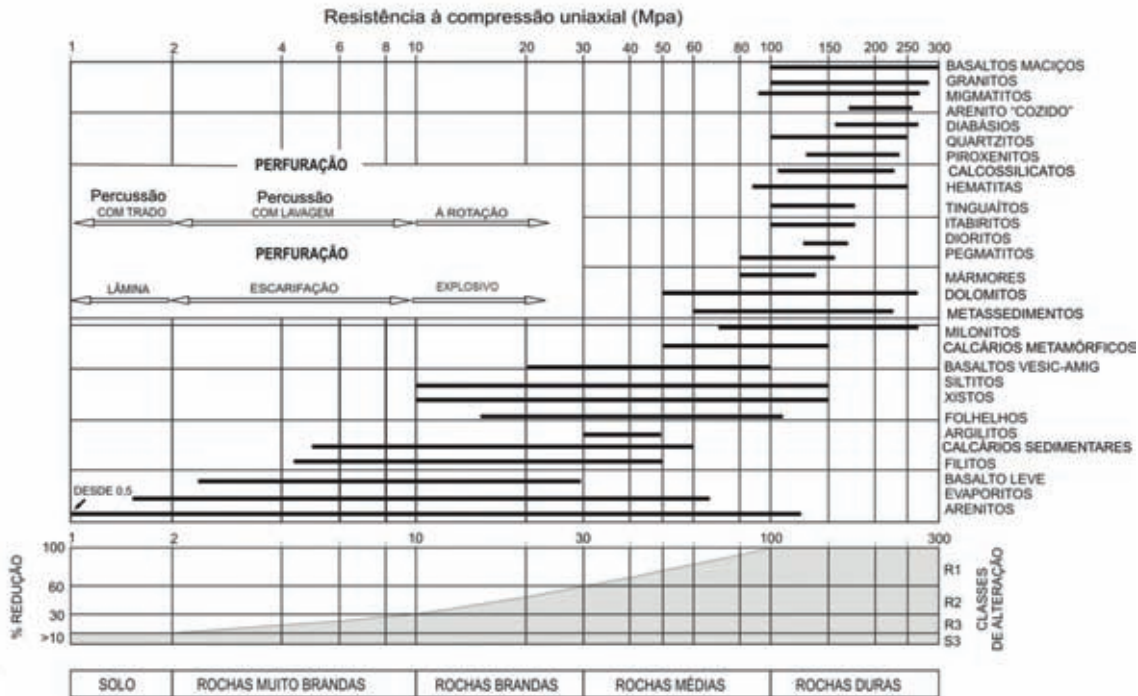


Figura 11.1 - Resistência à compressão uniaxial e classes de alteração para diferentes tipos de rochas. Fonte: Modificado de Vaz (1996).

Porosidade Primária

Relacionada ao volume de vazios em relação ao volume total da rocha. O preenchimento deverá seguir os procedimentos descritos na Tabela 11.1.

Caso seja apenas um tipo de litologia que sustenta a unidade geológico-ambiental, observar o campo "Descrição" da Tabela 11.1. Entretanto, se forem complexos plutônicos de várias litologias, a porosidade é baixa.

- Baixa: 0 a 15%
- Moderada: de 15 a 30%
- Alta: >30%

Para os casos em que várias litologias sustentam a unidade geológico-ambiental, observar o campo "Tipo" da Tabela 11.1.

Variável (0 a >30%): a exemplo das unidades em que o substrato rochoso é formado por um empilhamento irregular de camadas horizontalizadas porosas e não porosas.

Característica da Unidade Lito-Hidrogeológica

São utilizadas as seguintes classificações:

- Granular: dunas, depósitos sedimentares inconsolidados, planícies aluviais, coberturas sedimentares etc.
- Fissural
- Granular/fissural
- Cárstico
- Não se aplica

ATRIBUTOS DO RELEVO

Com o objetivo de conferir uma informação geomorfológica clara e aplicada ao mapeamento da geodiversidade do território brasileiro e dos estados federativos em escalas de análise muito reduzidas (1:500.000 a 1:1.000.000), procurou-se identificar os grandes conjuntos morfológicos passíveis de serem delimitados em tal tipo de escala, sem muitas preocupações quanto à gênese e evolução morfodinâmica das unidades em análise, assim como aos processos geomorfológicos atuantes. Tais avaliações e controvérsias, de âmbito exclusivamente geomorfológico, seriam de pouca valia para atender aos propósitos deste estudo. Portanto, termos como: depressão, crista, patamar, platô, *cuesta*, *hog-back*, pediplano, peneplanos, etchplano, escarpa, serra e maciço, dentre tantos outros, foram englobados em um reduzido número de conjuntos morfológicos.

Portanto, esta proposta difere, substancialmente, das metodologias de mapeamento geomorfológico presentes na literatura, tais como: a análise integrada entre a compartimentação morfológica dos terrenos, a estrutura sub-superficial dos terrenos e a fisiologia da paisagem proposta por Ab'Saber (1969); as abordagens descritivas em base morfométrica, como as elaboradas por Barbosa et al. (1977), para o Projeto RadamBrasil, e Ponçano et al. (1979) e Ross e Moroz (1996), para o Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT); as abordagens sistêmicas, com base na compartimentação topográfica em bacias de drenagem (MEIS et al., 1982); ou a reconstituição de superfícies regionais de aplainamento (LATRUBESSE et al., 1998).

Tabela 11.1 - Tabela de porosidade total dos diversos materiais rochosos.

Material		Porosidade Total % m					Porosidade Eficaz % me			Obs.
Tipo	Descrição	Média	Normal		Extraordinária		Média	Máx.	Mín.	
			Máx.	Mín.	Máx.	Mín.				
Rochas maciças	Granito	0,3	4	0,2	9	0,05	<0,2	0,5	0,0	A
	Calcário maciço	8	15	0,5	20		<0,5	1	0,0	B
	Dolomito	5	10	2			<0,5	1	0,0	B
Rochas metamórficas		0,5	5	0,2			<0,5	2	0,0	A
Rochas vulcânicas	Piroclasto e tufas	30	50	10	60	5	<5	20	0,0	C, E
	Escórias	25	80	10			20	50	1	C, E
	Pedra-pome	85	90	50			<5	20	0,0	D
	Basaltos densos, fonólitos	2	5	0,1			<1	2	0,1	A
	Basaltos vesiculares	12	30	5			5	10	1	C
Rochas sedimentares consolidadas (ver rochas maciças)	Pizarras sedimentares	5	15	2	30	0,5	<2	5	0,0	E
	Arenitos	15	25	3	30	0,5	10	20	0,0	F
	Creta blanda	20	50	10			1	5	0,2	B
	Calcário detrítico	10	30	1,5			3	20	0,5	
Rochas sedimentares inconsolidadas	Aluviões	25	40	20	45	15	15	35	5	E
	Dunas	35	40	30			20	30	10	
	Cascalho	30	40	25	40	20	25	35	15	
	Löss	45	55	40			<5	10	0,1	E
	Areias	35	45	20			25	35	10	
	Depósitos glaciais	25	35	15			15	30	5	
	Silte	40	50	25			10	20	2	E
	Argilas não compactadas	45	60	40	85	30	2	10	0,0	E
Solos superiores	50	60	30			10	20	1	E	

Fonte: Modificado de Custodio e Llamas (1983).

Nota: Alguns dados, em especial os referentes à porosidade eficaz (me), devem ser tomados com precauções, segundo as circunstâncias locais. **A** = Aumenta m_e e me por meteorização; **B** = Aumenta m e m_e por fenômenos de dissolução; **C** = Diminui m e m_e com o tempo; **D** = Diminui m e pode aumentar me com o tempo; **E** = m_e muito variável, segundo as circunstâncias do tempo; **F** = Varia segundo o grau de cimentação e solubilidade

O mapeamento de padrões de relevo é, essencialmente, uma análise morfológica do relevo com base em fotointerpretação da textura e rugosidade dos terrenos a partir de diversos sensores remotos.

Nesse sentido, é de fundamental importância esclarecer que não se pretendeu produzir um mapa geomorfológico, mas um mapeamento dos padrões de relevo em consonância com os objetivos e as necessidades de um mapeamento da geodiversidade do território nacional em escala continental.

Com esse enfoque, foram selecionados 28 padrões de relevo para os terrenos existentes no território brasileiro (Tabela 11.2), levando-se, essencialmente, em consideração:

- Parâmetros morfológicos e morfométricos que pudessem ser avaliados pelo instrumental tecnológico disponível nos kits digitais (imagens LandSat GeoCover e Modelo Digital de Terreno (MDT) e Relevo Sombrea-

do (SRTM); mapa de classes de hipsometria; mapa de classes de declividade).

- Reinterpretação das informações existentes nos mapas geomorfológicos produzidos por instituições diversas, em especial os mapas desenvolvidos no âmbito do Projeto RadamBrasil, em escala 1:1.000.000.
- Execução de uma série de perfis de campo, com o objetivo de aferir a classificação executada.

Para cada um dos atributos de relevo, com suas respectivas bibliotecas, há uma legenda explicativa (Apêndice II – Biblioteca de Relevo do Território Brasileiro), que agrupa características morfológicas e morfométricas gerais, assim como informações muito elementares e generalizadas quanto à sua gênese e vulnerabilidade frente aos processos geomorfológicos (intempéricos, erosivos e deposicionais).

Evidentemente, considerando-se a vastidão e a enorme geodiversidade do território brasileiro, assim como seu con-

junto diversificado de paisagens bioclimáticas e condicionantes geológico-geomorfológicas singulares, as informações de amplitude de relevo e declividade, dentre outras, devem ser reconhecidas como valores-padrão, não aplicáveis indiscriminadamente a todas as regiões. Não se descartam sugestões de ajuste e aprimoramento da Tabela 11.2 e do Apêndice II apresentados nesse modelo, as quais serão bem-vindas.

MODELO DIGITAL DE TERRENO – SHUTTLE RADAR TOPOGRAPHY MISSION (SRTM)

A utilização do Modelo Digital de Terreno ou Modelo Digital de Elevação ou Modelo Numérico de Terreno, no contexto do Mapa Geodiversidade do Estado do Maranhão, justifica-se por sua grande utilidade em estudos de análise ambiental.

Um Modelo Digital de Terreno (MDT) é um modelo contínuo da superfície terrestre, ao nível do solo, repre-

sentado por uma malha digital de matriz cartográfica encadeada, ou *raster*, onde cada célula da malha retém um valor de elevação (altitude) do terreno. Assim, a utilização do MDT em estudos geoambientais se torna imprescindível, uma vez que esse modelo tem a vantagem de fornecer uma visão tridimensional do terreno e suas inter-relações com as formas de relevo e da drenagem e seus padrões de forma direta. Isso permite a determinação do grau de dissecação do relevo, informando também o grau de declividade e altimetria, o que auxilia grandemente na análise ambiental, como, por exemplo, na determinação de áreas de proteção permanente, projetos de estradas e barragens, trabalhos de mapeamento de vegetação etc.

A escolha do Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) [missão espacial liderada pela NASA, em parceria com as agências espaciais da Alemanha (DLR) e Itália (ASI)], realizada durante 11 dias do mês de fevereiro de 2000, visando à geração de um modelo digital de elevação quase

Tabela 11.2 - Atributos e biblioteca de padrões de relevo do território brasileiro.

Símbolo	Tipo de Relevo	Declividade (graus)	Amplitude Topográfica (m)
R1a	Planícies Fluviais ou Fluviolacustres	0 a 3	zero
R1b1	Terraços Fluviais	0 a 3	2 a 20
R1b2	Terraços Marinhos	0 a 3	2 a 20
R1b3	Terraços Lagunares	0 a 3	2 a 20
R1c1	Vertentes Recobertas por Depósitos de Encosta	5 a 45	Variável
R1c2	Leques Aluviais	0 a 3	2 a 20
R1d	Planícies Fluvio marinhas	0 (plano)	zero
R1e	Planícies Costeiras	0 a 5	2 a 20
R1f1	Campos de Dunas	3 a 30	2 a 40
R1f2	Campos de Löss	0 a 5	2 a 20
R1g	Recifes	0	zero
R2a1	Tabuleiros	0 a 3	20 a 50
R2a2	Tabuleiros Dissecados	0 a 3	20 a 50
R2b1	Baixos Platôs	0 a 5	0 a 20
R2b2	Baixos Platôs Dissecados	0 a 5	20 a 50
R2b3	Planaltos	0 a 5	20 a 50
R2c	Chapadas e Platôs	0 a 5	0 a 20
R3a1	Superfícies Aplainadas Conservadas	0 a 5	0 a 10
R3a2	Superfícies Aplainadas Degradadas	0 a 5	10 a 30
R3b	<i>Inselbergs</i>	25 a 60	50 a 500
R4a1	Domínio de Colinas Amplas e Suaves	3 a 10	20 a 50
R4a2	Domínio de Colinas Dissecadas e Morros Baixos	5 a 20	30 a 80
R4a3	Domos em Estrutura Elevada	3 a 10	50 a 200
R4b	Domínio de Morros e de Serras Baixas	15 a 35	80 a 200
R4c	Domínio Montanhoso	25 a 60	300 a 2000
R4d	Escarpas Serranas	25 a 60	300 a 2000
R4e	Degraus Estruturais e Rebordos Erosivos	10 a 45	50 a 200
R4f	Vales Encaixados	10 a 45	100 a 300

global] foi devida ao fato de os MDTs disponibilizados por esse sensor já se encontrarem disponíveis para toda a América do Sul, com resolução espacial de aproximadamente 90 x 90 m, apresentando alta acurácia e confiabilidade, além da gratuidade (CCRS, 2004 citado por BARROS et al., 2004).

Durante a realização dos trabalhos de levantamento da geodiversidade do território brasileiro, apesar de todos os pontos positivos apresentados, os dados SRTM, em algumas regiões, acusaram problemas, tais como: valores espúrios (positivos e negativos) nas proximidades do mar e áreas onde não são encontrados valores. Tais problemas são descritos em diversos trabalhos do SRTM (BARROS et al., 2004), sendo que essas áreas recebem o valor -32768, indicando que não há dado disponível.

A literatura do tema apresenta diversas possibilidades de correção desses problemas, desde substituição de tais áreas por dados oriundos de outros produtos – o GTOPO30 aparece como proposta para substituição em diversos textos – ao uso de programas que objetivam diminuir tais incorreções por meio de edição de dados (BARROS et al., 2004). Neste estudo, foi utilizado o software ENVI 4.1 para solucionar o citado problema.

MOSAICO GEOCOVER 2000

A justificativa para utilização do Mosaico GeoCover 2000 é o fato de este se constituir em um mosaico ortoretilificado de imagens ETM+ do sensor LandSat 7, resultante do *sharpening* das bandas 7, 4, 2 e 8. Esse processamento realiza a transformação RGB-IHS (canais de cores RGB-IHS / vermelho, verde e azul – Matiz, Saturação e Intensidade), utilizando as bandas 7, 4 e 2 com resolução espacial de 30 m e, posteriormente, a transformação IHS-RGB utilizando a banda 8 na Intensidade (I) para aproveitar a resolução espacial de 15 m. Tal procedimento alia as características espaciais da imagem com resolução de 15 m às características espectrais das imagens com resolução de 30 m, resultando em uma imagem mais “aguçada”. As imagens do Mosaico GeoCover LandSat 7 foram coletadas no período de 1999/2000 e apresentam resolução espacial de 14,25 m.

Além da exatidão cartográfica, o Mosaico GeoCover possui outras vantagens, como: facilidade de aquisição dos dados sem ônus, âncora de posicionamento, boa acurácia e abrangência mundial, o que, juntamente com o MDT, torna-o imprescindível aos estudos de análise ambiental (ALBUQUERQUE et al., 2005; CREPANI; MEDEIROS, 2005).

ANÁLISE DA DRENAGEM

Segundo Guerra e Cunha (2001), o reconhecimento, a localização e a quantificação das drenagens de determinada região são de fundamental importância ao entendimento dos processos geomorfológicos que governam as transformações do relevo sob as mais diversas condições climáticas e geológicas. Nesse sentido, a utilização das informações espaciais extraídas do traçado e da forma das drenagens

é indispensável na análise geológico-ambiental, uma vez que são respostas/resultados das características ligadas a aspectos geológicos, estruturais e processos geomorfológicos, os quais atuam como agentes modeladores da paisagem e das formas de relevo.

Dessa forma, a integração de atributos ligados às redes de drenagem – como tipos de canais de escoamento, hierarquia da rede fluvial e configuração dos padrões de drenagem – a outros temas trouxe respostas a várias questões relacionadas ao comportamento dos diferentes ambientes geológicos e climáticos locais, processos fluviais dominantes e disposição de camadas geológicas, dentre outros.

KIT DE DADOS DIGITAIS

Na fase de execução dos mapas de geodiversidade estaduais, o *kit* de dados digitais constou, de acordo com o disponível para cada estado, dos seguintes temas:

- Geodiversidade: arquivo dos domínios e unidades geológico-ambientais
- Geologia e estruturas: arquivo das estruturas geológicas
- Assentamento: arquivo das áreas de assentamento agrícola
- Áreas alagadas
- Aptidão agrícola das terras
- Áreas protegidas e especiais: unidades de conservação, terras indígenas e quilombolas: áreas de quilombolas
- Bacias hidrográficas: recorte das bacias e sub-bacias de drenagem
- Cobertura vegetal
- Dados do mar
- Hidrografia: drenagens bifilar e unifilar
- Limites administrativos e territórios de cidadania
- Planimetria: cidades, vilas, povoados, rodovias etc.
- Poços: dados de poços cadastrados pelo Sistema de Informações de Águas Subterrâneas (SIAGAS) criado pela CPRM/SGB
- Pontos geoturísticos: sítios geológicos, paleontológicos, ocorrências fósseis, cavernas etc.
- Recursos minerais: dados de recursos minerais
- Solos
- ZEE (Zona Econômica Exclusiva da Plataforma Continental): recursos minerais e feições da ZEE
- MDT_SRTM: arquivo *grid* pelo recorte do estado
- GeoCover: arquivo *grid* pelo recorte do estado
- Hipsometria: arquivo *grid*
- Simbologias ESRI: fontes e arquivos **style* (arquivo de cores e simbologias utilizadas pelo programa ArcGis) para implementação das simbologias para leiaute – instruções de uso por meio do arquivo **leia-me.doc**, que se encontra dentro da pasta.

As figuras 11.2 a 11.4 ilustram parte dos dados do *kit* digital para o Mapa Geodiversidade do Estado do Maranhão.

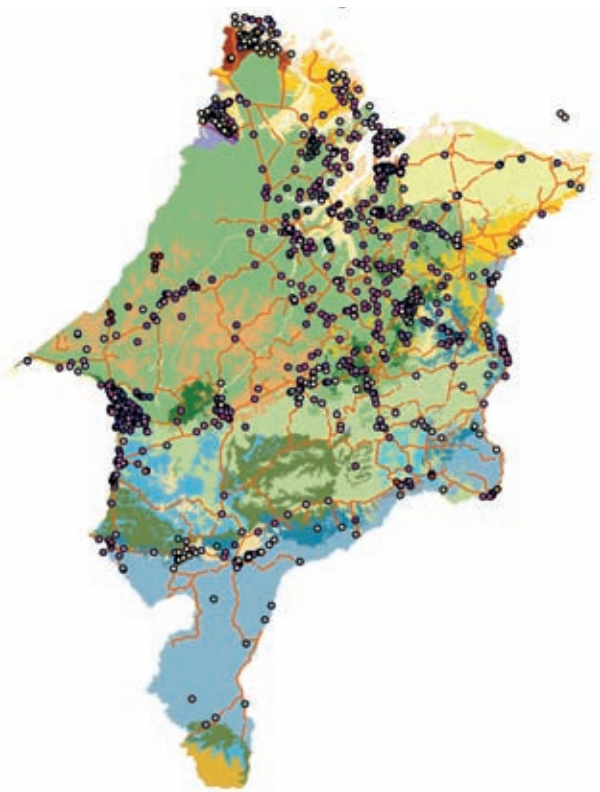


Figura 11.2 - Exemplo de dados do *kit* digital para o estado do Maranhão: unidades geológico-ambientais *versus* rodovias e recursos minerais.



Figura 11.4 - Exemplo de dados do *kit* digital para o estado do Maranhão: modelo digital de elevação (SRTM) *versus* drenagem bifilar e batimetria.



Figura 11.3 - Exemplo de dados do *kit* digital para o estado do Maranhão: bacias hidrográficas *versus* batimetria, rodovias e drenagem unifilar e bifilar.

Os procedimentos de tratamento digital e processamento das imagens *geotiff* e *MrSid* (SRTM e GeoCover, respectivamente), dos *grids* (declividade e hipsométrico), bem como dos recortes e *reclass* dos arquivos vetoriais (litologia, planimetria, curvas de nível, recursos minerais etc.) contidos no *kit* digital foram realizados em ambiente SIG, utilizando os *softwares* ArcGis 10 e ENVI 8.4.

Trabalhando com o *Kit* de Dados Digitais

Na metodologia adotada, a unidade geológico-ambiental, fruto da reclassificação das unidades geológicas (*reclass*), é a unidade fundamental de análise, na qual foram agregadas todas as informações da geologia possíveis de serem obtidas a partir dos produtos gerados por atualização da cartografia geológica dos estados, SRTM, mosaico GeoCover 2000 e drenagem.

Com a utilização dos dados digitais contidos em cada DVD-ROM foi estruturado, para cada folha ou mapa estadual, um **Projeto.mxd** (conjunto de *shapes* e *leiaute*) organizado no *software* ArcGis 10.

No diretório de trabalho havia um arquivo *shapefile*, denominado **geodiversidade_estado.shp**, que correspondia ao arquivo da geologia onde deveria ser aplicada a reclassificação da geodiversidade.

Após a implantação dos domínios e unidades geológico-ambientais, procedia-se ao preenchimento dos parâ-

metros da geologia e, posteriormente, ao preenchimento dos campos com os atributos do relevo.

As informações do relevo serviram para melhor caracterizar a unidade geológico-ambiental e também para subdividi-la. Porém, essa subdivisão, em sua maior parte, alcançou o nível de polígonos individuais.

Quando houve necessidade de subdivisão do polígono, ou seja, quando as variações fisiográficas eram muito contrastantes, evidenciando comportamentos hidrológicos e erosivos muito distintos, esse procedimento foi realizado. Nessa etapa, considerou-se o relevo como um atributo para subdividir a unidade, propiciando novas deduções na análise ambiental.

Assim, a nova unidade geológico-ambiental resultou da interação da unidade geológico-ambiental definida na primeira etapa com o relevo.

Finalizado o trabalho de implementação dos parâmetros da geologia e do relevo pela equipe responsável, o material foi enviado para a Coordenação de Geoprocessamento, que procedeu à auditoria do arquivo digital da geodiversidade para retirada de polígonos espúrios, superposição e vazios gerados durante o processo de edição. Paralelamente, iniciou-se a carga dos dados na Base Geodiversidade – APLICATIVO GEODIV (VISUAL BASIC), com posterior migração dos dados para o GeoBank (CPRM/SGB).

ESTRUTURAÇÃO DA BASE DE DADOS: GEOBANK

A implantação dos projetos de levantamento da geodiversidade do Brasil teve como objetivo principal oferecer aos diversos segmentos da sociedade brasileira uma tradução do conhecimento geológico-científico, com vistas a sua aplicação ao uso adequado para o ordenamento territorial e planejamento dos setores mineral, transportes, agricultura, turismo e meio ambiente, tendo como base as informações geológicas presentes no SIG da Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo (CPRM, 2004).

Com essa premissa, a Coordenação de Geoprocessamento da Geodiversidade, após uma série de reuniões com as Coordenações Temáticas e com as equipes locais da CPRM/SGB, estabeleceu normas e procedimentos básicos a serem utilizados nas diversas atividades dos levantamentos estaduais, com destaque para:

- Definição dos domínios e unidades geológico-ambientais com base em parâmetros geológicos de interesse na análise ambiental, em escalas 1:2.500.000, 1:1.000.000 e mapas estaduais.
- A partir da escala 1:1.000.000, criação de atributos geológicos aplicáveis ao planejamento e informações dos compartimentos do relevo.
- Acuidade cartográfica compatível com as escalas adotadas.
- Estruturação de um modelo conceitual de base para o planejamento, com dados padronizados por meio de bibliotecas.

- Elaboração da legenda para compor os leiautes dos mapas de geodiversidade estaduais.
- Criação de um aplicativo de entrada de dados local desenvolvido em Visual Basic 6.0 Aplicativo GEODIV.
- Implementação do modelo de dados no GeoBank (Oracle) e migração dos dados do Aplicativo GEODIV para a Base Geodiversidade.
- Entrada de dados de acordo com a escala e fase (mapas estaduais).
- Montagem de SIGs.
- Disponibilização dos mapas na Internet, por meio do módulo Web Map do GeoBank (<http://geobank.sa.cprm.gov.br>), onde o usuário tem acesso a informações relacionadas às unidades geológico-ambientais (Base Geodiversidade) e suas respectivas unidades litológicas (Base Litoestratigrafia).

A necessidade de prover o SIG Geodiversidade com tabelas de atributos referentes às unidades geológico-ambientais, dotadas de informações para o planejamento, implicou a modelagem de uma Base Geodiversidade, intrinsecamente relacionada à Base Litoestratigrafia, uma vez que as unidades geológico-ambientais são produto de reclassificação das unidades litoestratigráficas.

Esse modelo de dados foi implantado em um aplicativo de entrada de dados local desenvolvido em Visual Basic 6.0, denominado GEODIV. O modelo do aplicativo apresenta seis telas de entrada de dados armazenados em três tabelas de dados e 16 tabelas de bibliotecas. A primeira tela recupera, por escala e fase, todas as unidades geológico-ambientais cadastradas, filtrando, para cada uma delas, as letras-símbolos das unidades litoestratigráficas (Base Litoestratigrafia) (Figura 11.5).

Posteriormente, de acordo com a escala adotada, o usuário cadastra todos os atributos da geologia de interesse para o planejamento (Figura 11.6).

Na última tela, o usuário cadastra os compartimentos de relevo (Figura 11.7).

Todos os dados foram preenchidos pela equipe da Coordenação de Geoprocessamento e inseridos no aplicativo que possibilita o armazenamento das informações no GeoBank (Oracle), formando, assim, a Base Geodiversidade (Figura 11.8).

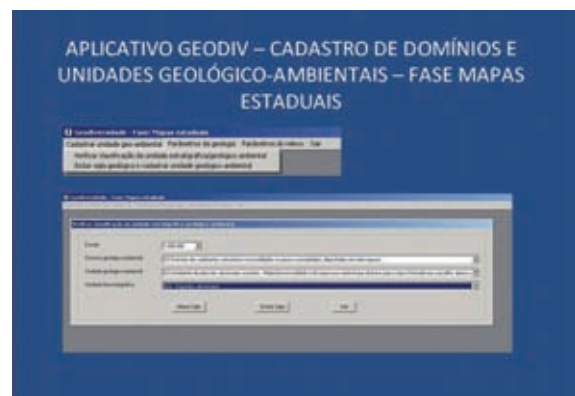


Figura 11.5 - Tela de cadastro das unidades geológico-ambientais para os mapas estaduais de geodiversidade (aplicativo GEODIV).

O módulo da Base Geodiversidade, suportado por bibliotecas, recupera, também por escala e por fase (quadrícula ao milionésimo, mapas estaduais), todas as informações das unidades geológico-ambientais, permitindo a organização dos dados no GeoBank, de forma a possibilitar a conexão dos dados vetoriais com os dados alfanuméricos. Na primeira fase, com auxílio dos elementos-chave descritos nas tabelas, é possível vincular, facilmente, mapas digitais ao GeoBank, como na montagem de SIGs, em que as tabelas são produtos da consulta sistemática ao banco de dados.

Outra importante ferramenta de visualização dos mapas geoambientais é o módulo Web Map do GeoBank, onde o usuário tem acesso a informações relacionadas às unidades geológico-ambientais (Base Geodiversidade) e suas respectivas unidades litológicas (Base Litoestratigrafia), podendo recuperar as informações dos atributos relacionados à geologia e ao relevo diretamente no mapa (Figura 11.9).

ATRIBUTOS DOS CAMPOS DO ARQUIVO DAS UNIDADES GEOLÓGICO-AMBIENTAIS: DICIONÁRIO DE DADOS

São descritos, a seguir, os atributos dos campos que constam no arquivo shapefile da unidade geológico-ambiental.

COD_DOM (CÓDIGO DO DOMÍNIO GEOLÓGICO-AMBIENTAL) – Sigla dos domínios geológico-ambientais.

DOM_GEO (DESCRIÇÃO DO DOMÍNIO GEOLÓGICO-AMBIENTAL) – Reclassificação da geologia pelos grandes domínios geológicos.

COD_UNIGEO (CÓDIGO DA UNIDADE GEOLÓGICO-AMBIENTAL) – Sigla da unidade geológico-ambiental.

UNIGEO (DESCRIÇÃO DA UNIDADE GEOLÓGICO-AMBIENTAL) – As unidades geológico-ambientais foram agrupadas com características semelhantes do ponto de vista da resposta ambiental a partir da subdivisão dos



Figura 11.9 - Módulo Web Map de visualização dos arquivos vetoriais/base de dados (GeoBank).

domínios geológico-ambientais e por critérios-chaves descritos anteriormente.

DEF_TEC (DEFORMAÇÃO TECTÔNICA/DOBRAMENTOS) – Relacionado à rocha ou ao grupo de rochas que compõe a unidade geológico-ambiental.

CIS_FRAT (TECTÔNICA FRATURAMENTO/CISALHAMENTO) – Relacionado à rocha ou ao grupo de rochas que compõe a unidade geológico-ambiental.

TIPO_DEF (TIPO DE DEFORMAÇÃO) – Relacionado à rocha ou ao grupo de rochas que compõe a unidade geológico-ambiental.

COM_REOL (COMPORTAMENTO REOLÓGICO) – Relacionado à rocha ou ao grupo de rochas que compõe a unidade geológico-ambiental.

ASPECTO (ASPECTOS TEXTURAS E ESTRUTURAS) – Relacionado às rochas ígneas e/ou metamórficas que compõem a unidade geológico-ambiental.

INTEMP_F (RESISTÊNCIA AO INTEMPERISMO FÍSICO) – Relacionado à rocha ou ao grupo de rochas sãs que compõe a unidade geológico-ambiental.

INTEMP_Q (RESISTÊNCIA AO INTEMPERISMO QUÍMICO) – Relacionado à rocha ou ao grupo de rochas sãs que compõe a unidade geológico-ambiental.

GR_COER (GRAU DE COERÊNCIA DA(S) ROCHA(S) FRESCA(S)) – Relacionado à rocha ou ao grupo de rochas que compõe a unidade geológico-ambiental.

TEXTURA (TEXTURA DO MANTO DE ALTERAÇÃO) – Relacionado ao padrão textural de alteração da rocha ou ao grupo de rochas que compõe a unidade geológico-ambiental.

PORO_PRI (POROSIDADE PRIMÁRIA) – Relacionado à porosidade primária da rocha ou do grupo de rochas que compõe a unidade geológico-ambiental.

AQUÍFERO (TIPO DE AQUÍFERO) – Relacionado ao tipo de aquífero que compõe a unidade geológico-ambiental.

COD_REL (CÓDIGO DOS COMPARTIMENTOS DO RELEVO) – Siglas para a divisão dos macrocompartimentos de relevo.

RELEVO (MACROCOMPARTIMENTOS DO RELEVO) – Descrição dos macrocompartimentos de relevo.

GEO_REL (CÓDIGO DA UNIDADE GEOLÓGICO-AMBIENTAL + CÓDIGO DO RELEVO) – Sigla da nova unidade geológico-ambiental, fruto da composição da unidade geológica com o relevo. Na escala 1:1.000.000, é o campo indexador, que liga a tabela aos polígonos do mapa e ao banco de dados (é formada pelo campo **COD_UNIGEO + COD_REL**).

OBS (CAMPO DE OBSERVAÇÕES) – Campo-texto onde são descritas todas as observações consideradas relevantes na análise da unidade geológico-ambiental.

REFERÊNCIAS

AB'SABER, A.N. Um conceito de geomorfologia a serviço das pesquisas sobre o quaternário. **Geomorfologia**, São Paulo, n. 18, p. 1-23, 1969.

ALBUQUERQUE, P.C.G.; SANTOS, C.C.; MEDEIROS, J.S. **Avaliação de mosaicos com imagens LandSat TM para utilização em documentos cartográficos em escalas menores que 1/50.000**. São José dos Campos: INPE, 2005. Disponível em: <<http://mtc-m12.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/iris@1912/2005/09.28.16.52/doc/publicacao.pdf>>. Acesso em: 21 dez. 2009.

BARBOSA, G.V.; FRANCO, E.M.S.; MOREIRA, M.M.A. Mapas geomorfológicos elaborados a partir do sensor radar. **Notícia Geomorfológica**, Campinas, v. 17, n. 33, p. 137-152, jun. 1977.

BARROS, R.S.; CRUZ, M.B.C.; REIS, B.R.; ROCHA, F.M.E.; BARBOSA, G.L. Avaliação do modelo digital de elevação da SRTM na ortorretificação de imagens Spot 4. Estudo de caso: Angra dos Reis – RJ. In: SIMPÓSIO EM CIÊNCIAS GEODÉSICAS E TECNOLOGIA DA GEOINFORMAÇÃO, 1., 2004, Recife. **Anais...** Recife: UFPE, 2004. 1 CD-ROM.

BERGER, A. Geoindicators: what are they and how are they being used? In: INTERNATIONAL GEOLOGICAL CONGRESS, 32., 2004, Florence. **Abstracts**. Florence, Italy: IUGS, 2004. v. 2, abs. 209-1, p. 972.

BIZZI, L.A.; SCHOBENHAUS, C.; VIDOTTI, R.M.; GONÇALVES, J.H. **Geologia, tectônica e recursos minerais do Brasil**: texto, mapas e SIG. Brasília, DF: CPRM, 2003. 674 p. il. 1 DVD-ROM.

CCRS. **Natural resources Canada**, 2004. Disponível em: <http://www.ccrs.nrcan.gc.ca/index_e.php>. Acesso em: 21 dez. 2009.

CPRM. **Mapa geoambiental & mapa de domínios geoambientais/zonas homólogas [da] bacia do rio Gravataí**. Porto Alegre, 1998. 2 mapas. Escala 1:100.000. Programa Pró-Guaíba.

CPRM. **Carta geológica do Brasil ao milionésimo**: sistema de informações geográficas (SIG). Brasília, DF: CPRM, 2004. 41 CD-ROM. Escala 1:1.000.000. Programa Geologia do Brasil (PGB).

CPRM. **Instruções e procedimentos de padronização no tratamento digital de dados para projetos de mapeamento da CPRM**: manual de padronização. Rio de Janeiro: CPRM, 2005. v. 2.

CPRM. **Geologia e recursos minerais do estado do Amazonas**: sistema de informações geográficas (SIG). Rio de Janeiro: CPRM, 2006. Escala 1:1.000.000. Programa Geologia do Brasil (PGB). 1 CD-ROM.

CREPANI, E.; MEDEIROS, J.S. **Imagens fotográficas derivadas de MNT do projeto SRTM para fotointerpretação na geologia, geomorfologia e pedologia.** São José dos Campos: INPE, 2004.

CREPANI, E.; MEDEIROS, J.S. Imagens CBERS + imagens SRTM + mosaicos GeoCover LandSat. Ambiente Spring e TerraView: sensoriamento remoto e geoprocessamento gratuitos aplicados ao desenvolvimento sustentável. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12., 2005, Goiânia. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2005. 1 CD-ROM.

CRÓSTA, A.P. **Processamento digital de imagens de sensoriamento remoto.** Campinas: UNICAMP, 1992. 170 p.

CUSTODIO, E.; LLAMAS, M.R. **Hidrologia subterrânea.** 2. ed. corrigida. Barcelona: Omega, 1983. 2 v. Tomo I. 1157 p.: il.

DINIZ, N.C.; DANTAS, A.; SCLIAR, C. Contribuição à política pública de mapeamento geoambiental no âmbito do levantamento geológico. In: OFICINA INTERNACIONAL DE ORDENAMENTO TERRITORIAL E MINEIRO: subsídios ao mapeamento geoambiental, no contexto do LGB e do patrimônio geomineiro, 2005, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: CPRM, 2005.

GUERRA, A.J.T.; CUNHA, S.B. (Org.). **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos.** 4. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2001.

KLEIN, E.L.; SOUSA, C. (Org.). **Geologia e recursos minerais do estado do Maranhão:** sistema de informação geográfica (SIG). Escala 1:750.000. Belém: CPRM, 2012. No prelo.

LATRUBESSE, E.; RODRIGUES, S.; MAMEDE, L. Sistema de classificação e mapeamento geomorfológico: uma nova proposta. **GEOSUL**, Florianópolis, v. 14, n. 27, p. 682-687, 1998.

LIMA, M.I.C. **Análise de drenagem e seu significado geológico-geomorfológico.** Belém: [s.n.], 2006. 1 CD-ROM.

MEIS, M.R.M.; MIRANDA, L.H.G; FERNANDES, N.F. Desnívelamento de altitude como parâmetros para a compartimentação do relevo: bacia do médio-baixo Paraíba do Sul. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 32., 1982, Salvador. **Anais...** Salvador: SGB, 1982. v. 4. p. 1459-1503.

OLIVEIRA, A.M.S.; BRITO, S.N.A. (Ed.). **Geologia de engenharia.** São Paulo: ABGE, 1998. 587 p.

PONÇANO, W.L.; CARNEIRO, C.D.R.; ALMEIDA M.A.; PIRES NETO, A.G.; ALMEIDA, F.F.M. O conceito de sistemas de relevo aplicado ao mapeamento geomorfológico do estado de São Paulo. In: SIMPÓSIO REGIONAL DE GEOLOGIA, 2., 1979, Rio Claro. **Atas...** Rio Claro: SGB/NS, 1979. v. 2. p. 253-262.

RAMOS, M.A.B.; ESPÍRITO SANTO, E.B.; PFALTZGRAFF, P.A.S.; DANTAS, M.E.; MAIA, M.A.M.; GONÇALVES, J.H.; JESUS, J.D.A.; SIMÃO, G.C.F.; JACQUES, P.D.; THEODOROVICZ, A.; ORLANDI FILHO, V.; MARQUES, V.J.; SILVA, C.R. Procedimentos no tratamento digital de dados para o projeto SIG geologia ambiental do Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 43., 2006, Aracaju. **Anais...** Aracaju: SGB, 2006. 1 CD-ROM.

RAMOS, M.A.B. et al. Proposta para determinação de atributos do meio físico relacionados às unidades geológicas, aplicado à análise geoambiental. In: OFICINA INTERNACIONAL DE ORDENAMENTO TERRITORIAL E MINEIRO: subsídios ao mapeamento geoambiental, no contexto do LGB e do patrimônio geomineiro, 2005, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: CPRM, 2005.

RODRIGUES, C.; COLTRINARI, L. Geoindicators of urbanization effects in humid tropical environment: São Paulo (Brazil) metropolitan area. In: INTERNATIONAL GEOLOGICAL CONGRESS, 32nd, 2004, Florence. **Abstracts.** Florence, Italy: IUGS, 2004, v. 2, abs. 209-27, p. 976.

ROSS, J.L.S.; MOROZ, I.C. Mapa geomorfológico do estado de São Paulo. **Revista do Departamento de Geografia da FFLCH/USP**, São Paulo, v. 10, p. 41-59, 1996.

THEODOROVICZ, A.; THEODOROVICZ, A.M. de G.; CANTARINO, S. da C. **Projeto Curitiba:** informações básicas sobre o meio físico – subsídios para o planejamento territorial. Curitiba: CPRM, 1994. 109 p. 1 mapa, escala 1:100.000.

THEODOROVICZ, A.; THEODOROVICZ, M.G.; CANTARINO, S.C. **Projeto Mogi-Guaçu/Pardo:** atlas geoambiental das bacias hidrográficas dos rios Mogi-Guaçu e Pardo, SP: subsídios para o planejamento territorial e gestão ambiental. São Paulo: CPRM, 2000. il.

THEODOROVICZ, A. et al. **Projeto médio Pardo.** São Paulo: CPRM, 2001.

THEODOROVICZ, A.; THEODOROVICZ, A.M. de G.; CANTARINO, S. de C. **Estudos geoambientais e geoquímicos das bacias hidrográficas dos rios Mogi-Guaçu e Pardo.** São Paulo: CPRM, 2002. 1 CD-ROM.

THEODOROVICZ, A. et al. **Projeto paisagens geoquímicas e geoambientais do vale do Ribeira**. São Paulo: CPRM/UNICAMP/FAPESP, 2005.

TRAININI, D.R.; GIOVANNINI, C.A.; RAMGRAB, G.E.; VIERO, A.C. **Carta geoambiental da região hidrográfica do Guaíba**. Porto Alegre: CPRM/FEPAM/PRÓ-GUAÍBA, 2001. Mapas escala 1:250.000.

TRAININI, D.R.; ORLANDI FILHO, V. **Mapa geoambiental de Brasília e entorno**: ZEE-RIDE. Porto Alegre: CPRM/EMBRAPA/Consórcio ZEE Brasil/Ministério da Integração, 2003.

VAZ, L.F. Classificação genética dos solos e dos horizontes de alteração de rocha em regiões tropicais. **Revista Solos e Rochas**, v. 19, n. 2, p. 117-136, 1996.

12

GEODIVERSIDADE: ADEQUABILIDADES/ POTENCIALIDADES E LIMITAÇÕES FRENTE AO USO E À OCUPAÇÃO

Iris Bandeira (*iris.bandeira@cprm.gov.br*)

CPRM – Serviço Geológico do Brasil

SUMÁRIO

Introdução	161
Domínio dos Sedimentos Cenozoicos Inconsolidados ou Pouco Consolidados Depositados em Meio Aquoso (DC)	161
Área de Ocorrência, Elementos de Definição e Relevô Associado.....	161
Características, Adequabilidades e Limitações Frente ao Uso e à Ocupação....	167
Obras de engenharia	167
Agricultura.....	169
Recursos hídricos e fontes poluidoras.....	169
Potencial mineral	171
Potencial geoturístico	171
Domínio dos Sedimentos Cenozoicos Eólicos (DCE).....	172
Área de Ocorrência, Elementos de Definição e Relevô Associado.....	172
Características, Adequabilidades e Limitações Frente ao Uso e à Ocupação....	172
Obras de engenharia	172
Agricultura.....	173
Recursos hídricos e fontes poluidoras.....	173
Potencial mineral	174
Potencial geoturístico	174
Domínio dos Sedimentos Indiferenciados Cenozoicos Relacionados a Retrabalhamento de Outras Rochas, Geralmente Associados a Superfícies de Aplainamento (DCSR).....	175
Área de Ocorrência, Elementos de Definição e Relevô Associado.....	175

Características, Adequabilidades e Limitações Frente ao Uso e à Ocupação....	175
Obras de engenharia	175
Agricultura.....	176
Recursos hídricos e fontes poluidoras.....	177
Potencial mineral	177
Potencial geoturístico	177
Domínio dos Sedimentos Cenozoicos, Pouco a Moderadamente Consolidados, Associados a Tabuleiros (DCT)	177
Área de Ocorrência, Elementos de Definição e Relevô Associado.....	177
Características, Adequabilidades e Limitações Frente ao Uso e à Ocupação....	178
Obras de engenharia	178
Agricultura.....	178
Recursos hídricos e fontes poluidoras.....	178
Potencial mineral	178
Domínio das Coberturas Cenozoicas Detrito-LateríticaS (DCDL).....	179
Área de Ocorrência, Elementos de Definição e Relevô Associado.....	179
Características, Adequabilidades e Limitações Frente ao Uso e à Ocupação....	180
Obras de engenharia	180
Agricultura.....	180
Recursos hídricos e fontes poluidoras.....	180
Potencial mineral	181
Potencial geoturístico	181
Domínio das Coberturas Sedimentares e Vulcanossedimentares Mesozoicas e Paleozoicas, Pouco a Moderadamente Consolidadas, Associadas a Grandes e Profundas Bacias Sedimentares do Tipo Sinéclise (Ambientes Depositionais Continental, Marinho, Desértico, Glacial e Vulcânico) (DSVMP).....	181
Área de Ocorrência, Elementos de Definição e Relevô Associado.....	181
Características, Adequabilidades e Limitações Frente ao Uso e à Ocupação....	183
Terrenos com Predomínio de Espessos Pacotes Formados por Sedimentos à Base de Quartzarenitos.....	184
Obras de engenharia	184
Agricultura.....	185
Recursos hídricos e fontes poluidoras.....	189
Potencial mineral	189
Potencial geoturístico	190
Terrenos com Predomínio de Intercalações Irregulares de Camadas de Sedimentos Arenosos e Siltico-Argilosos	191
Obras de engenharia	193
Agricultura.....	193
Recursos hídricos e fontes poluidoras.....	194
Potencial mineral	194
Potencial geoturístico	194

Terrenos com Predomínio de Intercalações de Sedimentos Arenosos, Síltico-Argilosos e Calcários	195
Obras de engenharia	195
Agricultura.....	196
Recursos hídricos e fontes poluidoras.....	196
Potencial mineral	197
Potencial geoturístico	197
Terrenos com Predomínio de Pelitos	198
Obras de engenharia	198
Agricultura.....	200
Recursos hídricos e fontes poluidoras.....	200
Potencial mineral	200
Potencial geoturístico	201
Domínio do Vulcanismo Fissural do Tipo Platô (DVM)	201
Área de Ocorrência, Elementos de Definição e Relevô Associado.....	201
Características, Adequabilidades e Limitações Frente ao Uso e à Ocupação....	201
Obras de engenharia	201
Agricultura.....	203
Recursos hídricos e fontes poluidoras.....	203
Potencial mineral	204
Potencial geoturístico	204
Domínio das Coberturas Sedimentares Proterozoicas, Não ou Muito Pouco Dobradas e Metamorfizadas, Caracterizadas Por um Empilhamento de Camadas Horizontalizadas e Sub-Horizontalizadas de Várias Espessuras de Sedimentos Clastoquímicos de Várias Composições e Associados aos Mais Diferentes Ambientes Tectonodeposicionais (DSP1).....	204
Área de Ocorrência, Elementos de Definição e Relevô Associado.....	204
Características, Adequabilidades e Limitações Frente ao Uso e à Ocupação....	205
Obras de engenharia	205
Agricultura.....	205
Recursos hídricos e fontes poluidoras.....	206
Potencial mineral	206
Potencial geoturístico	206
Domínio das Sequências Vulcânicas ou Vulcanossedimentares Proterozoicas, não ou Pouco Dobradas e Metamorfizadas (DSVP1).....	206
Área de Ocorrência, Elementos de Definição e Relevô Associado.....	206
Características, Adequabilidades e Limitações Frente ao Uso e à Ocupação....	205
Obras de engenharia	207
Agricultura.....	207
Recursos hídricos e fontes poluidoras.....	208
Potencial mineral	209
Potencial geoturístico	209

Domínio das Sequências Sedimentares Proterozoicas Dobradas, Metamorfizadas de Baixo a Alto Grau (DSP2)	209
Área de Ocorrência, Elementos de Definição e Relevô Associado.....	209
Características, Adequabilidades e Limitações Frente ao Uso e à Ocupação....	210
Obras de engenharia	210
Agricultura.....	212
Recursos hídricos e fontes poluidoras.....	212
Potencial mineral	212
Potencial geoturístico	212
Domínio das Sequências Vulcanossedimentares Proterozoicas Dobradas, Metamorfizadas em Baixo AaAlto Grau (DSVP2)	213
Área de Ocotrrência, Elementos de Definição e Relevô Associado.....	213
Características, Adequabilidades e Limitações Frente ao Uso e à Ocupação....	214
Obras de engenharia	214
Agricultura.....	217
Recursos hídricos e fontes poluidoras.....	217
Potencial mineral	217
Potencial geoturístico	218
Domínio dos Complexos Granitoides não Deformados (DCGR1)/Domínio dos Complexos Granitoides Deformados (DCGR2)	218
Área de Ocorrência, Elementos de Definição e Relevô Associado.....	218
Características, Adequabilidades e Limitações Frente ao Uso e à Ocupação....	221
Obras de engenharia	221
Agricultura.....	222
Recursos hídricos e fontes poluidoras.....	223
Potencial mineral	223
Potencial geoturístico	223
Domínio dos Complexos Gnáissico-Migmatíticos e Granulíticos (DCGMGL)	223
Área de Ocorrência, Elementos de Definição e Relevô Associado.....	223
Características, Adequabilidades e Limitações Frente ao Uso e à Ocupação....	224
Obras de engenharia	224
Agricultura.....	225
Recursos hídricos e fontes poluidoras.....	226
Potencial mineral	227
Potencial geoturístico	227
Referências.....	228

INTRODUÇÃO

Apresenta-se, neste capítulo, a descrição das adequabilidades/potencialidades e limitações frente ao uso e à ocupação dos terrenos existentes no estado do Maranhão, com base nas informações do aspecto físico: geologia, relevo, solo e recursos hídricos.

As informações apresentadas estão fundamentadas na premissa de que aos diferentes grupamentos litológico-estruturais/formas de relevo está associada uma série de características, as quais, quando analisadas em conjunto, indicam, com segurança, as adequabilidades e as limitações dos terrenos, caso sejam destinados a determinada forma de uso, ou quando se analisam seus potenciais minerais, hidrológicos e geoturísticos.

Segundo Theodorovics e Theodorovics (2010, p. 43):

[...] muitas dessas informações são factuais e independem de outras variáveis. Pode-se assumir, por exemplo, dentre outras características e implicações positivas e negativas, que um sedimento arenoso vai gerar um solo arenoso, por consequência, espera-se que seja um solo bastante permeável, ácido, de baixa capacidade de reter elementos, de alta erodibilidade natural; se associado a um relevo suavizado, com baixos declives e amplitudes, será mais espesso, sujeito à arenização pela água das chuvas.

Outras informações podem ser previstas ou propostas por meio de levantamento de campo, que, no caso deste trabalho, limitou-se ao âmbito de reconhecimento, muito aquém da escala de levantamento 1:750.000.

Para esse tipo de análise, a área de estudo foi individualizada em 14 grandes domínios geológico-ambientais, os quais, em função das particularidades geológicas, foram subdivididos em 34 unidades geológico-ambientais (Quadro 12.1). A essas unidades foram agregados critérios geomorfológicos, que implicaram novas divisões, resultando em 138 unidades geológico-ambientais e formas de relevo associadas, conforme metodologia descrita no capítulo 11 (Metodologia e Estruturação da Base de Dados em Sistema de Informação Geográfica, item Definição dos Domínios e Unidades Geológico-Ambientais), constituindo, assim, o Mapa de Geodiversidade do Estado do Maranhão (Figura 12.1).

Os domínios, suas unidades geológico-ambientais e respectivas formas de relevo associadas são descritos individualmente, na ordem cronológica de origem das rochas que os sustentam. Por isso, estão hierarquizados segundo o empilhamento, do mais novo para o mais antigo, ou seja, dos sedimentos recentes inconsolidados ou pouco consolidados para o Complexo Granito-Gnaiss Migmatítico e Granulitos do Proterozoico (2,5 milhões de anos atrás).

A individualização de cada domínio obedeceu aos seguintes critérios:

- descrição dos aspectos geológicos que serviram de parâmetros para sua definição, comentário sobre os

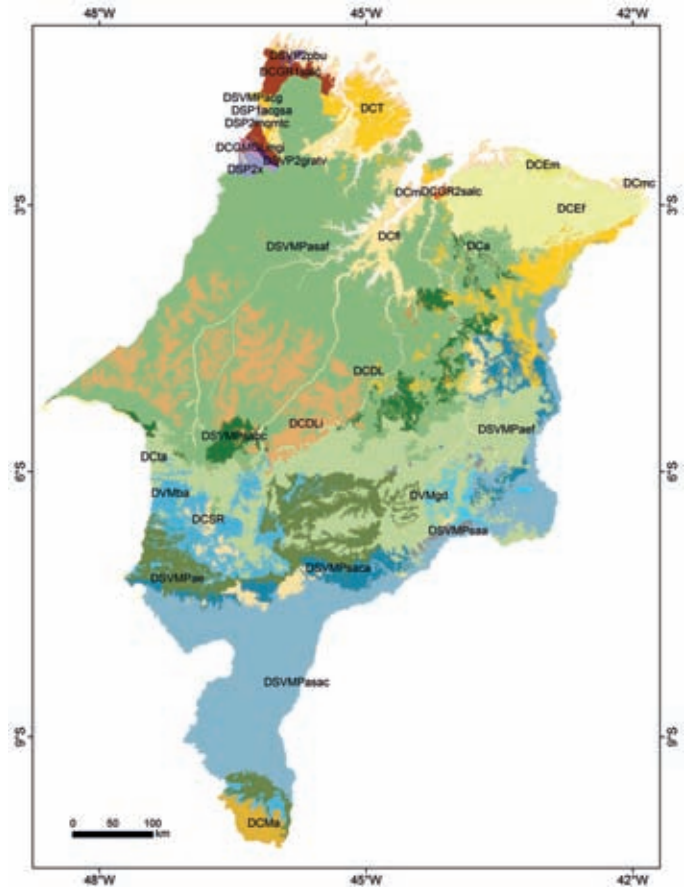


Figura 12.1 - Domínios geológico-ambientais individualizados no estado do Maranhão.

relevo associados e exibição das áreas de ocorrência em mapa em escala reduzida;

- abordagem das características do substrato rochoso, relevo, solo e sistema de drenagem que influenciam as adequabilidades/potencialidades e limitações dos terrenos frente a obras de engenharia, agricultura, recursos hídricos e fontes poluidoras, assim como descrição de potenciais minerais e geoturísticos, quando houver.

Tal forma de apresentação – individualizada por domínio geológico-ambiental – tem por objetivo direcionar a pesquisa, evitando-se a leitura de todo o relatório na busca de informações sobre determinado tipo de terreno.

DOMÍNIO DOS SEDIMENTOS CENOZOICOS INCONSOLIDADOS OU POUCO CONSOLIDADOS, DEPOSITADOS EM MEIO AQUOSO (DC)

Área de Ocorrência, Elementos de Definição e Relevo Associado

Esse domínio abrange uma área aproximada de 21.167,86 km², ocupando grande parte da porção norte do estado do Maranhão, com distribuição irregular nas

Quadro 12.1 - Domínios, unidades geológico-ambientais e unidades geológicas associadas do território maranhense.

Código do Domínio	Código da Unidade Geológico-Ambiental	Unidades Geológico-Ambientais	Unidades Geológicas Associadas
DC	Dca	Ambiente de planícies aluvionares recentes	Depósitos aluvionares
	DCfl	Ambiente fluviolacustre	Depósitos eólicos litorâneos, sedimentos pós-Barreiras
	DCm	Ambiente misto (marinho/continental)	Depósitos de pântanos e mangues
	DCta	Ambiente de terraços aluvionares	Depósitos de terraços
	DCmc	Ambiente marinho costeiro	Depósitos litorâneos
DCE	DCEm	Dunas móveis	Depósitos eólicos litorâneos
	DCEf	Dunas fixas	Depósitos eólicos continentais antigos
DCSR	DCSR	Sedimentos retrabalhados de outras rochas	Depósitos colúvio-eluviais
DCT	DCT	Alternância irregular entre camadas de sedimentos de composição diversa (arenito, siltito, argilito e cascalho).	Grupo Barreiras
DCDL	DCDL	Depósitos detrítico-lateríticos, provenientes de processos de laterização em rochas de composições diversas, sem a presença de crosta	Coberturas lateríticas imaturas
	DCDLi	Horizonte laterítico <i>in situ</i> , proveniente de processos de laterização em rochas de composições diversas, formando crosta	Coberturas lateríticas maduras
DCM	DCMa	Predomínio de sedimentos arenosos, de deposição continental, lacustre, fluvial ou eólica – arenitos	Formação Uruçuia
DSVMP	DSVMPaef	Predomínio de espessos pacotes de arenitos de deposição mista (eólica e fluvial)	Formações Grajaú, Corda e Poti
	DSVMPae	Predomínio de espessos pacotes de arenitos de deposição eólica	Formação Sambaíba
	DSVMPacg	Predomínio de arenitos e conglomerados	Grupo Serra Grande
	DSVMPasaf	Intercalações de sedimentos arenosos, siltico-argilosos e folhelhos	Grupo Itapecuru e Formação Ipixuna
	DSVMPasac	Intercalações irregulares de sedimentos arenosos, siltico-argilosos e calcários	Formações Pedra de Fogo e Piauí
	DSVMPsabc	Predomínio de sedimentos siltico-argilosos intercalados de folhelhos betuminosos e calcários	Formação Codó
	DSVMPsaca	Predomínio de sedimentos siltico-argilosos e calcários com intercalações arenosas subordinadas	Formação Motuca
DVM	DSVMPsaa	Predomínio de sedimentos siltico-argilosos com intercalações arenosas	Formações Pastos Bons e Longá
	DVMgd	Predomínio de rochas básicas intrusivas	Formação Sardinha
	DVMba	Predomínio de basalto com <i>intertraps</i> subordinados de arenito	Formação Mosquito
DSP1	DSP1acgsa	Predomínio de sedimentos arenosos e conglomeráticos, com intercalações subordinadas de sedimentos siltico-argilosos	Formação Piriá
DSVP1	DSVP1va	Predomínio de vulcanismo ácido a intermediário	Formação Rio Diamante, unidades vulcânicas Rosilha e Serra do Jacaré
DSP2	DSP2mqmtc	Metarenitos, quartzitos e metaconglomerados	Formação Igarapé de Areia
	DSP2x	Predomínio de metassedimentos siltico-argilosos, representados por xistos	Grupo Gurupi Indiviso, formações Itapeva Xisto e Jaritequara
DSVP2	DSVP2mqsafmg	Predomínio de metarenitos e quartzitos com intercalações irregulares de metassedimentos siltico-argilosos e formações ferríferas ou manganêsíferas	Formação Ramos
	DSVP2pbu	Predomínio de metapelitos, com intercalações de rochas metabásicas e/ou metaltramáficas	Grupo Aurizona, formações Matará, Pirocaua e Chega Tudo Vulcânica
	DSVP2gratv	Metarenitos feldspáticos, metarenitos, tufo e metavulcânicas básicas a intermediárias	Formação Chega Tudo
DCGR1	DCGR1salc	Séries graníticas subalcalinas: calcialcalinas (baixo, médio e alto-K) e toleíticas	Granitos Moça, Negra Velha, granófiro Piaba e suíte Tromai
DCGR2	DCGR2salc		Granito Maria Suprema, suíte Rosário e microtonalito Garimpo Caxias
DCGMGL	DCGMGmgi	Migmatitos indiferenciados	Complexo Itapeva
	DCGMGLgnp	Predomínio de gnaisses paraderivados. Podem conter porções migmatíticas	Formação Marajupema
	DCGMGLaf	Anfibolitos	Anfibolito Cocal

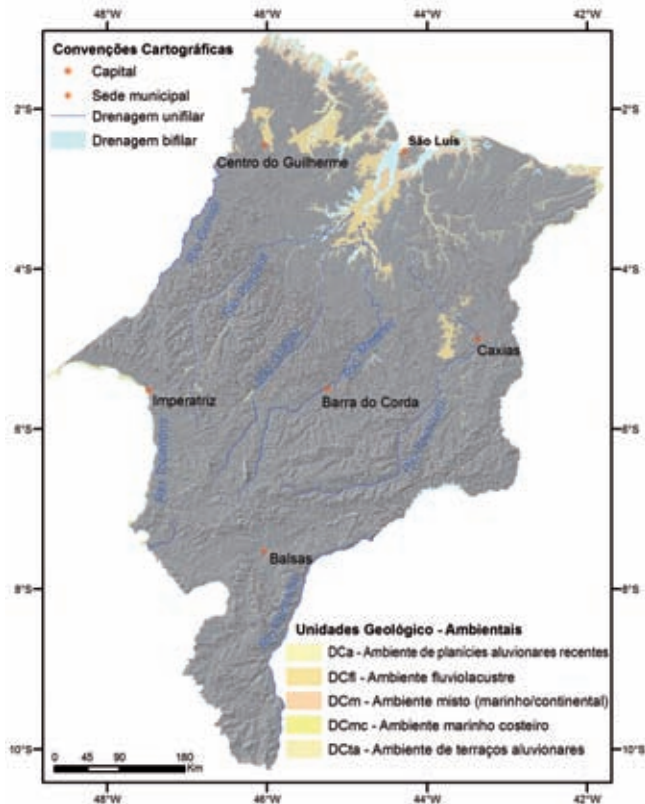


Figura 12.2 - Área de ocorrência das unidades geológico-ambientais do domínio dos sedimentos cenozoicos inconsolidados ou pouco consolidados depositados em meio aquoso (DC).

porções central e centro-oeste (Figura 12.2). São terrenos sustentados por sedimentos depositados entre 1.8 milhões e 10 mil anos atrás, com espessuras e litologias variadas (argila, silte, areia e cascalho), pouco consolidados ou inconsolidados, empilhados irregularmente em camadas horizontalizadas, depositados em ambiente de baixa e/ou alta energia e em áreas com amplitude e altitudes mais baixas. Nesse domínio foram diferenciadas cinco unidades geológico-ambientais.

Ambiente de Planícies Aluvionares Recentes (DCa): Unidade geoambiental cartografada em uma área de 6.266,15 km². No entanto, essa extensão não representa a totalidade dos depósitos de planície aluvial existentes no estado, mas, sim, aqueles com dimensão suficiente para representação na escala do mapa de geodiversidade (1:750.000), como os depósitos aluvionares gerados pelos rios das Almas, Caxias, Turiaçu, Pericumã, Itapecuru, Munim, Preto, Magu, Preguiças, da Ribeira, Parnaíba, Mearim, Pindaré, Buritucupu e Tocantins (Figura 12.3).

A unidade DCa associa-se ao relevo de planícies fluviais ou fluviolacustres caracterizado por superfícies sub-horizontalizadas, pouco elevadas, acima do nível médio dos rios, riachos/igarapés e córregos, periodicamente inundadas em épocas de cheias (GUERRA; GUERRA, 2006) (Figura 12.4). Correspondem, geologicamente, às zonas de acumulação atuais, como os depósitos aluvionares, cons-

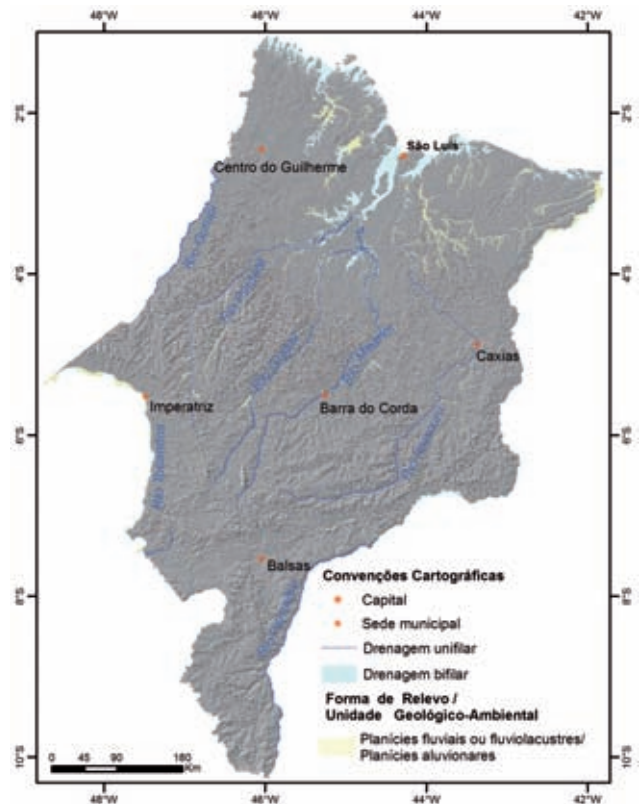


Figura 12.3 - Formas de relevo associadas à unidade geológico-ambiental DCa.

tituídos por material inconsolidado, de espessura variável, formados por intercalações de camadas e lentes de diversas granulometrias, que podem variar de sedimentos arenosos e/ou lamosos a eventualmente depósitos de cascalho, dependendo da fonte do material transportado e da energia da corrente do rio.

Ambiente Fluviolacustre (DCfl): Ambiente constituído por areias e lamias com restos orgânicos vegetais, de origem lagunar, interdigitados com cascalhos e areias grossas a finas, relacionados à sedimentação fluvial. Geologicamente, associa-se aos depósitos fluviolagunares recentes e antigos denominados pós-Barreiras (Figura 12.5).



Figura 12.4 - Planície aluvionar do rio Pindaré, vista a partir da rodovia BR-316. Município Bom Jardim (MA).

Os depósitos fluviolagunares antigos (pós-Barreiras), apesar de terem sido formados em relevos de planície fluviomarinha, atualmente se encontram sob a forma de superfícies aplainadas e colinas amplas, com cotas de até 55 m (Figura 12.5), devido ao recuo do mar e a processos neotectônicos e intempéricos.

Já os depósitos fluviolagunares recentes associam-se ao relevo das planícies fluviomarinhas, caracterizadas por amplitudes, declividades e cotas topográficas muito baixas (0 a 10 m), onde estão instalados grandes lagos (Figura 12.6), com influência fluvial e pluvial, que podem se estender muito além das margens dos rios. Esse ambiente,

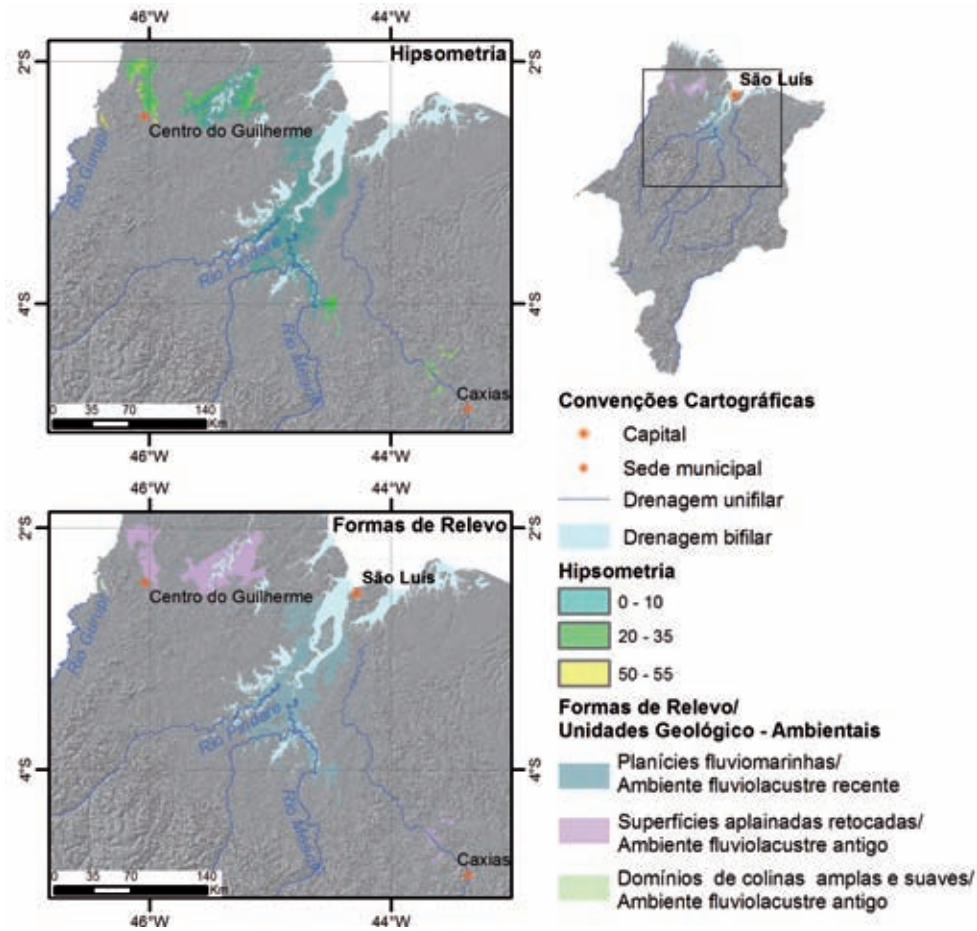


Figura 12.5 - Hipsometria e formas de relevo associadas à unidade-geológico-ambiental DCfl.



Figura 12.6 - Lago formado por águas pluviais e fluviais que se instalaram sobre um solo hidromórfico argiloarenoso e relevo plano, coberto por vegetação aquática (a) e sem vegetação (b). Rodovia BR-222, município Arari (MA).

assim como parte das planícies aluvionares e mangues, está inserido na área da Baixada Maranhense (Figura 12.7), que é uma feição geomorfológica formada por extensos lagos interligados por um sistema de drenagem com canais divagantes, associados aos baixos cursos dos rios Aurá, Mearim, Pindaré, Munim e Itapecuru, que deságuam nas bacias de São Marcos e São José.

Ambiente Misto (Marinho/Continental) (DCm): Unidade geológico-ambiental representada por mangues (Figura 12.8), localizada nas porções noroeste, centro-norte e nordeste da costa maranhense, com área aproximada de 5.489,63 km², constituindo um dos maiores sistemas contínuos de manguezais do mundo (SOUZA-FILHO, 2005).

São áreas de transição entre os ambientes terrestre e marinho, sujeitas a regimes das marés e instaladas em zona úmida, característica de regiões tropicais e subtropicais. Desenvolvem-se a partir de sedimentos marinhos e fluviais, formando terrenos constituídos por intercalações irregulares de sedimentos arenosos e argilosos, que, no geral, são ricos em matéria orgânica em zonas de intermarés, os quais



Figura 12.8 - Canal fluvial rico em particulado fino e planície lamosa, sustentando vegetação de manguê. Vista da ponte que corta o rio afluente do rio Iriri-Açu. Município Carutapera (MA).

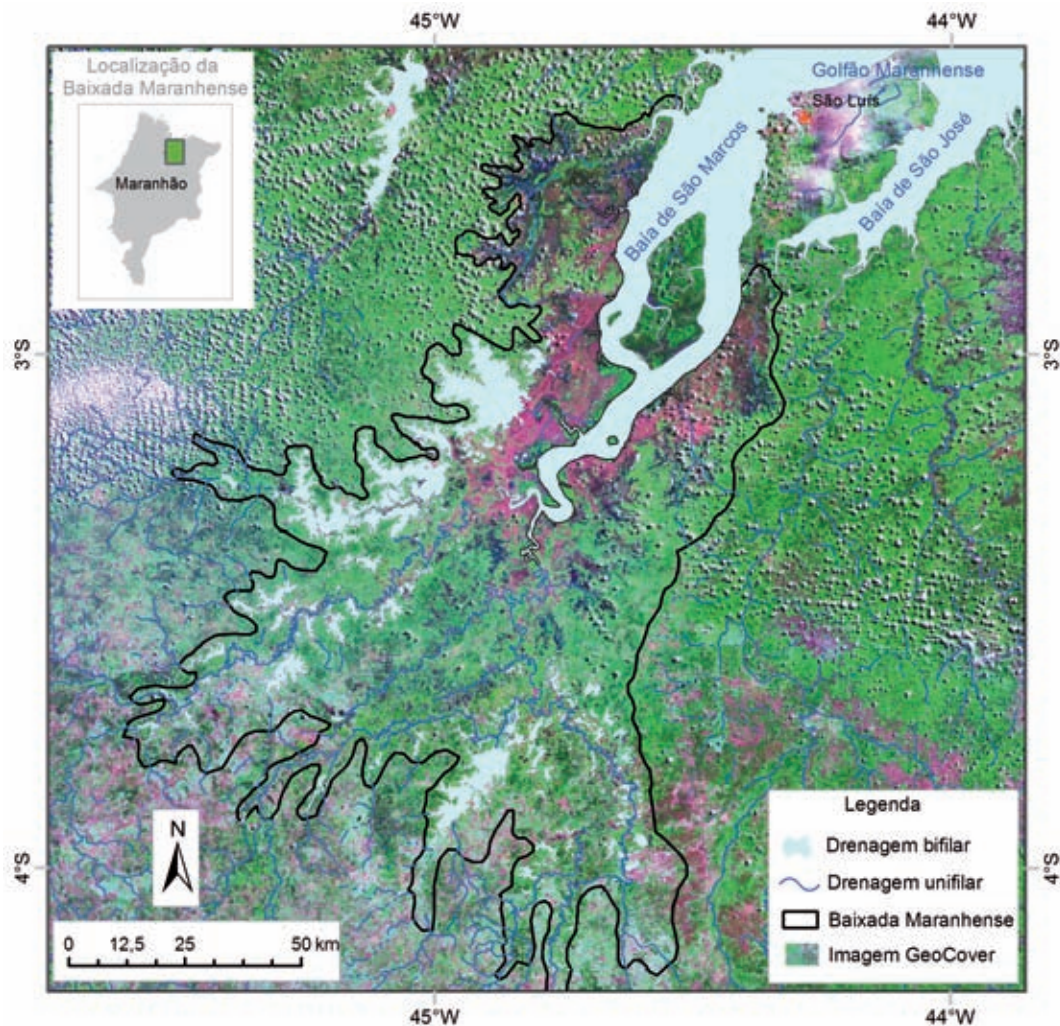


Figura 12.7 - Mapa de localização da baixada maranhense.

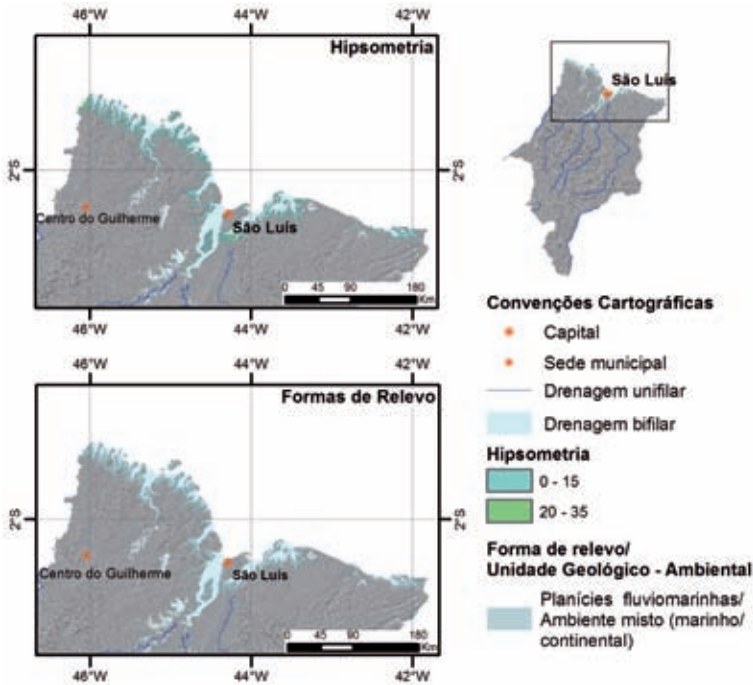


Figura 12.9 - Hipsometria e formas de relevo associadas à unidade geológico-ambiental DCm.

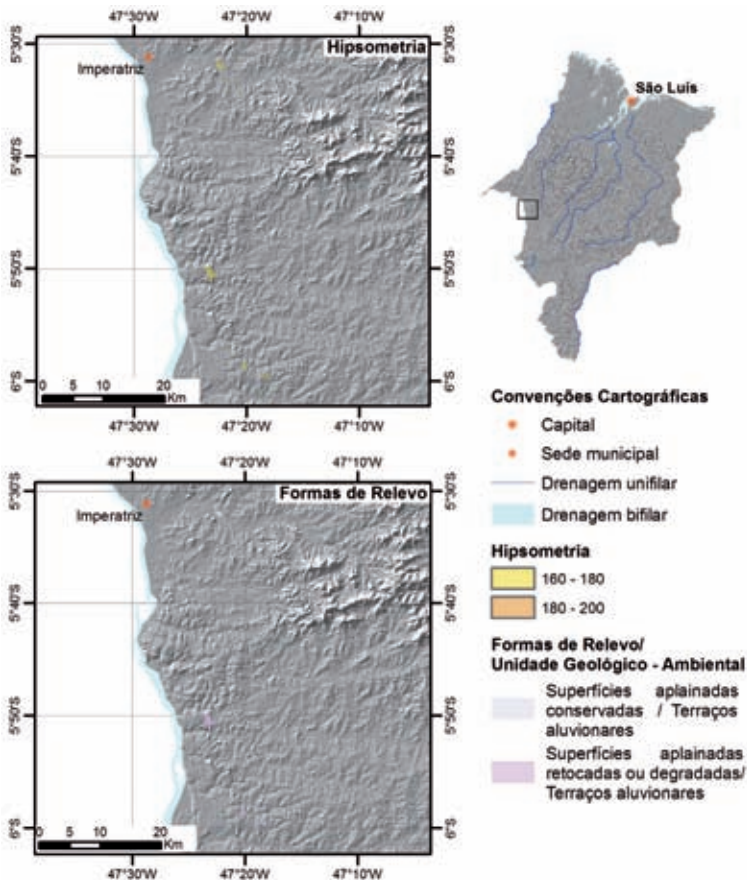


Figura 12.10 - Hipsometria e formas de relevo associadas à unidade geológico-ambiental DCta.

sustentam uma vegetação com predomínio de espécies *Rhizophora* e *Avicenia* (LEBIGRE, 1994). Ocorrem em regiões de topografia plana, classificadas como Planícies Fluviomarinhas (Figura 12.9), que, no estado do Maranhão, apresentam cota topográfica predominantemente entre 2 a 10 m, registrando-se, todavia, cotas de até 35 m.

Ambiente de Terraços Aluvionares (DCta): Terrenos de difícil delimitação em escalas de menor detalhe, porém, na escala 1:750.000, foi possível mapear uma área de 4,47 km² distribuída na porção sudoeste do estado, representada por cotas mais elevadas que as das planícies aluviais – mais altas que o nível das enchentes de rios e várzeas atuais. Constituem-se de material aluvionar mais antigo, ou seja, depósitos sedimentares fluviais semiconsolidados, formados por areia, silte, argila e cascalho. Estão associados a relevos de superfícies aplainadas (Figura 12.10), caracterizadas por superfícies horizontalizadas ou levemente inclinadas, eventualmente atingidas por águas fluviais.

Ambiente Marinho Costeiro (DCmc): Caracteriza-se por depósitos sedimentares arenosos, gerados por ação do mar e ventos, formando zonas de praia e algumas dunas fixas e móveis (Figura 12.11). Essa unidade geológico-ambiental, com 465,98 km², presente em toda a região costeira do estado, associa-se a relevos de planícies costeiras (Figura 12.12), caracterizadas por superfícies sub-horizontais, com microrrelevo ondulado e amplitude de até 20 m, inclinação das vertentes variando entre 0 a 5° e cotas topográficas que atingem até 20 m de altitude.



Figura 12.11 - Ambiente de praia e dunas fixadas pela vegetação. Praia do Calhau, município São Luís (MA).

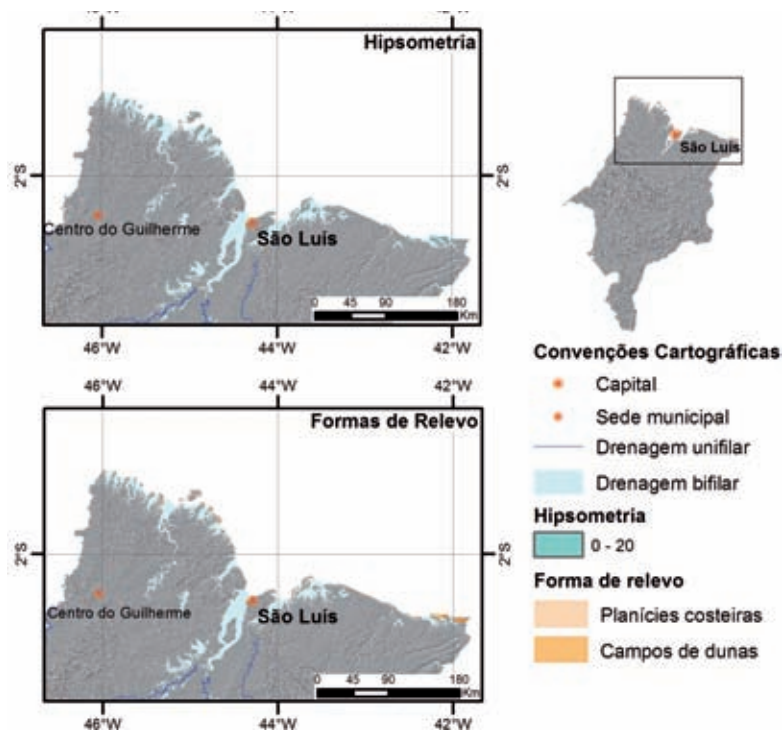


Figura 12.12 - Hipsometria e formas de relevo associadas à unidade geológico-ambiental DCmc.

Características, Adequabilidades e Limitações Frente ao Uso e à Ocupação

Embora tenha sido dividido em cinco unidades geológico-ambientais, esse domínio é constituído por terrenos que, do ponto de vista de relevo e constituição litológica, apresentam características, adequabilidades e limitações comuns a todas as unidades. Por essa razão, as referidas unidades geoambientais serão tratadas em conjunto, com destaque para as individualizações quando necessário.

Obras de engenharia

As unidades desse domínio são constituídas por um empilhamento de camadas horizontalizadas de materiais com granulometrias bastante variadas, que apresentam propriedades geotécnicas distintas na vertical. Tais características provocam descontinuidades geomecânicas e hidráulicas que facilitam a desestabilização e os processos erosivos durante as escavações. Por outro lado, são terrenos com boa homogeneidade geomecânica e hidráulica na lateral e baixa resistência ao corte e à penetração, sendo facilmente removíveis por maquinário.

Se, por um lado, são áreas de relevos planos ou quase planos, com declividades entre 0 e 3%, de baixo potencial de erosão hídrica e movimentos naturais de massa, por outro lado apresentam escoamentos superficial e subsuperficial muito precários, com lenta circulação das águas e alto potencial para formação de poças d'água e alagamentos de longo tempo de duração. Nessas condições, redes de esgoto

estarão sujeitas a entupimentos frequentes, com necessidade de bombeamento para melhorar o fluxo, assim como há possibilidade de ocorrer reversão de fluxo e entupimento em dutos enterrados. A umidade alta favorece a proliferação de fungos e bactérias, tornando o ambiente insalubre para moradias. Ruas e acessos estarão sujeitos a alagamentos constantes.

Nesse domínio predominam áreas onde o lençol freático se apresenta muito próximo à superfície. Esse fato, aliado ao alto índice pluviométrico da região e a solos e sedimentos pouco consolidados e saturados em água, desfavorece obras subterrâneas ou obras com fundações, pois estas poderão sofrer encharcamentos ou se deformar quando submetidas a cargas elevadas, favorecendo a ocorrência de adensamentos, recalques, trincamentos e rupturas de fundações (Figura 12.13).

Nos terrenos das unidades DCfl e DCM é comum a ocorrência de sedimentos e solos ricos em matéria orgânica, que se mantêm encharcados na maior parte do ano (Figura 12.14). Essa situação propicia a formação de ácidos corrosivos, que, aliados à baixa profundidade do lençol freático, podem ocasionar corrosão de tubulações e de estruturas

enterradas e, conseqüentemente, vazamentos em dutos, além de deterioração de blocos de ancoragem e estacas. Por essa razão, deve-se tomar cuidado com a qualidade dos materiais empregados, principalmente quando tais áreas forem destinadas a armazenamento ou circulação de substâncias poluentes. Caso ocorra vazamento, o impacto negativo será de grandes proporções, longa duração e difíceis e onerosas soluções recuperativas.

As áreas com camadas de argilas mostram-se muito rijas e duras, quando secas, e bastante plásticas e aderen-

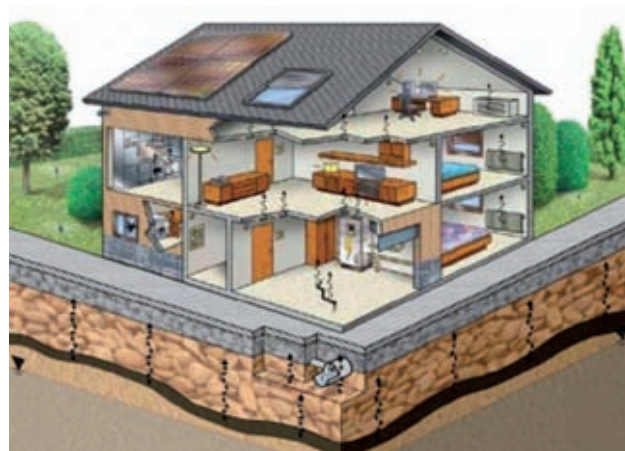


Figura 12.13 - Modelo esquemático de construções com trincamentos, fixadas em terrenos com sedimentos inconsolidados e frequentemente alagáveis.
Fonte: Lazaretti et al. (2010).

tes, quando saturadas em água (Figura 12.15). Caso sejam descompressionadas durante as escavações, podem desencadear o fenômeno conhecido como “corrida de lama”, gerando condições propícias a que ocorram colapsos nas áreas próximas às escavações, situação problemática se houver obra nas proximidades, além de causar emplastamento excessivo em equipamentos e ferramentas.

Os cursos d’água que drenam esse domínio são de baixa energia, portanto, depositam mais do que escavam; conseqüentemente, encontram-se em franco e acelerado processo de assoreamento. Os rios formadores da bacia hidrográfica do rio Mearim nascem nas terras altas circunvizinhas. Dessa forma, estão sujeitos aos efeitos de fortes enxurradas provenientes daquelas áreas, que carregam alta carga de detritos, que vão atulhando suas calhas. Assim, os rios que cortam essa planície tornam-se reféns do uso e



Figura 12.14 - Área plana inundável, com vegetação de junco. Ao fundo, relevo de colinas com vegetação de palmeiras. Rodovia MA-106, município São Bento (MA).



Figura 12.15 - Cava a ser preenchida por água pluvial, com o objetivo de se construir lagos artificiais para piscicultura. Área composta, geotecnicamente, por material muito plástico e pegajoso. Rodovia MA-014, município Viana (MA), próximo aos grandes lagos da baixada maranhense.

ocupação das terras altas circundantes. Consta-se, ainda, que o manejo inadequado dessas terras está acelerando os processos erosivos e, em consequência, aumentando o aporte de detrito nos leitos dos rios que correm na Baixada Maranhense.

As unidades DCa e DCfl apresentam áreas periodicamente inundáveis, com grandes cheias que se prolongam de janeiro a maio. Mesmo com essa informação, observam-se residências instaladas ao longo das planícies aluvionares dos igarapés e principais rios do estado, como Pindaré, Mearim, Grajaú, Parnaíba e Tocantins (Figura 12.16). Essa ocupação inadequada e desordenada, associada à variação do nível dos rios e ao alto índice pluviométrico da região, condiciona um alto risco de desastres naturais relacionados a inundações, que podem provocar perdas de vidas e materiais, como já ocorreu e ainda ocorre em muitas cidades do estado, como, por exemplo, Trizidela do Vale (Figura 12.17), Pedreiras, Vitória do Mearim, Bacabal, Barra do Corda, Igarapé Grande e São Luís Gonzaga do Maranhão, que estão vulneráveis às condições naturais do rio Mearim. Além dessas cidades, há outras que, por estarem em ambientes naturalmente instáveis, também apresentam risco de inundações. Portanto, tais áreas devem ser objeto de zoneamento que contemple um conjunto de regras para a sua ocupação, visando à minimização de perdas materiais e humanas resultantes de grandes cheias (TUCCI, 2007). Tal regulamentação deve ser apoiada em mapas com demarcação de áreas com diferentes riscos de inundação e em critérios de ocupação referentes ao uso e aos aspectos construtivos.

Além do extravazamento dos rios causado pelo alto índice pluviométrico, as áreas da unidade geoambiental DCm estão sujeitas a inundações diárias em decorrência da dinâmica das marés. Essa unidade mostra-se fracamente consolidada, com baixa capacidade de suporte e se compacta e deforma quando submetida a cargas elevadas, tornando-se limitada para qualquer tipo de ocupação urbana ou viária.



Figura 12.16 - Residências instaladas sobre planície aluvionar, com alto risco de sofrerem inundações, devido ao aumento do nível do rio Mearim. Município Barra do Corda (MA).



Figura 12.17 - Vista parcial de inunda o causada por aumento do nível do rio Mearim, em 2009. Município Trizidela do Vale (MA). Fonte: <<http://cacaunoticias.blogspot.com.br/>>.

Já as áreas da unidade Ambiente de Terraços Aluvionares (DCta), por serem terrenos mais elevados que o nível dos rios e apresentarem depósitos mais consolidados, são favoráveis à ocupa o, uma vez que os alagamentos são menos frequentes e com menor tempo de dura o.

A unidade DCmc compreende camadas arenosas, inconsolidadas, com características geomecânicas e hidráulicas mais homog neas que nas demais unidades, nas quais podem ocorrer depósitos de areia muito friável, sujeitos ao fenômeno da liquefa o, que se desestabilizam com facilidade em escava es. Essa mesma unidade, que abrange terrenos situados na faixa litorânea, apresenta alta suscetibilidade   erosão costeira e eólica.

Agricultura

Os solos (Gleissolos, Organossolos, Aluviais) e sedimentos do domínio DC estão associados a relevo plano ou quase plano, que lhes confere baixa suscetibilidade   erosão hídrica, assim como favorece o uso de maquinário motorizado, principalmente na época mais seca, quando são minimizados os riscos de inunda o, característicos de grande parte desses terrenos. Apresentam boa potencialidade para culturas de ciclo curto ou para aquelas adaptadas ao encharcamento.

No entanto, esses solos apresentam drenabilidade superficial e subsuperficial imperfeita, com lençol freático muito próximo   superfície, sujeitos a alagamentos por longo período durante o ano, tornando-se inadequados para o plantio de espécies com raízes profundas. Como a umidade nos solos se mant m alta na maior parte do ano, esses ambientes são favoráveis à prolifera o de vários tipos de doenças e pragas agrícolas (fungos, bactérias e insetos), que, se forem combatidas com agrotóxicos, podem contaminar o lençol freático.

O plantio de culturas perenes ou espécies de raízes profundas são   possível, em alguns casos, mediante a drenagem do solo. Para tanto,   necessária a abertura de

valas, o que resulta em impactos negativos na dinâmica das águas superficiais e subterrâneas e na regularidade da umidade do ar do microclima da região.

Observam-se, ainda, algumas áreas da unidade com solos argilosos com comportamento expansivo, escorregadio e pegajoso, com argilas do tipo 2:1. Nessas áreas é frequente a presença de espaços com altos teores de sais, os quais podem ser identificados pela ocorrência, em alta densidade, de algodão-bravo (MOURA, 2006).

Diferentemente das outras unidades desse domínio, os Ambientes de Terraços Aluvionares (DCta), por terem áreas mais sobrelevadas que o nível das enchentes dos rios, podem ser mais bem aproveitados, desde que o uso agrícola seja bem planejado e se leve em conta o nível freático, que está sujeito às oscila es das enchentes que ocorrem nas áreas vizinhas. No caso dos terraços que ocorrem na Baixada Maranhense, deve-se prever que são áreas sujeitas a alagamentos, porém, menos frequentes e de menor período de dura o, com boa fertilidade natural e boa aptidão para agricultura.

Na unidade Ambiente de Plan cias Aluvionares Recentes (DCa), depositam-se sedimentos e matéria orgânica transportados pelas enxurradas e enchentes dos rios das áreas altas circunvizinhas. Nessas áreas, há maior possibilidade de ocorrerem manchas de solos ricos em matéria orgânica, de boa fertilidade natural, periodicamente renovados pelas enchentes dos rios.

De modo geral, os solos da unidade Ambiente Fluvio-lacustre (DCfl) apresentam muitas limita es   lavoura, pois, geralmente, estão alagados. No entanto, nos períodos de seca apresentam aptidão para planta es de arroz irrigado ou para silvicultura e/ou pastagem natural. Na porão sul dessa unidade, observam-se solos maldrenados, com acumula es pontuais de ferro mosqueado (plintito) e ferro endurecido (petroplintito), com diferentes níveis de resistência ao corte e   penetra o.

Os solos que ocorrem nos mangues (DCm) apresentam boa textura para reten o de nutrientes, por serem argilosos-siltosos. No entanto, possuem excesso de matéria orgânica, são pobres em oxigênio, muito ácidos, maldrenados e, por estarem sob influência da maré, ret m alta quantidade de sódio (solos salinos), o que os limita para a agricultura.

Na unidade Ambiente Marinho Costeiro (DCmc), formam-se solos arenosos, bem drenados, com pouca matéria orgânica, quimicamente ácidos, com baixa capacidade de reten o de umidade e de nutrientes. Embora ocorram em áreas com baixo potencial erosivo, devido à topografia muito suave, estão sujeitos a retrabalhamento por a o eólica e   erosão costeira na faixa litorânea, apresentando-se com baixo potencial para agricultura.

Recursos hídricos e fontes poluidoras

Esse domínio engloba unidades geoambientais com aspectos hídricos que condicionam, a esses ambientes, média a alta vulnerabilidade   contamina o. Sob esse enfoque, destacam-se as principais características do meio

físico relevantes para instalação ou não de fontes potencialmente poluidoras.

Domínio caracterizado por relevo plano a suavemente ondulado, com baixas declividades e amplitudes, com vários lagos e rios com escoamento superficial muito lento, pouco turbulento e de baixo potencial para oxigenar, com características mais concentradoras que dispersoras, em que poluentes demoram muito para se dispersar e se depurar. Assim, o derramamento de poluentes nessas áreas poderá causar impactos ambientais gravíssimos e exigir complexas e onerosas soluções.

Além do recurso hídrico superficial, esse domínio apresenta médio a alto potencial hídrico subterrâneo, uma vez que é composto em subsuperfície por camadas horizontalizadas, não muito espessas, de material com granulometria diferenciada (areia, cascalho), que apresentam alta porosidade, permeabilidade, boa capacidade de armazenamento e transmissividade d'água, constituindo-se em aquíferos porosos situados muito próximos à superfície, funcionando como excelentes fontes de água doce de fácil exploração, a custos baixos. Por outro lado, apresentam alta vulnerabilidade à contaminação, pois o lençol freático expõe-se ou se situa a baixas profundidades e o fluxo d'água se dá na horizontal, em todas as direções, entre sedimentos de baixa capacidade de reter e depurar poluentes. Em caso de acidente com substâncias poluentes, estas podem se deslocar rapidamente em todas as direções e atingir o lençol freático. Dessa forma, estudos hidrogeológicos mais detalhados devem ser realizados, para que fontes potencialmente poluidoras, como parques industriais, lixões, aterros sanitários, cemitérios, tanques de armazenamento de combustíveis e utilização intensa de agrotóxicos não sejam instaladas em áreas em que a vulnerabilidade natural das águas subterrâneas se apresente alta.

As unidades DCa (Ambiente de Planícies Aluvionares Recentes) e DCfl (Ambiente Fluviolacustre) apresentam em subsuperfície camadas arenosas com potencial aquífero. No entanto, tais camadas encontram-se descontínuas, com poucos metros de espessura, intercaladas com material mais fino de baixa transmissividade (siltes e argilas), assim como existência de sedimentos e solos ricos em matéria orgânica, que podem provocar odores desagradáveis na água subterrânea. Tais características diminuem o potencial aquífero, mas não impedem que as porções arenosas, com boa recarga de água, possam ser utilizadas para exploração, por meio de poços escavados, com baixo custo para pequenas demandas. Apesar de essas unidades geoambientais comportarem aquíferos descontínuos, estes podem ser facilmente contaminados, pois o nível freático se encontra muito próximo à superfície, apresentando alta vulnerabilidade natural a contaminantes.

As áreas da unidade DCta (Ambiente de Terraços Aluvionares), por serem terrenos mais elevados que a cota dos rios, com lençol freático pouco mais profundo, apresentam vulnerabilidade variando de moderada a alta, dependendo da variação do nível freático.

A unidade DCm (Ambiente Misto (Marinho/Continental)) forma-se em regiões de topografia plana na faixa costeira sob a influência constante do mar, gerando extensas coroas de lama que atuam como verdadeiros contêntores da erosão provocada pela ação das ondas, protegendo determinados setores da linha de costa. Por estarem em ambientes de baixa energia, depositam sedimentos com predomínio de frações mais finas (argila e silte), elevadas quantidades de matéria orgânica e de sais solúveis em decorrência do contato com o mar, formando solos argilosos (Gleissolos), orgânicos (Organossolos) e argiloarenosos (Aluviais), que auxiliam a mitigar os efeitos da poluição, restando, retardando e transformando substâncias poluidoras, como pesticidas, metais tóxicos e matéria orgânica, evitando que contaminem os mananciais hídricos superficiais. Esse ambiente não apresenta potencial aquífero, por ser constituído, principalmente, por argilas. Assim, não apresenta vulnerabilidade ambiental para águas subterrâneas.

A unidade DCmc compreende aquíferos superficiais com alto potencial para água subterrânea, com condições de atender a demandas significativas por meio de poços tubulares de grande diâmetro. Também apresentam potencial para exploração de baixo custo, por meio de poços escavados, cacimbas e ponteiras para atendimento a demandas familiares. O teor salino das águas é, em geral, baixo, embora estas possam ser, eventualmente, cloretadas. Existe o risco de intrusão da cunha salina, caso os poços sejam superexplorados. Apresentam alta vulnerabilidade ambiental, por serem constituídos, predominantemente, por areias friáveis, sem camada argilosa que possa reter possíveis contaminantes.

Potencial mineral

Na unidade DCa ocorrem depósitos de areia e cascalho com potencial para uso na construção civil (Figura 12.18) e industrial, além de argila para cerâmica. Também podem ocorrer depósitos do tipo plácer de metais nobres, como ouro, na porção noroeste do Maranhão, especificamente na cabeceira do rio Maracaçume, rios Gurupi (nos limites do município de Centro Novo do Maranhão) e Tromai. Tais depósitos devem ser explorados de forma bem planejada e controlada, para mitigar os impactos ambientais relacionados a retirada de mata ciliar, poluição de recursos hídricos superficiais e subterrâneos, erosão das margens e assoreamento de rios e lagoas, cavas abandonadas e degradação paisagística.

Assim como a unidade DCa, a unidade DCfl também compreende ambiente geológico favorável à ocorrência de argila para cerâmica branca e vermelha, com espessura de depósitos bem maiores e depósitos de turfa.

Na unidade Ambiente de Terraços Aluvionares (DCta), ocorrem crostas lateríticas, que podem ser ótimas fontes de material para construção civil e pavimentação de estradas.

A unidade DCm (Ambiente misto (marinho/continental)) apresenta potencial para extração de argila, no



Figura 12.16 - Residências instaladas sobre planície aluvionar, com alto risco de sofrerem inundações, devido ao aumento do nível do rio Mearim. Município Barra do Corda (MA).

entanto, atividades minerárias nesses ambientes comprometeram a estrutura do fundo dos canais, afetando, também, a fauna e flora associadas a esse sedimento. Por ser um ambiente ecologicamente frágil, foi instituído como

área de preservação permanente (APP), estando proibida qualquer atividade que degrade esse meio.

A unidade DCmc (Ambiente marinho costeiro) é constituída por areia, que, entretanto, não pode ser utilizada como agregado para construção civil, devido ao alto índice de sal que causa rachaduras nas obras, nem ser explorada, pois pode causar danos ambientais, como por exemplo, aumento da erosão, que já ocorre naturalmente pelas ondas do mar.

Potencial geoturístico

Esse domínio possui alto potencial turístico, relacionado à zona costeira e à influência fluvial. Insere-se nos 10 polos turísticos (Amazônia Maranhense, Lagos e Campos Floridos, Munim, Parque dos Lençóis, Delta das Américas, Cocais, Serras Guajajara, Timbira e Kanela e Chapada das Mesas) individualizados no estado maranhense (Figura 12.19).

Dentre os polos turísticos mais importantes desse domínio, destaca-se o Delta das Américas, mais conhecido como Delta do Parnaíba, localizado na zona costeira dos estados do Maranhão e Piauí, englobando as unidades

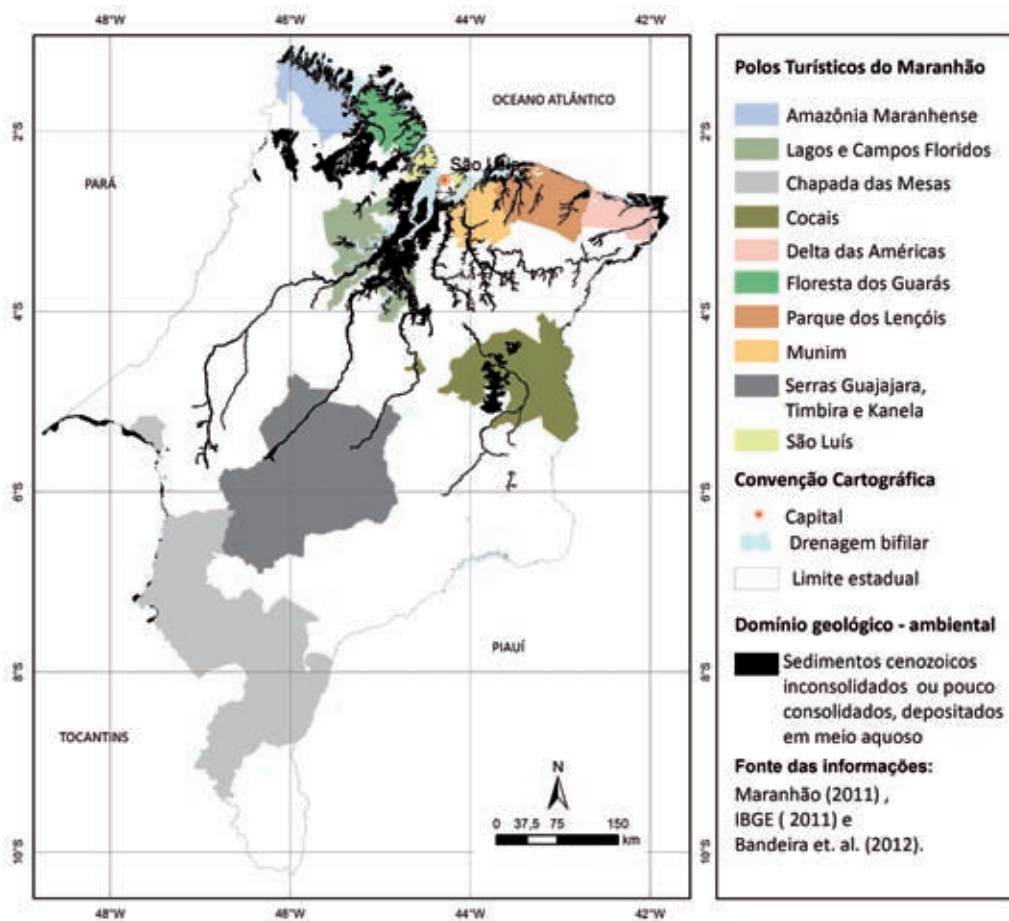


Figura 12.19 - Polos turísticos do estado do Maranhão, associados à área de ocorrência do domínio dos sedimentos cenozoicos inconsolidados ou pouco consolidados depositados em meio aquoso (DC).
Fonte: Modificado de Bandeira et al. (2013).

geoambientais Dca, Dcm e DCmc, compondo, assim, um complexo sistema hídrico que envolve o deságue do rio Parnaíba e suas ramificações (rios Tutoia, Carrapato ou Melancias, Caju, Canárias e Igarçu) no oceano Atlântico, formando ilhas, lagos, praias, mangues e dunas, que são feições com grande beleza cênica e turística.

Além dos mangues existentes no Polo Delta das Américas (nordeste maranhense), há uma extensa área no litoral noroeste do Maranhão composta por esse geoambiente (DCm), que apresenta alto potencial para ecoturismo, caracterizado por vegetação exuberante, solo lamoso, úmido, salgado, pouco oxigenado, mas rico em nutrientes e com grande quantidade de matéria orgânica em decomposição. Devido à sua exuberância ecológica e paisagística, esse ambiente foi incluído na delimitação turística dos polos Floresta dos Guarás e Amazônia Maranhense.

Associadas aos mangues e às dunas encontram-se as praias (unidade geológico-ambiental DCmc), que são ambientes detentores de belas paisagens e com alto potencial turístico (Figura 12.20). Ocorrem de forma descontínua em toda a costa maranhense, estando inseridas nos polos turísticos Amazônia Maranhense, Floresta dos Guarás, São Luís, Munim, Delta das Américas e Parque dos Lençóis (esse último conhecido também como Lençóis Maranhenses).

Observa-se, ainda, no Polo Campos Floridos, uma área com potencial geoturístico relacionado a grandes áreas rebaixadas, periodicamente inundadas, formando extensos lagos geralmente cobertos por vegetação de macrófitas aquáticas, de grande beleza geomorfológica.

Além dos ambientes da zona costeira, existem os ambientes fluviolagunares (DCfl) da Baixada Maranhense, inclusa no polo turístico Lagos e Campos Floridos. Nesse geoambiente se encontram lagos e terrenos sazonalmente alagados por influência fluvial ou das chuvas que se comparam às áreas inundáveis do Pantanal Mato-Grossense, devido a grande beleza paisagística e diversidade da fauna e flora. Por apresentar grande fragilidade ambiental, foi inserida na Área de Preservação Permanente (APA) da Baixada Maranhense em 1991.

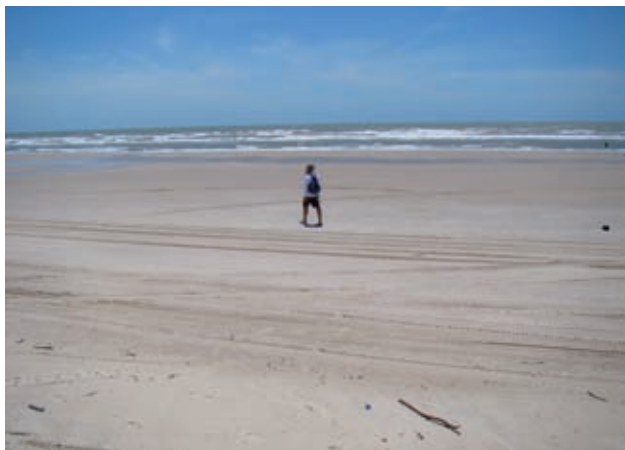


Figura 12.20 - Praia do Caburé. Município Barreirinhas (MA).

Atravessando todos os polos turísticos do estado, encontra-se a unidade geológico-ambiental Ambiente de Planícies Aluvionares Recentes (DCa), que, associada aos rios maranhenses, forma áreas com belas paisagens e alto potencial para o turismo de lazer, relacionadas aos balneários (Figura 12.21).



Figura 12.21 - Balneário às margens do rio Grajaú. Município Paulo Ramos (MA). Fonte: <<http://www.jornalpequeno.com.br>>.

DOMÍNIO DOS SEDIMENTOS CENOZOICOS EÓLICOS (DCE)

Área de Ocorrência, Elementos de Definição e Relevo Associado

Domínio localizado na porção nordeste do estado do Maranhão, com aproximadamente 18.315,39 km², distribuído nos municípios de Urbano Santos, Tutoia, São Bernardo, Santo Amaro do Maranhão, Santa Quitéria do Maranhão, Primeira Cruz, Paulinho Neves, Morros, Icatu, Cachoeira Grande, Belágua, Barreirinhas e Araisos. Formado predominantemente por sedimentos arenosos inconsolidados de origem eólica, é associado a ambiente costeiro e diferenciado em duas unidades geológico-ambientais: Dunas Móveis (DCEm) e Dunas Fixas (DCEf) (Figura 12.22).

As dunas fixas, por estarem sobrepostas por vegetação rasteira, conseguem se fixar, diferentemente das dunas móveis, desprovidas de vegetação e mais suscetíveis a serem transportadas pelo vento.

Apesar da distinção, ambas sustentam relevo de campo de dunas caracterizado por declividades que variam de 0 a 30°, amplitudes que podem atingir 40 m e cotas que variam de 10 a 125 m de altitude (Figura 12.23).

Características, Adequabilidades e Limitações Frente ao Uso e à Ocupação

Obras de engenharia

Domínio constituído por coberturas arenosas inconsolidadas, com baixa capacidade de suporte, bastante erosivas, que desmoronam com facilidade em talude de corte e aterros (Figura 12.24). Em locais com predomínio de areias quartzosas finas a médias, bem arredondadas

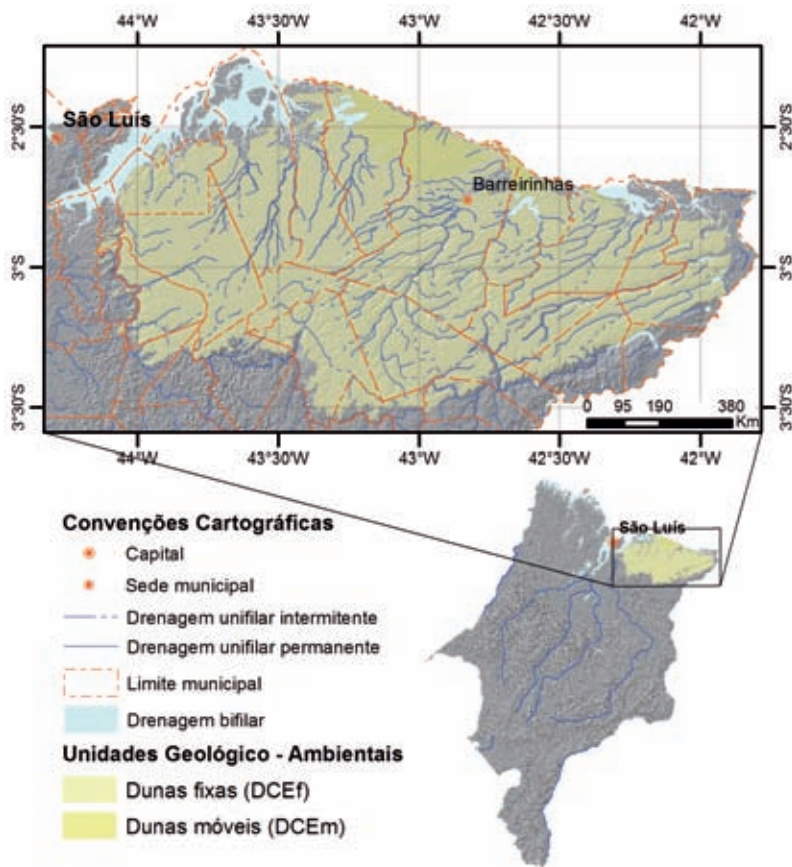


Figura 12.22 - Área de ocorrência das unidades geológico-ambientais do domínio dos sedimentos cenozoicos eólicos (DCE).

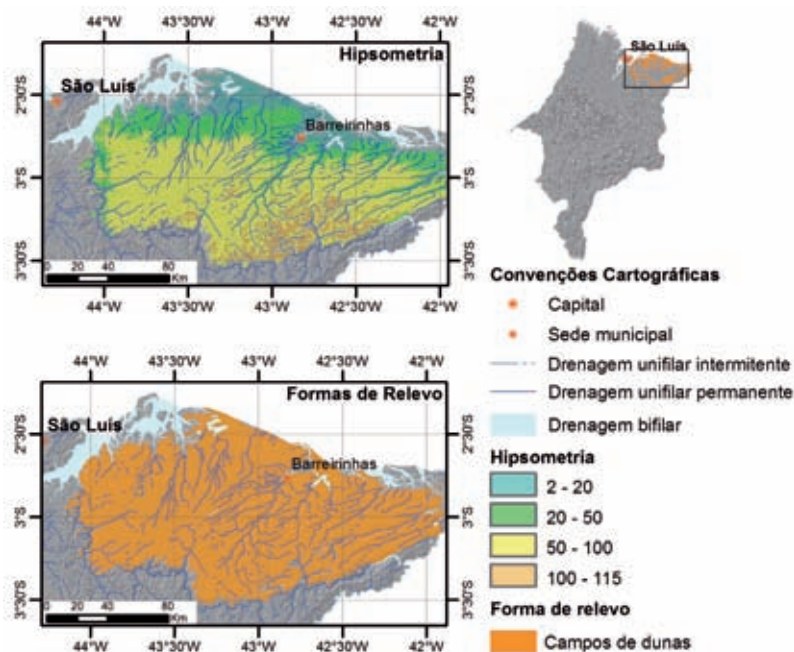


Figura 12.23 - Hipsometria e formas de relevo associadas às unidades geológico-ambientais DCEm e DCEf.

e selecionadas, pode ocorrer o fenômeno da liquefação (tipo areia movediça), causando a perda de resistência do terreno e o risco de colapsos das fundações nele implantadas. Dessa forma, construções de estradas, loteamentos, atividades de mineração de areia resultam na desestabilização e até mesmo no desmonte desses depósitos, alterando significativamente a dinâmica eólica dessas áreas, além de degradar um patrimônio paisagístico com elevado potencial para atividades de turismo e lazer.

Além dessas características, a unidade geoambiental Dunas Móveis (DCEm), em período de estiagem, sofre contínua mobilização pela ação dos ventos, exposta a intenso retrabalhamento eólico. Residências e ruas tornam-se sujeitas a soterramento pela movimentação de areia (Figura 12.25), o que limita tanto a expansão urbana como o sistema viário.

Ressalta-se que a retirada de vegetação das áreas da unidade geoambiental Dunas Fixas (DCEf) pode provocar erosões e a transformação de dunas fixas em móveis.

Além do potencial turístico, esse domínio, em determinados setores da linha de costa, exerce importante função no aporte de sedimentos para as faixas das praias, evitando a erosão costeira e mantendo o equilíbrio das praias, assim como protegem as regiões mais interiores da abrasão marinha e diminuem a ação dos ventos.

Agricultura

Terrenos formados por solos de baixa fertilidade natural, pequena capacidade de retenção de umidade e nutrientes, baixa coesão e adesão entre as partículas, sendo erosivos e de difícil manejo, devido à constituição arenosa e ao relevo, caracterizando uma área inapropriada para agricultura.

Apesar de os solos desse domínio apresentarem baixa aptidão para agricultura, observou-se, em algumas áreas, o extrativismo de frutos silvestres, sobre material arenoargiloso, associado a antigas regiões interdunas, importantes para sobrevivência das famílias locais.

Recursos hídricos e fontes poluidoras

Domínio caracterizado por material com excelentes características hidrodinâmicas, com alta permeabilidade, alto potencial armazenador e circulador de



Figura 12.24 - Dunas fixadas pela vegetação, com talude instável, às margens do rio Preguiças. Município Barreirinhas (MA).



Figura 12.25 - Ruas e residências do centro da cidade de Barreirinhas (MA) parcialmente sobrepostas por dunas móveis, devido à dinâmica dos ventos.

água e boa homogeneidade hidrodinâmica lateral e vertical, compondo, assim, aquíferos superficiais livres, de elevado potencial para captação de água subterrânea de boa qualidade.

Além de bons aquíferos, esse domínio funciona como área de recarga para a unidade geológica subjacente (Sedimentos do Grupo Barreiras) e, portanto, não deve ser permeabilizado e compactado. Ressalta-se que as áreas mais próximas ao litoral devem ser monitoradas, para que não haja bombeamento excessivo de poços, a fim de evitar o avanço da cunha salina.

Por apresentarem elevada porosidade, permeabilidade e lençol freático muito próximo à superfície, as dunas móveis e fixas constituem áreas com alta vulnerabilidade ambiental a fontes potencialmente poluidoras.

Além do potencial hidrogeológico, esse domínio é recortado por vários rios e igarapés com qualidades químico-físicas favoráveis ao abastecimento humano e animal para pequenas propriedades.

Potencial mineral

Domínio com alto potencial para extração de areia para construção civil (utilizada em aterros) e industrial (principalmente para vidros). No entanto, observa-se que essa atividade pode gerar grandes impactos, independentemente da tecnologia utilizada, uma vez que a extração de areia é sempre uma atividade danosa ao meio ambiente. Os principais danos relacionados a essa atividade são: retirada da cobertura vegetal, erosão, assoreamento, alteração da paisagem, covas abandonadas, poluição visual e sonora, assim como aumento da vulnerabilidade ambiental dos aquíferos, pois estes ficarão ainda mais próximos da superfície.

Entretanto, como a mineração é indispensável às atividades humanas, como construção, habitação, saneamento e transporte, inclusive no que se refere às mais sofisticadas tecnologias de ponta das áreas de comunicação e medicina (DIAS, 2003), é necessário que tais recursos sejam explorados de forma consciente, de modo a minimizar os impactos e recuperar as áreas exploradas.

Potencial geoturístico

Um dos principais atrativos geoturísticos desse domínio relaciona-se aos Lençóis Maranhenses (Dunas Móveis – DCEM), que é um sistema geológico e geomorfológico composto por um conjunto de dunas (com até 40 m de altura) formadas por areias oriundas da Bacia Sedimentar do Parnaíba ou da plataforma continental, transportadas pelos rios Parnaíba e Preguiças e retrabalhadas pela ação do vento. Essas dunas, que se estendem por mais de 50 km de costa, aliadas ao índice pluviométrico da região, formam lagos interdunas que proporcionam belas paisagens e lazer aquático (Figura 12.26).



Figura 12.26 - Dunas, lagoa interdunas e rio Preguiças ao fundo, compondo bela paisagem natural da área do Parque Nacional dos Lençóis Maranhenses. Comunidade Vaçouras, município Barreirinhas (MA).

DOMÍNIO DOS SEDIMENTOS INDIFERENCIADOS CENOZOICOS RELACIONADOS A RETRABALHAMENTO DE OUTRAS ROCHAS, GERALMENTE ASSOCIADOS A SUPERFÍCIES DE APLAINAMENTO (DCSR)

Área de Ocorrência, Elementos de Definição e Relevo Associado

Domínio com área aproximada de 3.477,46 km², que recobre parte do sudoeste do estado (Figura 12.27), especificamente norte de Balsas, noroeste de Estreito e Sambaíba, nordeste de Pastos Bons e Riachão, oeste de São João dos Pastos, sul de Sítio Novo e São Raimundo das Mangabeiras, sudeste de Benedito Leite, com distribuição irregular em São Pedro dos Crentes e Feira Nova do Maranhão. Compõe-se por sedimentos retrabalhados de outras rochas, como coberturas arenoconglomeráticas e/ou silticoargilosas, correspondentes, geologicamente, aos Depósitos Colúvio-Eluviais.

As rochas desse domínio sustentam relevos aplainados, como baixos platôs, planaltos e superfícies aplainadas, com baixíssima densidade de canais de drenagem e amplitudes que variam de 10 a 60 m e cotas que variam de 260 a 450 m (Figura 12.28).

Características, Adequabilidades e Limitações Frente ao Uso e à Ocupação

Obras de engenharia

Por esses terrenos serem constituídos por um empilhamento de camadas horizontalizadas de diferentes sedimentos, que mudam de uma camada para outra, as características geotécnicas e hidráulicas variam bastante na vertical. Portanto, no caso de execução de obras que envolvam escavações, devem-se prever mudanças abruptas entre essas camadas e que tais mudanças se constituem em descontinuidades geomecânicas e hidráulicas que potencializam a desestabilização e os processos erosivos nas paredes escavadas (Figura 12.29).

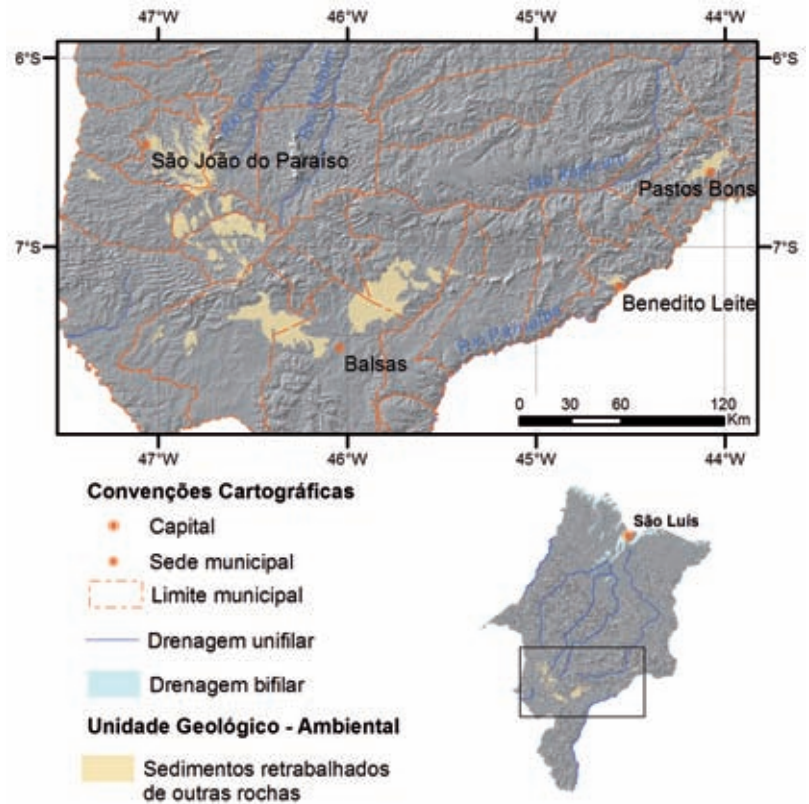


Figura 12.27 - Área de ocorrência da unidade geológico-ambiental do domínio dos sedimentos indiferenciados cenozoicos relacionados a retrabalhamento de outras rochas, geralmente associados a superfícies de aplainamento (DCSR)

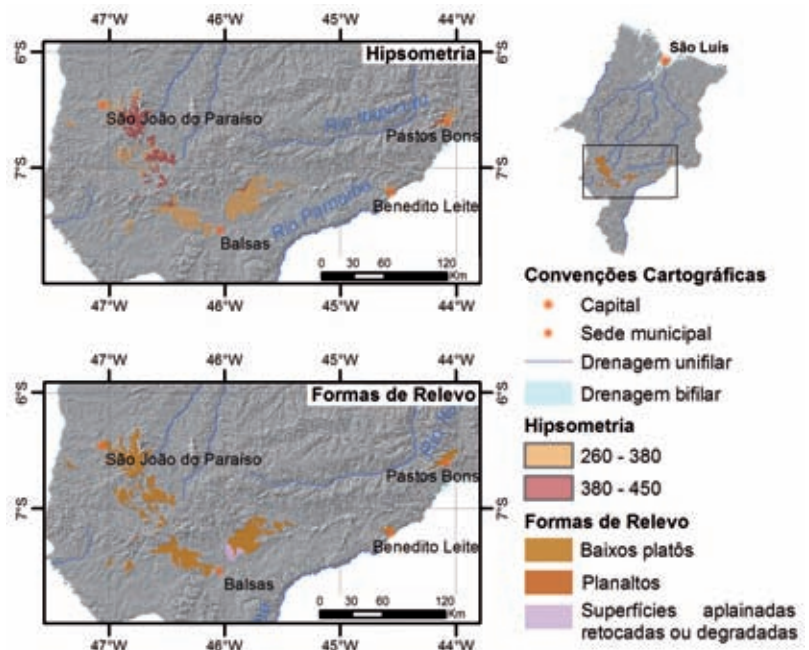


Figura 12.28 - Hipsometria e formas de relevo associadas à unidade geológico-ambiental DCSR.



Figura 12.29 - Saprólito sedimentar muito erodível. Rodovia BR-230, município São Raimundo das Mangabeiras (MA).

Nesse domínio predominam sedimentos com baixo grau de consolidação. Se, por um lado, isso favorece a escavação, que pode ser facilmente executada com maquinários e ferramentas de corte, por outro, pode apresentar problemas de falta de capacidade de suporte, além de serem terrenos com deficiência de rochas duras para utilização como agregados.

Relevo plano ou quase plano, declividades baixas e baixa densidade de canais de drenagem são características adequadas desses terrenos para execução de obras viárias e infraestrutura, pois não haverá necessidade de cortes para minimizar declives (Figura 12.30). Caso seja necessário executar obras de aterro e de transposição de drenagem, estas serão de pequeno porte.

A condição morfológica de relevo plano ou quase plano e sobrelevado em relação aos terrenos circunvizinhos faz com que esse domínio sofra a ação dos ventos que sopram forte em boa parte do ano, o que lhe confere configuração favorável à implantação de geradores eólicos. No entanto, essa mesma condição morfológica favorece o processo de arenização do solo pela ação dos ventos, que carrega as partículas mais finas, como silte e argilas. A permeabilidade elevada dos solos também favorece esse processo, pela ação das águas das chuvas, que carregam as partículas mais finas para a subsuperfície.

Agricultura

Domínio onde predominam litologias que se alteram para solos arenoargilosos, em geral, profundos, bem drenados, com estrutura granular, ácidos e com alta permeabilidade, representados por Latossolos.

Esses solos são muito intemperizados, com pequena reserva de nutrientes para as plantas, representados, normalmente, por sua baixa a média capacidade de troca de cátions. Contudo, com aplicações adequadas de corretivos e fertilizantes, aliadas à época propícia de plantio de cultivos adaptados, obtêm-se boas produções.



Figura 12.30 - Topo dos baixos platôs, utilizado para implantação de rodovia e plantações de sorgo. Rodovia BR-230, município Riachão (MA).

São terrenos de baixo potencial natural para erosão hídrica, devido às características do relevo, porém, são desprovidos de cursos e nascentes de água. Portanto, apresentam deficiência de água superficial para irrigação, o que os torna inadequados ao cultivo de plantas que necessitam de irrigação constante. No entanto, esse tipo de relevo favorece a pedogênese, predominando solos profundos, bem evoluídos, de fácil escavabilidade, desprovidos de pedregosidade superficial e subsuperficial. Logo, tanto o solo como o relevo não apresentam problema para utilização de arados ou de implementos agrícolas motorizados (Figura 12.31).

Recursos hídricos e fontes poluidoras

Registram-se camadas horizontalizadas de areia e cascalho pouco consolidado, sedimentos altamente permeáveis e de alta capacidade de armazenamento e de transmissividade de água, aflorantes ou situadas próximas à superfície, constituindo-se, portanto, em aquíferos porosos, de boa homogeneidade hidrodinâmica lateral e grande expressividade areal. Nesses tipos de aquíferos, os poços são de fácil exploração, a custos baixos. Se um poço



12.31 - Plantação de arroz sobre Latossolo Amarelo e relevo plano. Rodovia MA-270, município Pastos Bons (MA).

der boa vazão, é grande a possibilidade de que outros, nas mesmas profundidades, apresentem vazões semelhantes.

A condição morfolitoestrutural desses terrenos de superfícies sobrelevadas, aplainadas e delimitadas por escarpas e recobertas por solos bastante permeáveis, é desfavorável a que o lençol freático aflore, por isso, são desprovidos de cursos d'água. Por um lado, tal condição é bastante propícia a que as águas subterrâneas sejam recarregadas; por outro, também é favorável à percolação de poluentes, o que exige cuidados especiais com fontes potencialmente poluidoras. Além disso, trata-se de uma morfoestrutura favorável a que as águas subterrâneas migrem para as zonas escarpadas e nelas aflorem como nascentes.

Potencial mineral

Algumas áreas podem ser utilizadas com fonte de material para saibro (Figura 12.32) e areia.

Potencial geoturístico

Unidade onde predominam relevos planos, com vegetação secundária, ou utilizados para agricultura, com baixo potencial turístico. Porém, quando associados a relevos de serras, formam belas paisagens, relacionadas à frente erosiva das escarpas.

DOMÍNIO DOS SEDIMENTOS CENOZOICOS, POUCA A MODERADAMENTE CONSOLIDADOS, ASSOCIADOS A TABULEIROS (DCT)

Área de Ocorrência, Elementos de Definição e Relevo Associado

Domínio com 15.146,42 km², localizado na porção norte, parte do noroeste e nordeste do estado, inserido em vários municípios, como: Carutapera, Boa Vista do Gurupi, Junco do Maranhão, Maracaçume, Centro do Guilherme, Turiaçu, Turilândia, Apicum-Açu, Bacuri, Serrano do Maranhão, Cururupu, Santa Helena, Mirinzal, Pinheiro, Central do Maranhão, Porto Rico do Maranhão, Cedral, Guimarães, Bequimão, Presidente Sarney, Perimirim, Alcântara, Palmerândia, São Luís, São José do Ribamar, Rosário, Arixá, Bacabeira, Presidente Juscelino, Santa Rita, Itapecuru-Mirim, Cantanhede, Pirapemas, Vargem Grande, Coroatá, Nina Rodrigues, Timbiras, Chapadinha, Mata Roma, Anapurus, Araiões, Magalhães de Almeida, São Bernardo, Santa Quitéria do Maranhão, Milagres do Maranhão, Buriú, Duque Bacelar, Coelho Neto, Codó, Caxias, Aldeias Altas, Afonso Cunha, Peritoró,

São Luís Gonzaga do Maranhão, Bacabal, Capinzal do Norte, Poção de Pedra, Joselândia, Dom Pedro, Gonçalves Dias, São João do Soter, Graça Aranha, Tuntum, Barra do Corda, São Roberto, Poção de Pedras, Governador Archer e Santo Antônio do Norte (Figura 12.33).

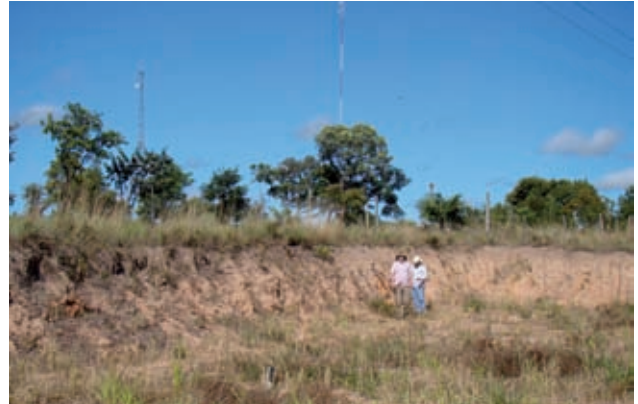


Figura 12.32 - Antiga área de extração de saibro para utilização na construção de estradas. Rodovia BR-230, município São Raimundo das Mangabeiras (MA).

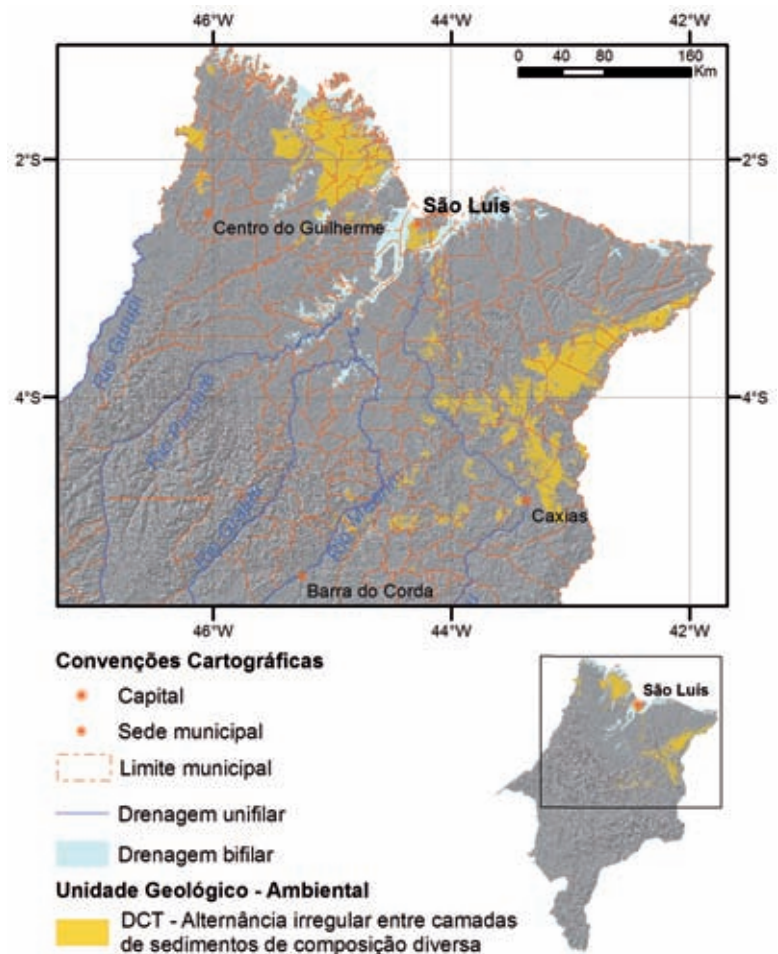


Figura 12.33 - Área de localização do domínio dos sedimentos cenozoicos, pouco a moderadamente consolidados, associados a tabuleiros (DCT).

Caracteriza-se por depósitos arenoargilosos e argiloarenosos, ocasionalmente conglomeráticos, muito intemperizados, com alguns locais muito ferruginizados/laterizados (Figura 12.34). Correspondem, geologicamente, aos sedimentos siliciclásticos do Grupo Barreiras. Associam-se a relevos de tabuleiros, tabuleiros dissecados, platôs, superfícies aplainadas, relevos residuais, colinas, morros e serras baixas (Figura 12.35), com cotas que variam de 30 a 220 m.

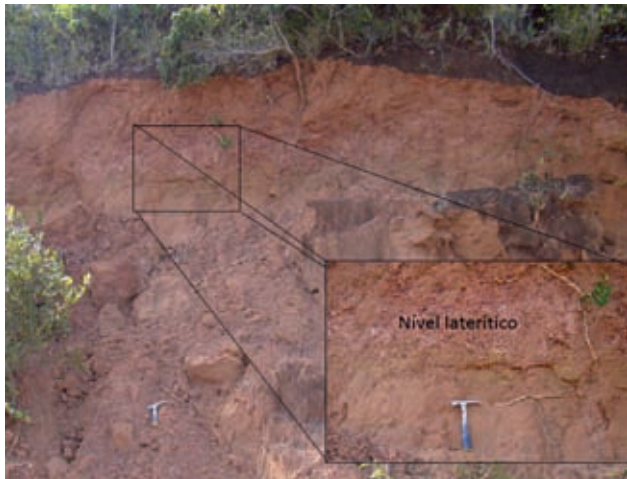


Figura 12.34 - Solo imperfeitamente drenado, rico em material ferruginizado (Plintossolo Pétrico), oriundo de saprólito sedimentar formado pela alternância de material siltico-arenoso e lâminas de argila. Rodovia Ma-006, município Central do Maranhão (MA).

Características, Adequabilidades e Limitações Frente ao Uso e à Ocupação

Obras de engenharia

Domínio geológico-ambiental formado por material arenoargiloso e argiloarenoso, que sustenta, em sua maior parte, relevos (tabuleiros, platôs, superfícies aplainadas, colinas amplas) com declividades e amplitudes baixas, bem estabilizados, baixo potencial de erosão hídrica e de movimentos de massa e escoamento superficial lento. Favorável para urbanização e obras viárias, devido moderada a alta capacidade de suporte, ser facilmente escavável e por não precisar de cortes profundos para minimizar declives.

Apresenta variações litológicas das camadas na vertical, as quais podem provocar desestabilização em talude de corte, ocasionada pela diferença geotécnica dos materiais.

Agricultura

Domínio formado por solos de fertilidade natural variável. Em função da heterogeneidade granulométrica – sedimentos arenosos, argilosos, siltsos e conglomeráticos –, há predomínio de solos arenoargilosos (Latossolos Amarelos) profundos, permeáveis, com baixa fertilidade natural e ácidos, que podem ser mecanizáveis e corrigidos com aplicação de corretivos e fertilizantes, aumentando o potencial agrícola da região.

Recursos hídricos e fontes poluidoras

Domínio constituído por camadas litológicas que possuem porosidade e permeabilidade variáveis na vertical e horizontal, que condicionam diferentes potenciais para acúmulo e transmissividade de água subterrânea.

Mesmo com essa variação existem espessas camadas arenosas e arenossiltosas capazes de armazenar e transmitir água com boa qualidade físico-química, algumas vezes com elevados teores de ferro (SOUZA, 2000).

Esses aquíferos apresentam vulnerabilidade ambiental que varia de baixa a muito alta, dependendo do nível da água subterrânea e da composição litológica da zona de aeração.

Potencial mineral

Áreas com potencial para exploração de areia, argila e concreções lateríticas (Figura 12.36) para construção civil e rodovias.

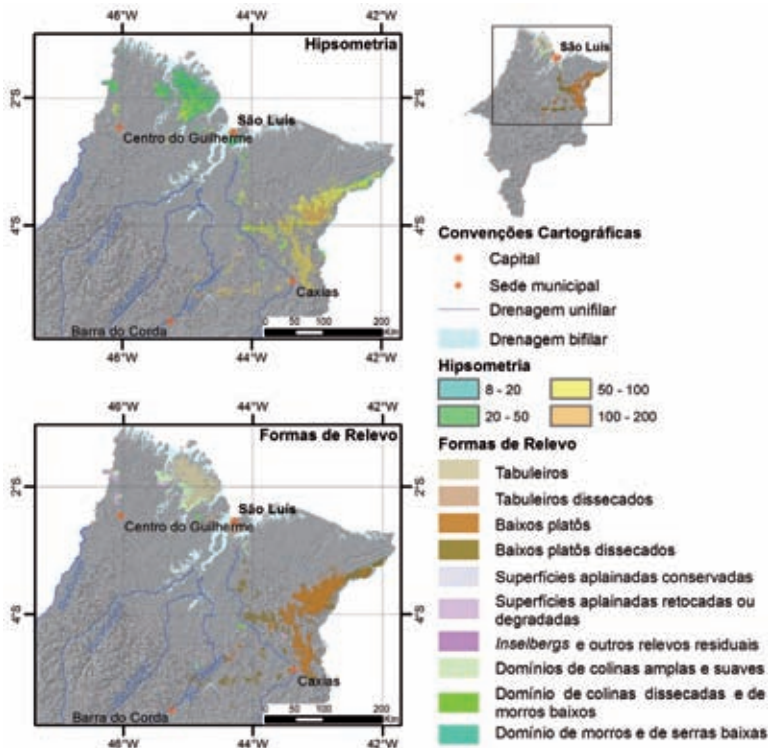


Figura 12.35 - Hipsometria e formas de relevo associadas à unidade geológico-ambiental DCT.



Figura 12.36 - Talude de corte em material com perfil laterítico profundo, com predomínio de crosta laterítica, com alto potencial para extração de saibro para uso na construção civil. Rodovia MA-402, município Morros (MA).

DOMÍNIO DAS COBERTURAS CENOZOICAS DETRITO-LATERÍTICAS (DCDL)

Área de Ocorrência, Elementos de Definição e Relevo Associado

Domínio composto por depósitos superficiais e subsuperficiais oriundos de rochas mais antigas, como as formações Itapecuru e Ipixuna (unidade geoambiental DSVMPasaf), que, por diferenças de tempo e diferenciação no processo intempérico, formaram duas unidades geológico-ambientais – depósitos detrito-lateríticos, provenientes de processos de laterização em rochas de composições diversas, sem a presença de crosta (DCDL); horizonte laterítico *in situ*, proveniente de processos de laterização em rochas de composições diversas, formando crosta (DCDLi) –, distribuídas na porção centro-oeste do estado, nos municípios de Zé Doca, Centro Novo do Maranhão, Coroatá, São Luís Gonzaga do Maranhão, Bacabal, Codó, Timbiras, Alto Alegre do Maranhão, Peritoró, Bom Jardim, Itinga do Maranhão, Açailândia, Vila Nova dos Martírios, Cidelândia, São Francisco do Brejão, Imperatriz, Senador La Rocque, Buritirana, João Lisboa, Bom Jesus das Selas, Amarante do Maranhão, Buriticupu, Santa Luzia, Paulo Ramos, Marajá da Sena, Arame, Grajaú, Sítio Novo, Lagoa Grande do Maranhão, Lago da Pedra, Barra do Corda, Itaipava do Grajaú, Esperantinópolis, São Roberto e Jenipapo dos Vieiras, perfazendo uma área de 20.663, 69 km² (Figura 12.37).

A unidade geológico-ambiental DCDLi corresponde, geologicamente, às coberturas lateríticas maduras, definidas como depósitos sedimentares formados sob clima tropical a temperado úmido, que condicionou processos de intensa lixiviação dos elementos mais solúveis (sódio, potássio, cálcio e magnésio), concentração dos mais resistentes (ferro e alumínio) e a produção de minerais secundários do grupo das argilas em um perfil laterítico profundo (Figura 12.38), com

grande probabilidade de ocorrência de depósitos minerais, bem como presença quase frequente de crosta laterítica. Esses terrenos possibilitam a sustentação de relevos com topos planos, como platôs, planaltos, morros, superfícies aplainadas, mas, devido a processos erosivos, formaram também colinas, vales encaixados, degraus estruturais e rebordos erosivos (Figura 12.39).

A unidade geológico-ambiental DCDL corresponde, geologicamente, às coberturas lateríticas imaturas, que, assim como na unidade DCDLi, também foram formadas em clima

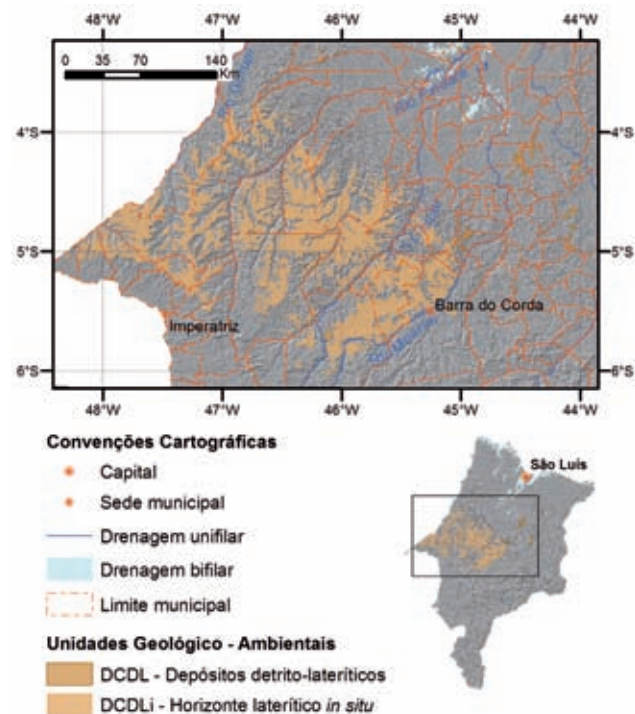


Figura 12.37 - Área de ocorrência das unidades geológico-ambientais DCDL e DCDLi.



Figura 12.38 - Perfil laterítico composto por argila caulinizada sobreposta por material arenoargiloso muito alterado e ferruginizado. Rodovia MA-006, município Santa Luzia (MA).

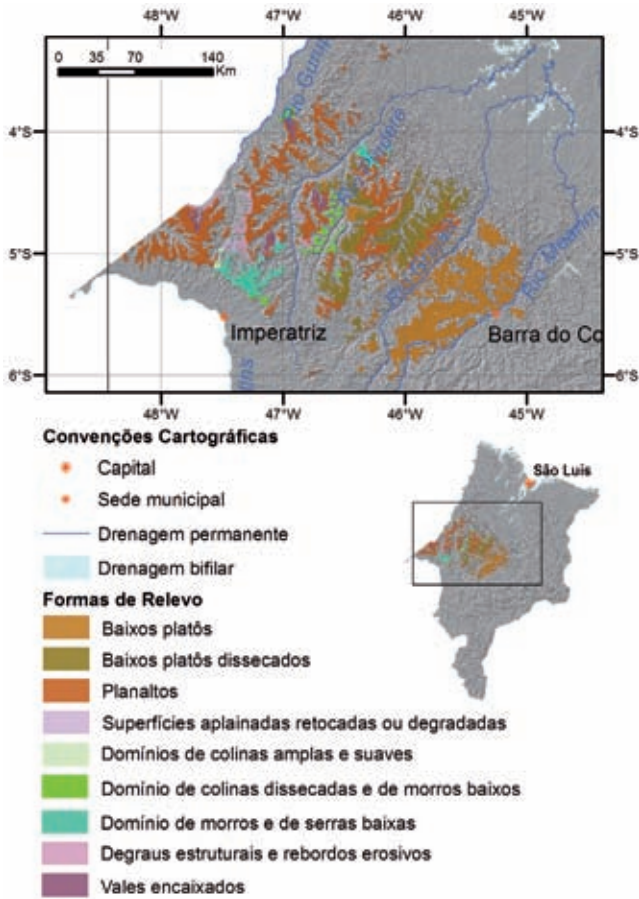


Figura 12.39 - Relevos associados à unidade geológico-ambiental DCDLi.

úmido, porém em período geológico mais recente; portanto, apresentam perfil laterítico menos profundo, sem depósitos minerários como caulim e alumínio ou crosta laterítica. Mesmo sem a presença dessa crosta, essa unidade mostra-se muito estável, sustentando relevos como superfícies aplainadas, platôs, colinas e relevos residuais (Figura 12.40).

Características, Adequabilidades e Limitações Frente ao Uso e à Ocupação

Obras de engenharia

As coberturas lateríticas apresentam características geomecânicas, espessura, grau de consolidação e dureza bastante variáveis. Podem ser bastante compactas e coesas, com alta resistência ao corte, à penetração e a escavações, como as crostas lateríticas, ou de fácil a moderada desagregação, como o horizonte concrecionário e as linhas de pedras.

As espessas seções compostas por perfis lateríticos e crosta laterítica conferem moderada a alta capacidade de suporte de carga aos terrenos, baixa erosividade natural e boa estabilidade em taludes de corte. Em relevos mais planos, são áreas favoráveis à ocupação urbana e à implantação de sistemas viários, desde que sejam preservadas

essas crostas, para evitar a instalação de processos erosivos (sulcos, ravinas e voçorocas).

Agricultura

São terrenos com altas concentrações de ferro e alumínio, o que implica alta acidez e baixa fertilidade natural dos solos (Latosolos), assim como apresentam drenagem imperfeita (Plintossolos) e ocorrência de concreções lateríticas (Plintossolo Pétrico). No entanto, em áreas de relevo plano a suavemente ondulado (topo de platôs, planaltos, chapadas), formam-se solos profundos, arenoargilosos, com potencial para agricultura mecanizada, quando submetidos à aplicação de corretivos e fertilizantes.

Recursos hídricos e fontes poluidoras

Unidade geológico-ambiental composta por camadas sedimentares argiloarenosas e arenoargilas endurecidas, apresentando potencial hidrogeológico irregular, normalmente baixo. Dependendo das condições climáticas locais, registram aquíferos superficiais livres, com águas enriquecidas em ferro (Fe) e alumínio (Al), que, quando tratadas, podem ser utilizadas para abastecimento doméstico.

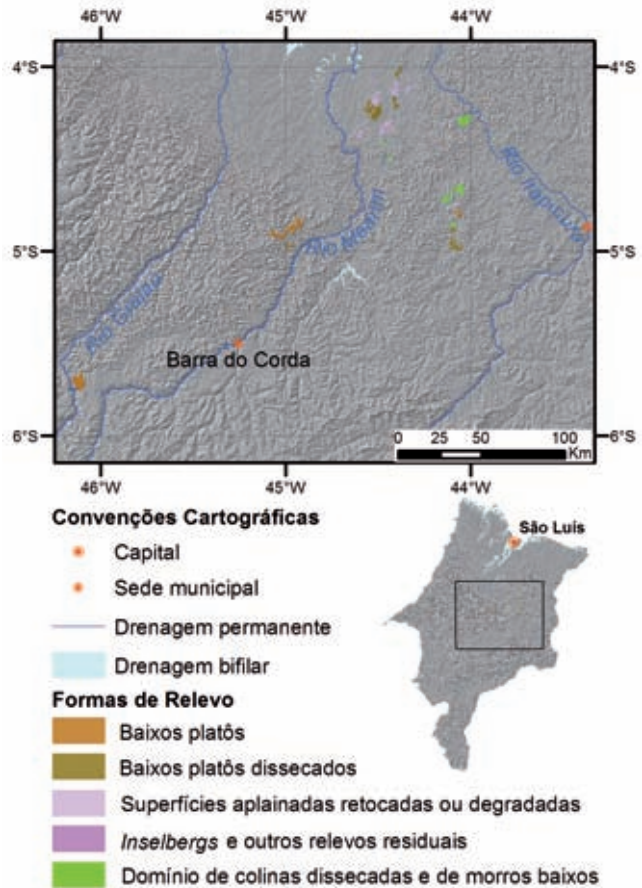


Figura 12.40 - Relevos associados à unidade geológico-ambiental DCDLi.

No entanto, existem áreas com depósitos que podem ser bastante porosos e permeáveis, devido à presença de cavidades (vesículas), formando bons aquíferos. Quando esses aquíferos apresentarem nível freático muito próximo à superfície, estarão mais vulneráveis a contaminantes. Em locais com coberturas mais consolidadas, menos permeáveis, a vulnerabilidade é baixa, devido à dificuldade de infiltração de poluentes.

Potencial mineral

As coberturas detrito-lateríticas, linhas de pedra ou paleopavimentos com lateritas alóctones podem ser utilizadas como material de empréstimo e brita na construção civil e pavimentação de estradas, enquanto os horizontes argilosos (mosqueados) podem ser utilizados na confecção de tijolos e telhas.

A unidade geológico-ambiental DCDLi, associada à unidade geoambiental DSVMPasaf, registra alto potencial para mineralizações bauxíticas e caulínicas (KOTSCHOU-BEY et al., 2005).

Potencial geoturístico

Quando presentes, as coberturas lateríticas preservam e sustentam relevos, que, associados às coberturas florestais de cerrado, formam belas paisagens geomorfológicas de platôs (Figura 12.41) e planaltos que se sobressaem na região oeste do estado do Maranhão.

DOMÍNIO DAS COBERTURAS SEDIMENTARES E VULCANOSSEDIMENTARES MESOZOICAS E PALEOZOICAS, POUCA A MODERADAMENTE CONSOLIDADAS, ASSOCIADAS A GRANDES E PROFUNDAS BACIAS SEDIMENTARES DO TIPO SINÉCLISE (AMBIENTES DEPOSICIONAIS CONTINENTAL, MARINHO, DESÉRTICO, GLACIAL E VULCÂNICO) (DSVMP)

Área de Ocorrência, Elementos de Definição e Relevo Associado

Esse domínio, que ocupa a maior expressão areal do estado do Maranhão, com aproximadamente 228.700,65 km², é constituído por camadas espessas, extensas e horizontalizadas ou sub-horizontalizadas de sedimentos predominantemente siliciclásticos, com subordinados calcários, anidrita e sílex, que foram depositados e formados ao longo de 430 milhões de anos, por diferentes ambientes deposicionais: glacial, fluvial, leque aluvial, desértico, lagunar, marinho, deltaico e vulcânico. Constitui uma das mais importantes unidades geotectônicas do continente sul-americano, definida como Província Sedimentar do Parnaíba.

Por ser composto por associações litológicas com diferenças texturais, mineralógicas e deposicionais, o domínio



Figura 12.41 - Rio Itapecuru; ao fundo, planaltos sustentados pelas coberturas detrito-lateríticas. Rodovia BR-222, município Açailândia (MA).

DSVMP foi dividido em oito unidades geológico-ambientais (Figura 12.42):

- Predomínio de espessos pacotes de arenitos de deposição mista (eólica e fluvial) (DSVMPaef), correspondentes, geologicamente, às formações Grajaú, Corda e Poti.
- Predomínio de espessos pacotes de arenitos de deposição eólica (DSVMPae), correspondentes, geologicamente, aos terrenos sustentados pela Formação Sambaíba.
- Predomínio de arenitos e conglomerados (DSVM-Pacg), correspondentes, geologicamente, ao Grupo Serra Grande.
- Intercalações de sedimentos arenosos, síltico-argilosos e folhelhos (DSVMPasaf), correspondentes, geologicamente, aos terrenos do Grupo Itapecuru e Formação Ipixuna.
- Intercalações irregulares de sedimentos arenosos, síltico-argilosos e calcários (DSVMPasac), correspondentes, geologicamente, aos terrenos das formações Pedra de Fogo e Piauí.
- Predomínio de sedimentos síltico-argilosos intercalados de folhelhos betuminosos e calcários (DSVMPsabc), correspondentes, geologicamente, aos terrenos da Formação Codó.
- Predomínio de sedimentos síltico-argilosos e calcários com intercalações arenosas subordinadas (DSVMPsaca), correspondentes, geologicamente, aos terrenos da Formação Motuca.
- Predomínio de sedimentos síltico-argilosos com intercalações arenosas (DSVMPsaa), correspondentes, geologicamente, aos terrenos sustentados pelas formações Pastos Bons e Longá.

Ressalva-se que, no extremo sul do estado, encontram-se arenitos do Grupo Urucuaia, pertencentes à Bacia Sedimentar do São Francisco, que foram descritos juntamente com esse domínio, em razão de apresentarem semelhanças litológicas e cronológicas com outras forma-

ções da Província Sedimentar do Parnaíba. No entanto, esse grupo, definido no contexto da geodiversidade como Domínio dos Sedimentos Cenozoicos e/ou Mesozoicos, Pouco a Moderadamente Consolidados, Associados a Profundas e Extensas Bacias Continentais (DCM), devido a suas mudanças texturais e deposicionais, foi individualizado, neste trabalho, como unidade geológico-ambiental DCMa:

- Predomínio de sedimentos arenosos, de deposição continental, lacustre, fluvial ou eólica – arenitos (Figura 12.42).

Essa diferença de material, associada ao clima e a processos neotectônicos, proporcionou uma variação nas formas de relevo (Figura 12.43), desde as mais acidentadas, como escarpas, degraus estruturais, vales encaixados, morros e serras baixas, a fortemente onduladas a onduladas, classificadas como colinas dissecadas e morros baixos, e os tipos suave ondulados a aplainados, classificados como colinas amplas e suaves, superfícies aplainadas retocadas ou degradadas, planaltos, tabuleiros, chapadas, platôs e morros-testemunhos.

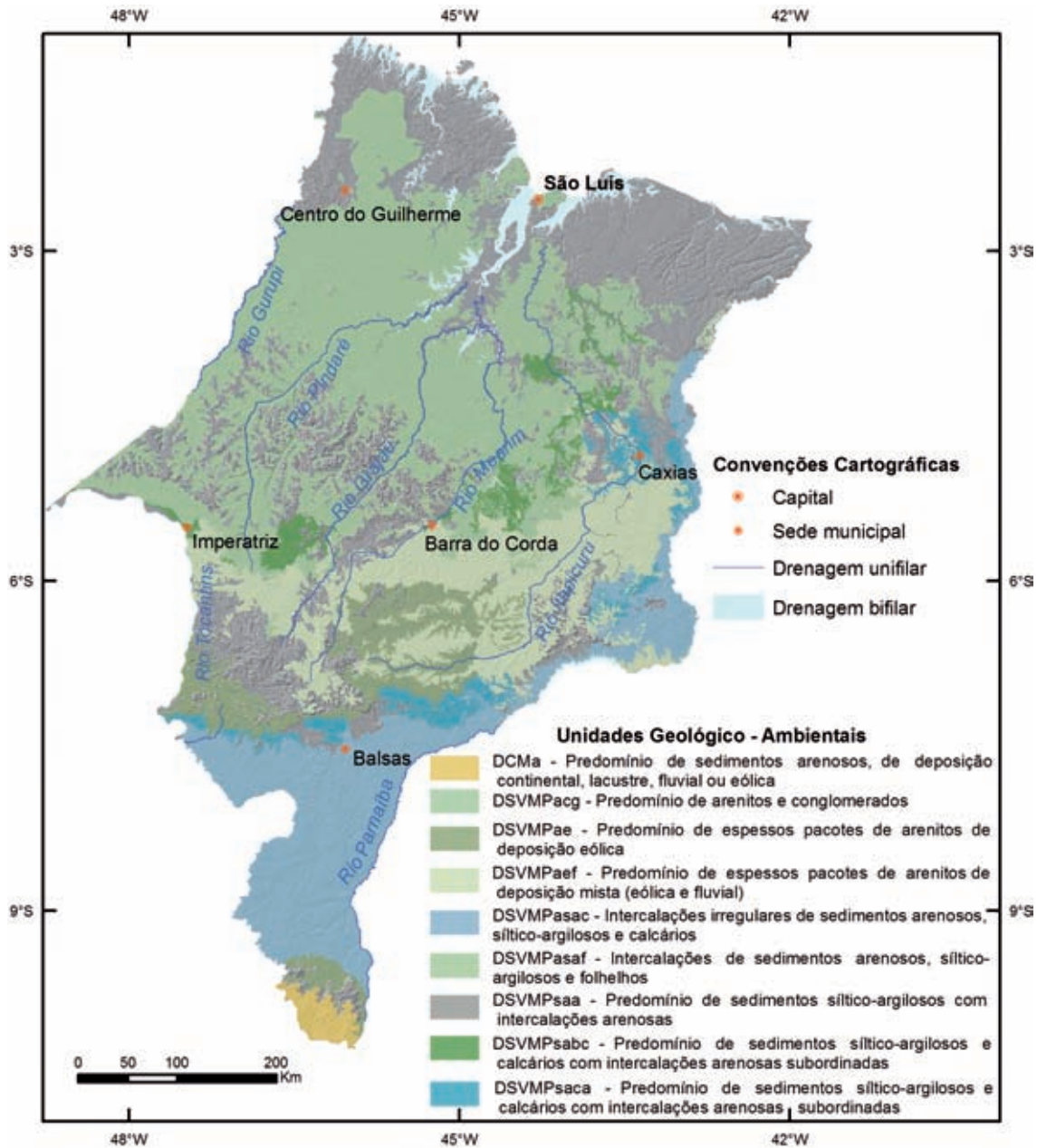


Figura 12.42 - Área de localização das unidades geológico-ambientais do domínio das coberturas sedimentares e vulcanossedimentares mesozoicas e paleozoicas, pouco a moderadamente consolidadas, associadas a grandes e profundas bacias sedimentares do tipo sinéclise (ambientes deposicionais continental, marinho, desértico, glacial e vulcânico) (DSVMP) e do domínio dos sedimentos cenozoicos e/ou mesozoicos, pouco a moderadamente consolidados, associados a profundas e extensas bacias continentais (DCM).

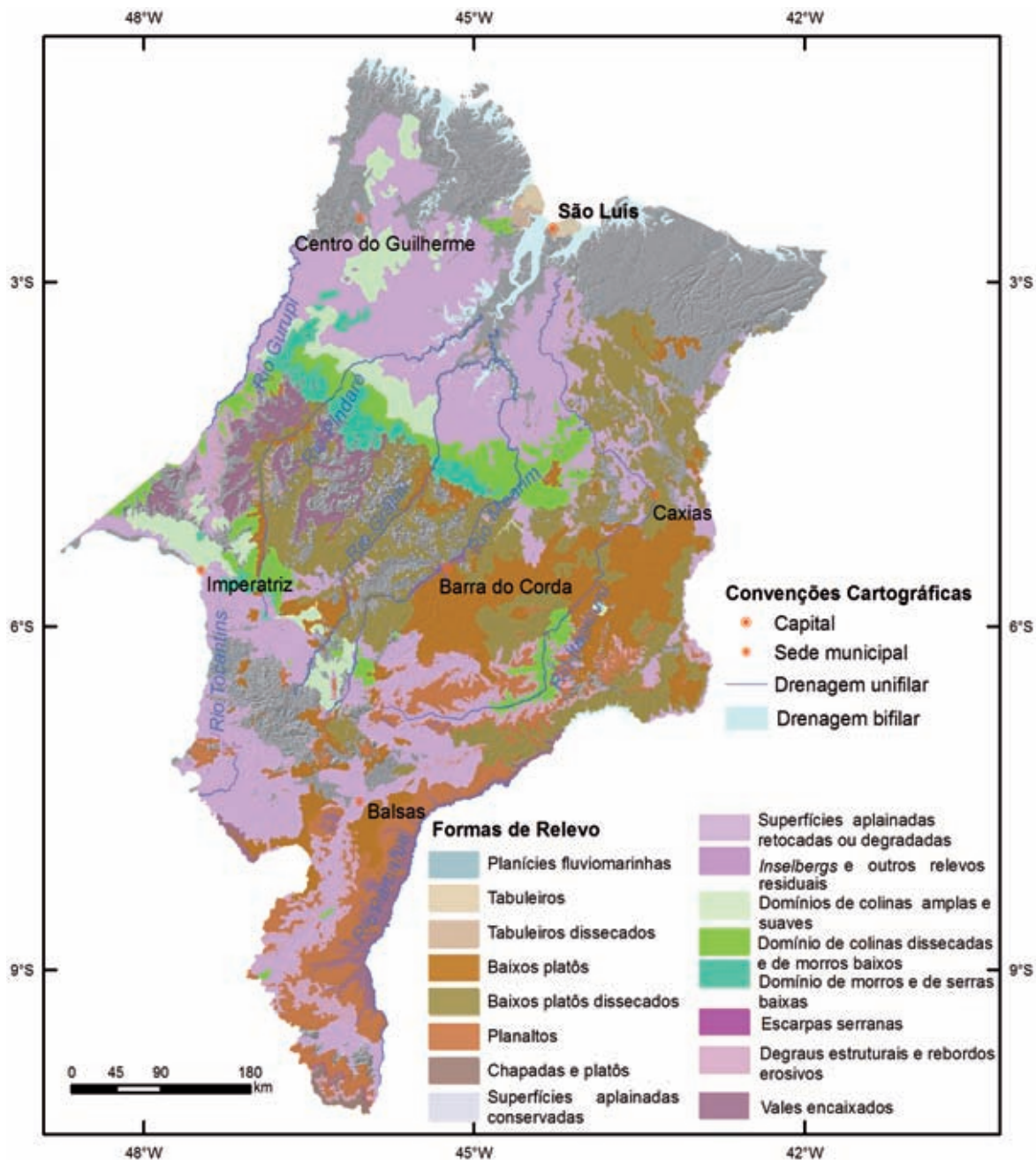


Figura 11.43 - Formas de relevo associadas às unidade geológico-ambientais DCMa, DSVMPaef, DSVMPae, DSVMPacg, DSVMPasaf, DSVMPasac, DSVMPsabc, DSVMPsaca e DSVMPsaa.

Características, Adequabilidades e Limitações Frente ao Uso e à Ocupação

Domínio caracterizado por rochas sedimentares com camadas de diversas espessuras, diferentes granulometria, mineralogia, grau de consolidação e fraturamento. Tais diferenças, visíveis em relevos mais declivosos (Figura 12.44), condicionam uma variação nas características geotécnicas, hidráulicas e hidrogeológicas dos terrenos, onde escavações e sondagens razoavelmente profundas podem alcançar litologias das mais variadas texturas. Já nas áreas de relevo

mais aplainado ou suave ondulado – colinas amplas e suaves, planaltos, tabuleiros, chapadas e platôs e superfícies aplainadas (Figura 12.45) –, essas características não são tão visíveis, pois os terrenos apresentam extensa e boa homogeneidade geomecânica na lateral, pelo fato de as camadas serem horizontalizadas a sub-horizontalizadas.

Apesar da distinção desse domínio em nove unidades geológico-ambientais, estas foram agrupadas em quatro tipos de terrenos, diferenciados, principalmente, por suas características geotécnicas, hidrogeológicas e mineralógicas.



Figura 12.44 - Depósitos sedimentares formados por intercalações de camadas arenoargilosas com siltico-argilosas, com alto potencial erosivo (voçorocas), principalmente quando associados a relevos declivosos, nesse caso, morros e colinas dissecadas. Rodovia BR-222, município Santa Luzia (MA).



Figura 12.45 - Relevos de colinas amplas, sem presença de instabilizações geotécnicas. Rodovia MA-306, município Maracaçume (MA).

Terrenos com Predomínio de Espessos Pacotes Formados por Sedimentos à Base de Quartzarenitos

Terrenos formados, principalmente, por espessos pacotes de material com textura arenosa e subordinado material conglomerático e siltico-argiloso, moderadamente fraturado, que, juntos, recobrem uma área de 64.525,04 km² (Figura 12.46) do estado do Maranhão. Estão representados pelas unidades geoambientais DCMa, DSVMPae, DSVMPaef e DSVMPacg e associados a relevos de platôs, planaltos, chapada, superfícies aplainadas, colinas, morros, relevos residuais, escarpas, degraus estruturais e rebordos erosivos com altimetrias que podem chegar a 740 m (Figura 12.47).

Obras de engenharia

São terrenos com predomínio de materiais quartzarenosos, com extensas camadas horizontalizadas, boa homogeneidade geomecânica lateral, média a alta porosidade, coerentes, moderadamente alterados, que apresentam resistência à escavação e à perfuração de sonda rotativa (desgaste rápido das brocas), devido à dureza e abrasividade do mineral de quartzo. Estão caracterizados por baixa resistência ao cisalhamento, quebrando-se com facilidade quando submetidos a tensão (Figura 12.48). Em alguns locais, essas rochas encontram-se moderadamente muito fraturadas e bastantes percolativas.

As rochas alteram-se para solos arenosos e arenoargilosos, friáveis, permeáveis e erosivos, que desmoronam com facilidade em talude de corte (Figura 12.49), formando feições de erosão (sulcos, ravinas e voçorocas) quando desprovidos da vegetação natural (Figura 12.50) e quando submetidos a concentrações de água pluvial. Os sedimentos arenosos, provenientes de áreas erodidas, podem provocar assoreamento de rios localizados próximos às encostas.

As áreas com relevos declivosos apresentam limitações à implantação de qualquer tipo de obra e estão sujeitas a deslizamentos (Figura 12.51). Nesses locais, o escoamento superficial é rápido, propenso a formar enxurradas de alto potencial erosivo e destruidor de obras. Os declives acentuados condicionam obras de transposição de drenagens e cortes profundos em taludes na implantação de obras viárias e de infraestrutura.

Quando esses terrenos ocorrem em áreas de relevo suave ondulado a aplainado, a pedogênese é bastante avançada e os solos costumam ser intensamente lixiviados. Em muitos locais, há registros de processos de arenização, formando, por vezes, espessos areões inconsolidados e altamente erosivos (Figura 12.52).

Em termos de adequabilidade, esse tipo de relevo, com baixas declividades, possui baixo potencial natural de movimento de massa, caracterizando bons lugares para implantação de obras de infraestrutura viária, com pouca necessidade de obras de transposição de drenagem e de poucos cortes profundos em taludes. Além disso, outros tipos de obra não encontrarão resistência para escavação e perfuração, pois o solo é profundo e predominam sedimentos com grau de alteração avançado, podendo ser facilmente desmontáveis e escavados com ferramentas de corte.

Em qualquer tipo de obra a ser instalada nas áreas onde afloram sedimentos e solos arenosos, devem-se adotar procedimentos que evitem a deflagração de processos erosivos. Por exemplo, obras de terraplenagem ou exposição dos solos por longos períodos nas épocas de chuvas. Nas áreas mais declivosas, não se deve planejar arruamentos concordantes com os declives dos terrenos nem deixá-los sem pavimentação, pois nesses arruamentos concentra-se a energia das águas das chuvas, o que induz ao aparecimento de focos erosivos. Deve-se considerar, também, que obras viárias não pavimentadas sobre esses

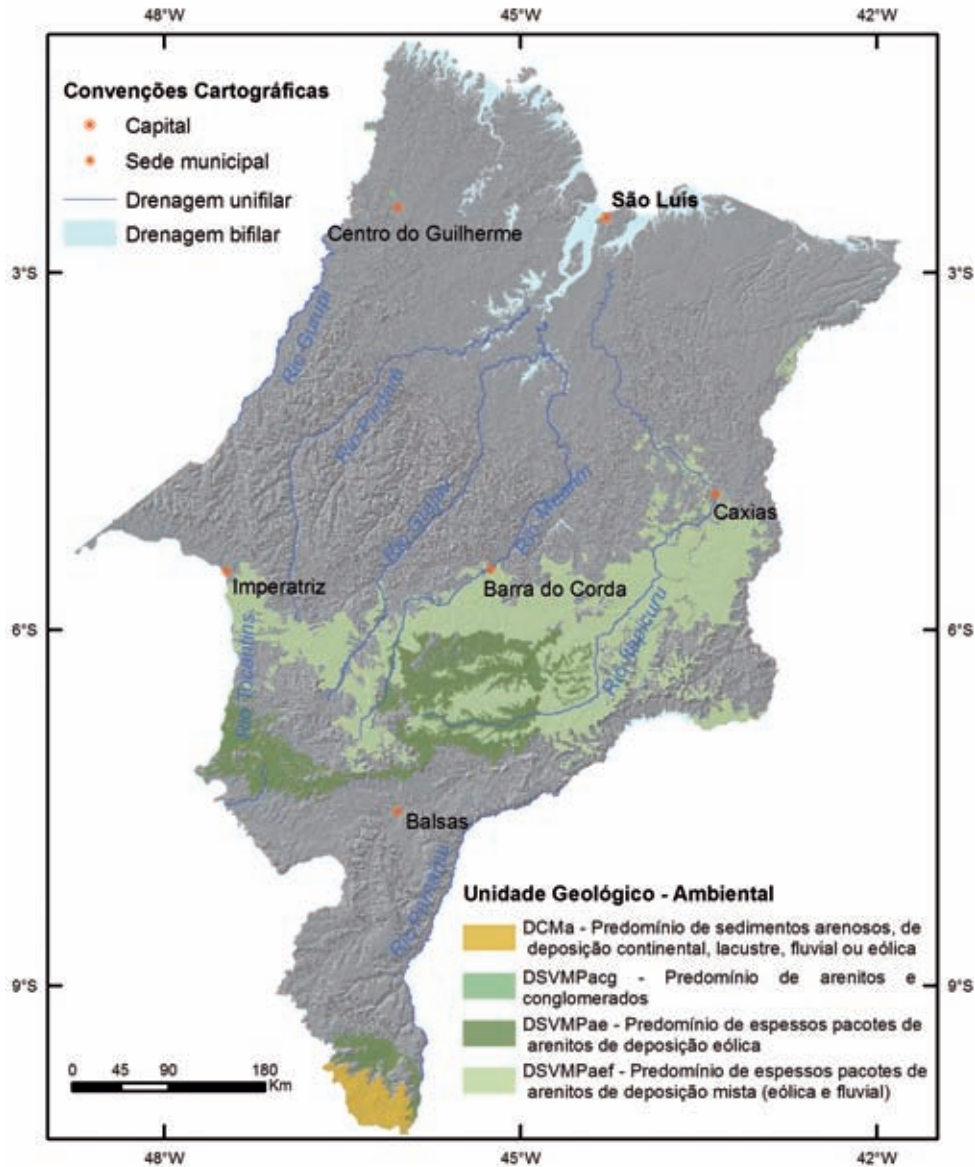


Figura 12.46 - Área de localização dos terrenos com predomínio de espessos pacotes formados por sedimentos à base de quartzarenitos.

terrenos são de difícil trafegabilidade, pois os carros podem "atolar" nesses areões (Figura 12.53).

As rochas desse domínio, quando intercaladas com rochas vulcânicas do Domínio Vulcanismo Fissural do Tipo Platô (DVM), podem se mostrar bastante endurecidas (Figura 12.54), devido à recristalização do quartzo pelo calor das lavas, e oferecer resistência a escavações e perfurações, assim como as áreas onde há rochas magmáticas intrudidas em arenitos.

Na unidade geológico-ambiental DSVMPacg (Predomínio de arenitos e conglomerados), existem conglomerados à base de seixos, abrasivos, com baixo grau de seleção granulométrica e comportamento geomecânico heterogêneo, difíceis de serem perfurados com sondas rotativas e para cravar estacas.

A unidade geológico-ambiental DSVMPaef (Predomínio de espessos pacotes de arenitos de deposição mista (eólica e fluvial)) possui lentes e camadas de material silteoso e argiloso, em um pacote horizontalizado com predominância de areias, possibilitando descontinuidades geomecânicas, que facilitam desestabilizações em talude de corte (Figura 12.55).

Agricultura

Em termos de uso agrícola, deve-se considerar que as unidades geológico-ambientais onde predominam arenitos de deposição eólica (DSVMPae) e arenitos e conglomerados (DSVMPacg) são extensas áreas formadas quase que exclusivamente por arenitos médios à base de quartzo,

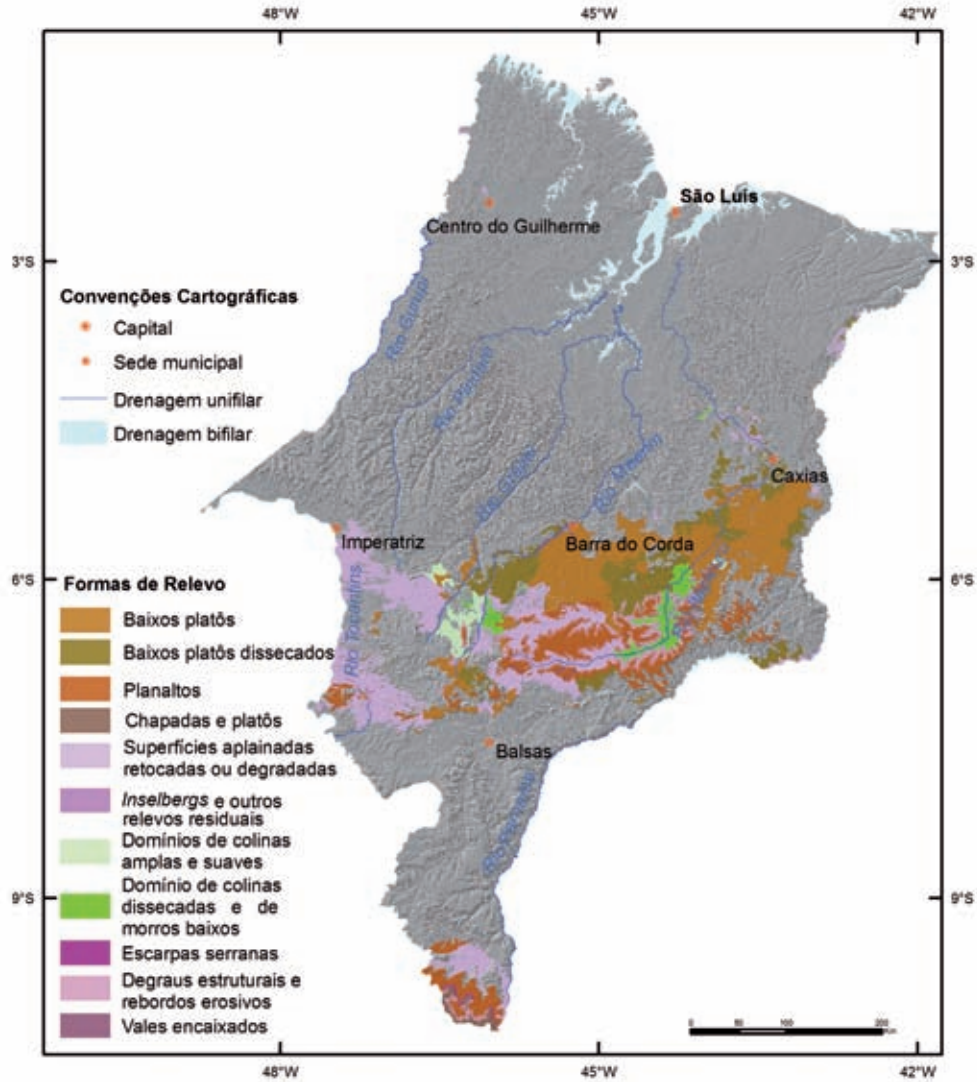


Figura 12.47 - Relevos associados aos terrenos com predomínio de espessos pacotes formados por sedimentos à base de quartzarenitos.



Figura 12.48 - Arenito da unidade geoambiental DSVMpaef, geotecnicamente coeso, com fraturas de alívio e de tensão. Rodovia BR-230, município Barão de Grajaú (MA).



Figura 12.49 - Latossolo Amarelo, oriundo de saprólito sedimentar arenoso da unidade geológico-ambiental DSVMpaef. Rodovia BR-226, município Caxias (MA).

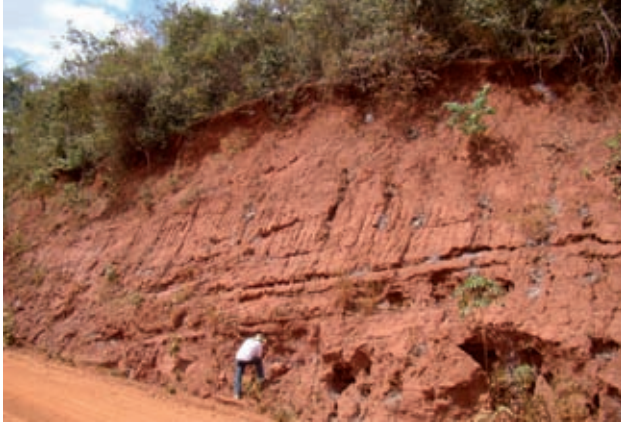


Figura 12.50 - Erosão ravinar na base do talude de corte, associada a material siltico-arenoso da unidade geoambiental DSVMPaef. Estrada de terra, município Fernando Falcão (MA).



Figura 12.53 - Estrada instalada sobre espessos areões, de difícil trafegabilidade, da unidade geoambiental DSVMPae. Rodovia MA-132, município Fernando Falcão (MA).



Figura 12.51 - Encosta declivosa dos baixos platôs, recoberta por vegetação rasteira e alguns pontos sem cobertura vegetal, com evidências de deslizamentos (cicatrizes), da unidade geoambiental DSVMPaef. Rodovia MA-132, município Formosa da Serra Negra (MA).



Figura 12.54 - Contato discordante do arenito da unidade geoambiental DSVMPaef com basalto intemperizado do domínio DVM. Rodovia MA-006, município Formosa da Serra Negra (MA).



Figura 12.52 - Processo de arenização sobre a unidade geoambiental DSVMPaef, nesse caso, correspondente à formação Grajaú, associada a colinas amplas e suaves. Rodovia MA-006, município Grajaú (MA).

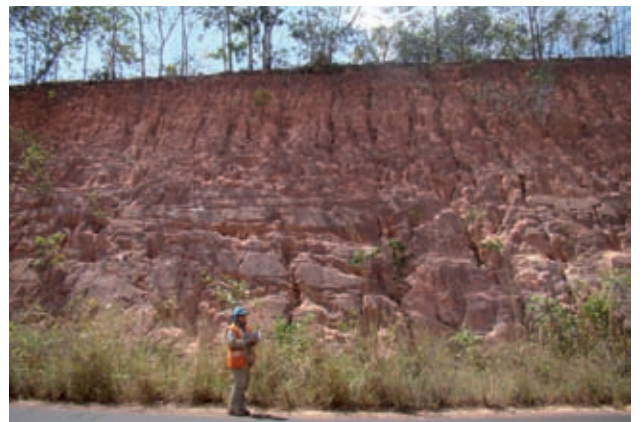


Figura 12.55 - Talude de corte em saprólito arenossiltoso muito intemperizado, com feições erosivas (sulcos), da unidade geológica-ambiental DSVMPaef. Rodovia MA-132, município Mirador (MA).

que, por ação intempérica, originam solos quartzoarenosos (Neossolos Quartzarênicos), excessivamente drenados, permeáveis, com baixa a média fertilidade natural, baixa capacidade hídrica, baixa capacidade de reter e fixar nutrientes e assimilar matéria orgânica, assim como possuem alto potencial erosivo. Além dessas restrições, a unidade DSVMPacg forma solos com pedregosidade, o que dificulta a mecanização.

No caso de áreas de definição da unidade DSVMPaef (Predomínio de espessos pacotes de arenitos de deposição mista (eólica e fluvial)), pelo fato de os arenitos serem de granulometria fina a muito fina e neles se intercalarem irregularmente e de modo subordinado camadas de sedimentos argilosos, em relação ao contexto anterior, os solos apresentam textura mais argilosa e são mais espessos (Latosolos). Em outras áreas, além de conterem maior porcentagem de argila, exibem gradiente textural (Argissolos), ou seja, maior teor de argila no horizonte B que no horizonte A. Além de menos permeáveis e erosivos, apresentam melhor capacidade hídrica e melhor capacidade para reter e fixar nutrientes, com aptidão boa, regular ou restrita para pastagem plantada e regular para lavouras de ciclo curto e/ou longo em pelo menos um dos níveis de manejo (primitivo, pouco desenvolvido ou desenvolvido) (VALLADARES et al., 2007).

Os locais com relevo aplainado a suave ondulado, com predomínio de solos arenosos e arenoargilosos, de permeabilidade elevada e com deficiência de água superficial, são favoráveis a processos de arenização dos solos pela ação das águas das chuvas, que carregam as partículas de argila para os horizontes inferiores, deixando na parte superficial a fração arenoquartzosa muito friável (Figura 12.56). Nas áreas alçadas topograficamente, classificadas como planaltos, tabuleiros, chapadas e platôs, a arenização do solo se dá, também, pela ação dos ventos. Esse processo potencializa a baixa fertilidade dos solos e os deixa mais vulneráveis à erosão laminar. Portanto, recomenda-se evitar o desmatamento de grandes e contínuas superfícies e, principalmente, das cabeceiras de drenagens e margens dos rios, devendo-se adotar a técnica de rodízio de pastagens, assim como alternar pastagens com agricultura. Recomenda-se, ainda, recompor as matas ciliares com espécies de mata nativa da região, em especial, do cerrado, e plantar espécies arbóreas nos pastos, o que propiciaria sombra ao gado (THEODOROVICS; THEODOROVICS, 2010).

Em relevo aplainado a suave ondulado, essas feições são desfavoráveis à existência de nascentes e desprovidas de cursos d'água, o que se constitui em problema, caso sejam usadas para plantio de espécies que necessitam de irrigação. Por outro lado, como são de baixas declividades, amplitudes e densidade de drenagem, não há impedimento ao uso de maquinários agrícolas motorizados (Figura 12.57), além de apresentarem baixo potencial de erosão hídrica, ou seja, o relevo favorece que a água da chuva se infiltre no solo e não escorra na superfície.

Nas áreas de relevo mais acentuado (Figura 12.58), predominam solos pouco profundos, que impedem ou dificultam o uso de implementos agrícolas motorizados, principalmente, nas áreas de relevo de morros e serras baixas, colinas dissecadas e morros baixos, onde os processos pedogenéticos evoluem de forma bastante diferenciada. Portanto, as características físico-químicas e a espessura do solo residual podem variar de local para local.

A presença de argilitos e folhelhos intercalados com arenitos, sob clima úmido e longo tempo de lixiviação, propicia a ocorrência de concreções ferruginosas (plintita e petroplintita) entre as camadas de diferentes texturas, devido ao processo de oxirredução cíclico entre elas, tornando o solo com baixa qualidade química para a agricultura (Figura 12.59).

Apesar da imperfeita drenabilidade desses materiais, o processo de alteração a que são submetidos forma solos



Figura 12.56 - Latossolo Vermelho oriundo da unidade geoambiental DSVMPaef; em campo, observa-se que esse solo está sob processo de arenização induzido pelo vento e, principalmente, por pisoteamento do gado. Rodovia BR-010, município Governador Edison Lobão (MA).



Figura 12.57 - Topo de planalto e Latossolo Amarelo utilizados para agricultura. Rodovia MA-270, município Sucupira do Norte (MA).



Figura 12.58 - Escarpa de platô sustentado por material siltico-argiloso pouco consolidado, erosivo e sujeito a deslizamentos. Estrada de terra, município Fernando Falcão (MA).



Figura 12.59 - Crosta laterítica formada sobre rocha sedimentar com intercalações de camadas de argilito e siltito. Rodovia BR-230, município Pastos Bons (MA).

pouco erosivos, com boa capacidade de reter e fixar nutrientes, favoráveis para a agricultura. No entanto, se a área tiver muitas concreções, torna-se inviável a mecanização.

Recursos hídricos e fontes poluidoras

São terrenos com alto potencial hidrogeológico, devido a espessas camadas arenosas, porosas e permeáveis, geralmente fraturadas, que conferem aquíferos dos tipos granular e fissural, de alto potencial armazenador e circulador de água subterrânea, de grande expressividade areal e boa homogeneidade hidrodinâmica lateral e vertical. Nesse tipo de aquífero, se um poço der boa vazão, a possibilidade de que outro também dê é grande, mesmo situado a longas distâncias. No entanto, esse domínio apresenta áreas com rochas que sofreram alto grau de silicificação e/ou diagênese, diminuindo, assim, os espaços vazios entre os grãos e, conseqüentemente, a permeabilidade, a porosidade e o potencial de recarga dos aquíferos.

As áreas de relevos aplainados a suave ondulados são desfavoráveis a que o lençol freático aflore. Nelas há poucas nascentes e os poucos cursos d'água existentes apresentam águas lentas, pouco oxigenadas e de baixo potencial dispersor e depurador de poluentes. Tais áreas são recobertas por espessos solos arenosos de permeabilidade muito alta. Se, por um lado, são terrenos onde solos e relevos são favoráveis a que as águas subterrâneas sejam abundantemente recarregadas, por outro, são de alta vulnerabilidade à contaminação dessas águas, pois o solo à base de quartzo apresenta muito baixa capacidade de reter, fixar e eliminar poluentes, os quais podem alcançar rapidamente as águas subterrâneas sem serem depurados. Nesses terrenos, cuidados especiais devem ser tomados com todas as fontes potencialmente poluidoras.

As áreas de relevo mais movimentado e declivoso, como escarpas e rebordos erosivos, são favoráveis a que o lençol freático aflore em vários locais, formando inúmeras nascentes, altamente vulneráveis à contaminação. Nessas áreas predominam solos pouco profundos (Neossolos Litólicos e Cambissolos), com alto potencial para erosão hídrica laminar e concentrada.

Potencial mineral

Os terrenos sustentados por unidades essencialmente arenoquartzosas e altamente silicificadas são adequados para utilização como pedra de talhe para uso em calçamento (Figura 12.60) e refratários. Já as áreas com arenitos menos consolidados apresentam alto potencial para exploração de areia (Figura 12.61) para construção civil. O material conglomerático da unidade DSVMPacg pode ser utilizado como saibro.

A porção oeste desse domínio, mais especificamente próximo à cidade de Governador Edison Lobão, apresenta rochas (Figura 12.62) com presença de zeólitas (REZENDE, 2002), que poderiam ser utilizadas para corretivo de solo.



Figura 12.60 - Blocos de arenito silicificado utilizados para pedra de revestimento. Rodovia MA-006, município Grajaú (MA).



Figura 12.61 - Área de extração de areia para uso na construção civil. Rodovia BR-135, município Presidente Dutra (MA).

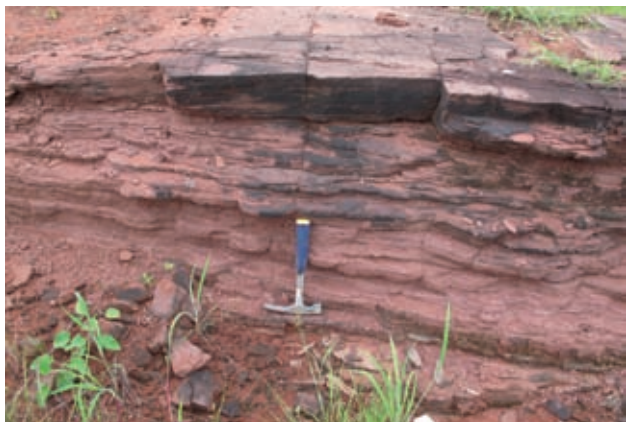


Figura 12.62 - Arenitos intercalados com siltitos da unidade geoambiental DSVMPaef. Estrada de terra, município Ribamar Fiquene (MA).

Potencial geoturístico

Domínio constituído por empilhamento de camadas horizontalizadas de sedimentos arenosos e arenoargilosos, fraturados, com grau diferenciado de resistência ao intemperismo, que foram erodidos, formando belos cenários paisagísticos, revelados em planaltos (Figura 12.63) e vales amplos em meio a um conjunto de morros (Figura 12.64)

que se sobressaem em campos amplos e aplainados cobertos por vegetação de cerrado. Além de cachoeiras, como a da Pedra Caída (Figura 12.65), e pequenas quedas d'água dispostas em série, como a cachoeira Cocal (Figura 12.66), observam-se rios com corredeiras e piscinas naturais (Figura 12.67). Essas paisagens fazem parte dos polos turísticos Serras Guajajara, Timbira e Kanela e Chapada das Mesas.



Figura 12.64 - Formações rochosas areníticas, sob a forma de morros, constituem belo cenário geológico-geomorfológico. Município Carolina (MA).

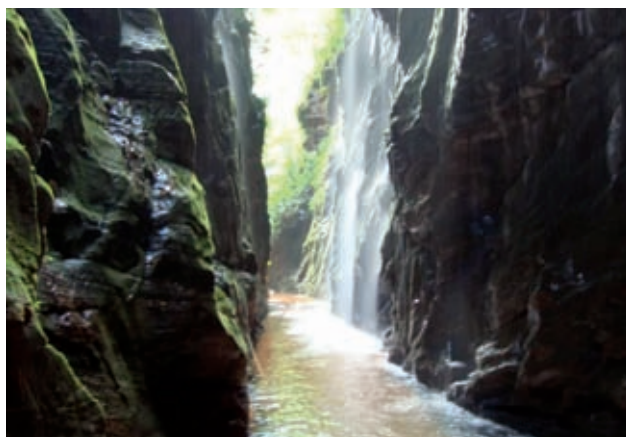


Figura 12.65 - Cachoeira da Pedra Caída. Município Carolina (MA). Disponível em: <<http://www.skyscrapercity.com/showthread.php?t=1112613>>.



Figura 12.63 - Planalto popularmente denominado serra das Alpercatas. Rodovia MA-132, município Formosa da Serra Negra (MA).



Figura 12.66 - Cachoeira Cocal. Município Riachão (MA).



Figura 12.67 - Poço Azul. Município Riachão (MA). Disponível em: <<http://www.skyscrapercity.com/showthread.php?t=1112613>>.

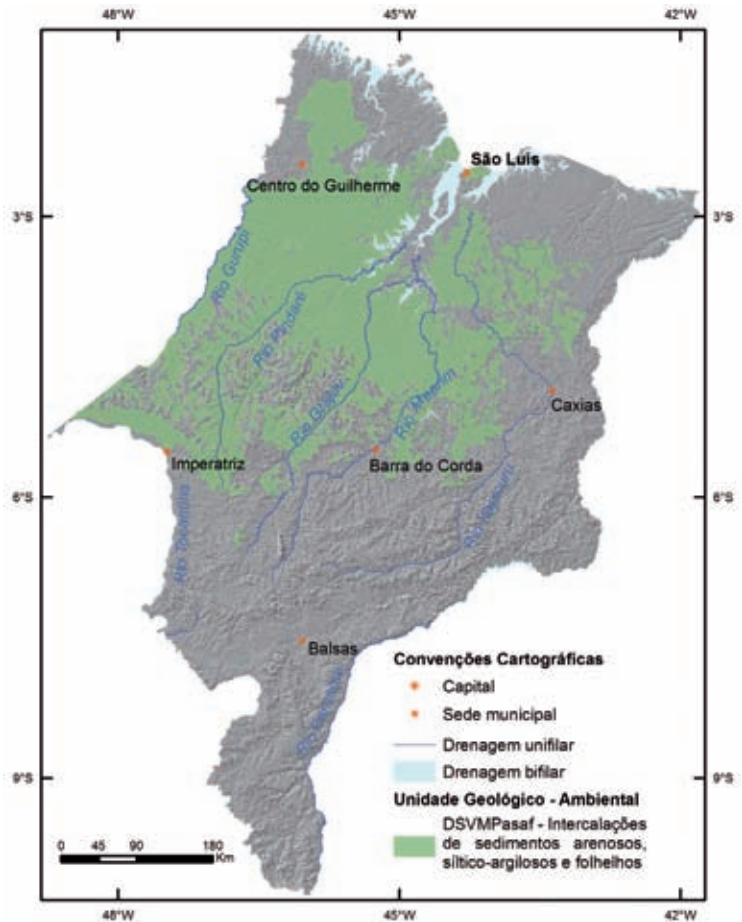


Figura 12.68 - Área de localização dos terrenos com predomínio de intercalações irregulares de camadas de sedimentos arenosos e siltico-argilosos.

Terrenos com Predomínio de Intercalações Irregulares de Camadas de Sedimentos Arenosos e Siltico-Argilosos

Terrenos com a maior expressão areal do estado, com aproximadamente 103.525,28 km² (Figura 12.68), representados pela unidade geoambiental DSVMPasaf, composta por rochas semiconsolidadas, pouco a moderadamente fraturadas, com grande diversificação litológica na horizontal e na vertical: arenitos, siltitos, argilitos e calcários. Ou seja, as áreas mais ao norte contêm maior proporção de material siltico-argiloso (Figura 12.69); próximo ao litoral, registra-se a presença de calcário; enquanto as áreas da porção centro-sul caracterizam-se por serem mais arenosas (Figuras 12.70 e 12.71), mas ainda com presença de material argiloso e caulínico. Na porção oeste do estado, essa unidade se encontra muito alterada, formando um espesso perfil laterítico.

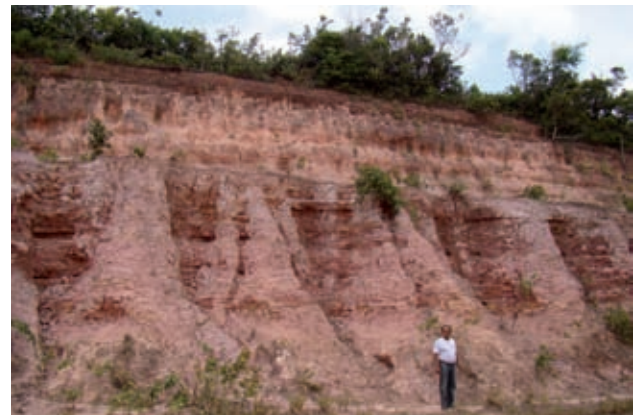


Figura 12.69 - Erosão em forma de sulco, associada a sedimentos argilosos e solos residuais pouco evoluídos da unidade geoambiental DSVMPasaf. Rodovia MA-106, município Alcântara (MA).

Terrenos associados a relevos com topos planos a suave ondulados, como superfícies aplainadas, tabuleiros, platôs, planaltos e colinas amplas, assim como relevos mais movimentados, como colinas dissecadas, degraus estruturais, morros e vales encaixados (Figura 12.72).



Figura 12.70 - Corte de estrada em rocha arenogilosa, com potencial erosivo e instável em talude de corte, devido à textura do material e à falta de cobertura vegetal. Rodovia BR-222, município Santa Luzia (MA).



Figura 12.71 - Intercalações entre camadas arenosas e lâminas de argila muito instáveis em talude de corte, pouco coesas e predominantemente erodíveis. Rodovia MA-106, município Pinheiro (MA).

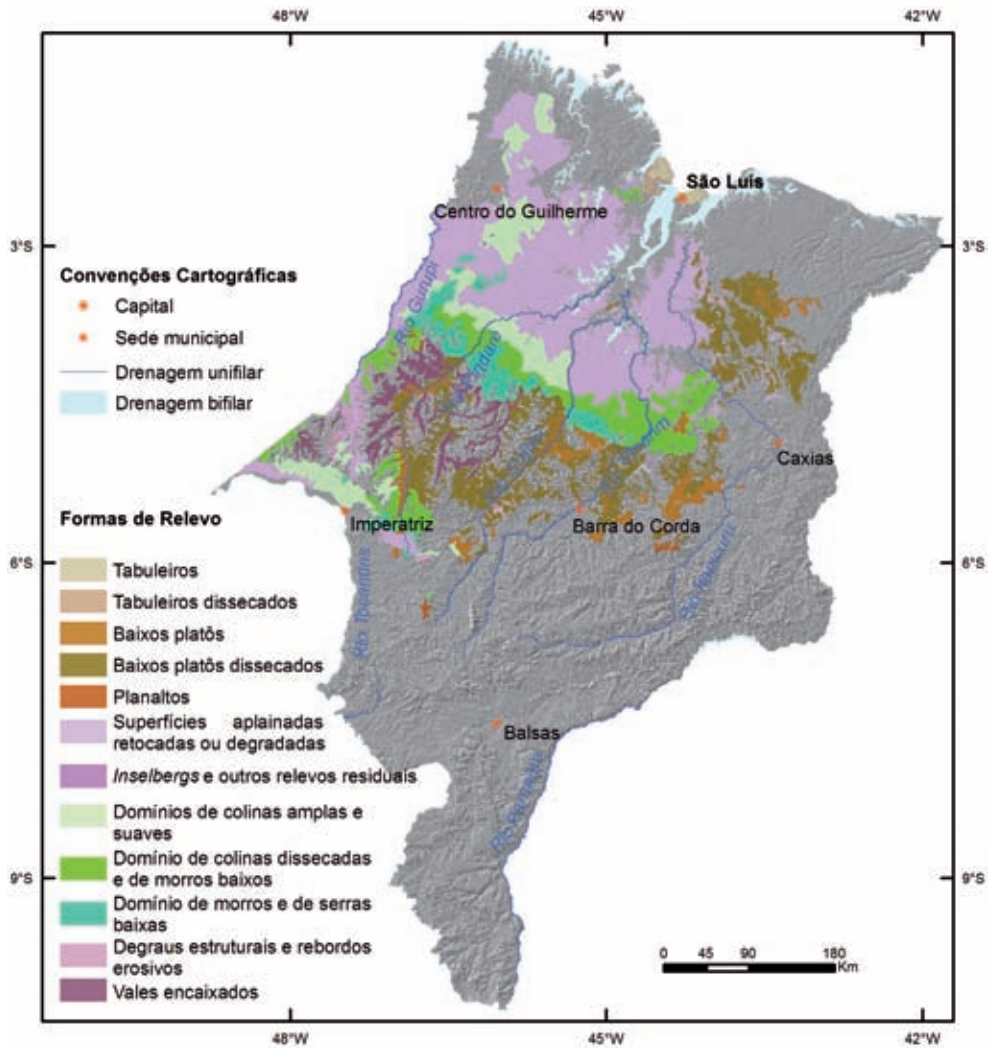


Figura 12.72 - Relevos associados aos terrenos com predomínio de intercalações irregulares de camadas de sedimentos arenosos e siltico-argilosos.

Obras de engenharia

Registram-se camadas horizontalizadas não deformadas de sedimentos, com moderado a baixo grau de diagênese, de diversas espessuras de sedimentos de características diferentes, que mudam abruptamente de uma camada para outra, constituindo descontinuidades que facilitam o aparecimento de surgências d'água e desestabilizações em talude de corte (Figura 12.73). Dessa forma, escavações e perfurações de poucos metros de profundidade podem alcançar litologias das mais variadas e contrastantes características geotécnicas.

As rochas dessa unidade se encontram intensamente alteradas por processos de laterização, com desenvolvimento de espessos perfis de solos contendo horizontes compostos por concreções ferruginosas, assim como presença de argilas como a caulinita (Figura 12.74), que demarca o último estágio de alteração dos feldspatos. Esses processos são condicionados, principalmente, pelo clima, especificamente a temperatura, e pelo alto índice pluviométrico da região.

Devido ao espesso perfil laterítico, esses terrenos exibem baixa a moderada erosividade natural, baixa resistência ao corte e à penetração, boa estabilidade em taludes de corte e moderada capacidade de suporte, adequados ao uso em bases de obras viárias. No entanto, as áreas com predomínio de arenitos e siltitos alterados mostram alto potencial erosivo (Figura 12.75); portanto, qualquer obra a ser instalada nesses locais necessitará de um bom sistema de drenagem superficial, estabilização nas escavações e tratamento nas fundações.



Figura 12.73 - Perfil de rocha alterada composta por intercalação de camadas arenosas com lâminas de argilitos caulinizados, com alto potencial erosivo induzido e alto potencial para desestabilizações geotécnicas. Rodovia BR-316, município Santa Luzia do Paruá (MA).



Figura 12.74 - Talude de corte em material sedimentar siltico-argiloso, muito intemperizado, com presença de caulinita e petroplintita, que favorecem a estabilidade no talude. Rodovia BR-230, município São Raimundo das Mangabeiras (MA).



Figura 12.75 - Voçoroca entalhada em rocha arenossiltosa alterada e em relevo de colinas dissecadas. Rodovia BR-222, município Santa Luzia (MA).

Agricultura

Diferenças litológicas do pacote sedimentar, variação no grau de intemperismo e condições de alta temperatura e umidade possibilitaram a formação de solos com característica física e potencial agrícola variáveis. Entretanto, no geral, mostram características de intenso intemperismo químico com presença frequente de material laterizado.

Nessa unidade destacam-se solos profundos, argiloarenosos e arenoargilosos (Latosolos), com boa drenabilidade e aptidão regular para pastagem plantada, principalmente nas áreas planas, como superfícies aplainadas, colinas amplas e topos de platôs e chapadas. Solos rasos e pedregosos (Neossolos Litólicos) e solos maldrenados, com presença de plintitas e petroplintitas (Plintossolos), com baixa a moderada capacidade de reter

nutrientes e drenagem interna dificultada pela variação litológica das camadas subjacentes. Além de Argissolos, com boa capacidade de reter nutrientes e armazenar água, com aptidão boa a regular para lavouras de ciclo curto e/ou longo. No entanto, como o índice pluviométrico da região é de mais de 2.000 mm anualmente, os solos ficam saturados, o que diminui a qualidade em termos de aeração, nutrientes e compactação (MOURA, 2006). Tal deficiência poderia ser contornada com a aplicação adequada de fertilizantes naturais, assim como o aumento na capacidade de aeração poderia se dar por meio de atividade da macrofauna protegida (ALBUQUERQUE, 1999). No entanto, segundo Moura (2006), o contexto socioeconômico não permite avançar em modelos de uso do solo sofisticados ou onerosos. Portanto, alternativas mais sustentáveis e econômicas deverão ser introduzidas, como a substituição da agricultura itinerante por sistemas de produção de alimentos com maior diversidade de espécies que atuem no aumento da fertilidade desses solos mais pobres (FERRAZ JUNIOR, 2006).

As porções setentrionais dessa unidade apresentam intercalações de camadas arenoargilosas com calcários que aumentam a fertilidade dos solos.

Recursos hídricos e fontes poluidoras

Unidade com heterogeneidade geomecânica e hidráulica, tanto na vertical quanto na horizontal, variação na porosidade, permeabilidade e coerência dos materiais. Tais características condicionam um potencial hidrogeológico variável, devido à presença descontínua de camadas arenosas. Entretanto, possuem bom potencial de recarga de água subterrânea nas áreas de relevo plano e onde afloram sedimentos arenosos.

O grau de vulnerabilidade à contaminação dos aquíferos porosos é muito variável, devido à alternância entre camadas arenosas e siltico-argilosas. Quando sedimentos arenosos funcionam como zona de aeração, a zona saturada em água (aquífero) apresenta alto grau de vulnerabilidade. No entanto, quando aquíferos são sobrepostos por material mais fino (argilas), esse grau é relativamente baixo, caracterizando aquíferos confinantes.

Hidrologicamente, essa unidade é recortada por vários rios que nascem no sudoeste do estado e desembocam no Golfão Maranhense (norte do estado), caracterizando um recurso com grande expressão areal e com boas qualidades físico-químicas para abastecimento humano.

Potencial mineral

A porção oeste dessa unidade, onde predominam relevos de platôs, chapadas e planaltos, contém taludes de corte e natural

exibindo perfil laterítico indicativo de depósitos bauxíticos com gênese associada ao intemperismo químico (KOTSCHOUBEY et al., 2005), assim como potencial para exploração de caulim (Figura 12.76).

Além de depósitos de minério laterítico, essa unidade apresenta alto potencial para extração de areia e argila (Figura 12.77).

Potencial geoturístico

Unidade com atrativos geoturísticos relacionados a fósseis de peixes, répteis e dinossauros (CARVALHO et al., 2003), principalmente pegadas de dinossauros, encontradas no município de Alcântara e na cidade de São Luís (CARVALHO; GONÇALVES, 1994).

Registram-se, também, atrativos geoturísticos associados às formas de relevos com grande beleza paisagística, como os planaltos e platôs sobrepostos por vegetação de babaçu (Figura 12.78), que se destacam nas porções central e centro-oeste do estado.



Figura 12.76 - Talude de corte em perfil laterítico, rico em material caulínico, coerente, pouco permeável e moderadamente fraturado, sobreposto por Latossolo e vegetação arbórea. Rodovia BR-226, município Barra do Corda (MA).



Figura 12.77 - Antiga área de extração de argila para cerâmica. Rodovia MA-014, município Viana (MA).



Figura 12.78 - Arenito e siltitos caulinizados sob vegetação de babaçus. Rodovia BR-316, município Codó (MA).

em muitas áreas, muito mais intemperizada e menos coesa que a unidade DSVMPasac.

Obras de engenharia

Sequência sedimentar que apresenta variações litológicas como arenitos, siltitos, argilitos, folhelhos, calcários e arenitos com níveis de sílexitos (Figura 12.81). Tal diversificação proporciona comportamentos geomecânicos contrastantes, como porosidade e permeabilidade diferenciadas, baixa a média resistência ao corte, à exceção das camadas onde se encontram os sílexitos, que apresentam alta resistência a perfurações.

A alteração dessas rochas forma solos de espessura, mineralogia e textura variáveis, dependendo do tipo de material-fonte, grau de diagênese e alteração das rochas. Portanto, podem ser encontrados vários tipos de solos, com a mais diversificada condição geotécnica.

Terrenos com Predomínio de Intercalações de Sedimentos Arenosos, Síltico-Argilosos e Calcários

Ocupam uma faixa de 42.778,88 km² (Figura 12.79), que se estende do sul ao leste do estado do Maranhão. Associam-se a relevos de superfícies aplainadas, colinas, platôs, planaltos, rebordos erosivos e vales encaixados (Figura 12.80). Estão representados pela unidade geoambiental DSVMPasac (Intercalações irregulares de sedimentos arenosos, síltico-argilosos e calcários), caracterizada por rochas consolidadas, semiconsolidadas, pouco a moderadamente alteradas e fraturadas, com grande diversificação litológica na horizontal e na vertical. Registra-se a presença de material muito alterado, formando solos de textura e profundidade variáveis.

Essa unidade apresenta características similares às da unidade geoambiental DSVMPasaf (Intercalações de sedimentos arenosos, síltico-argilosos e folhelhos). No entanto, diferencia-se pela quantidade de calcário e presença de sílex, uma vez que a unidade DSVMPasac é composta por camadas de calcário, calcarenitos e sílex, que variam de centímetros a metros de espessura, enquanto os terrenos da unidade DSVMPasaf não possuem sílex, exibindo calcários em porções restritas, como no oeste do litoral maranhense. Ressalta-se que a unidade geológico-ambiental DSVMPasaf se apresenta,

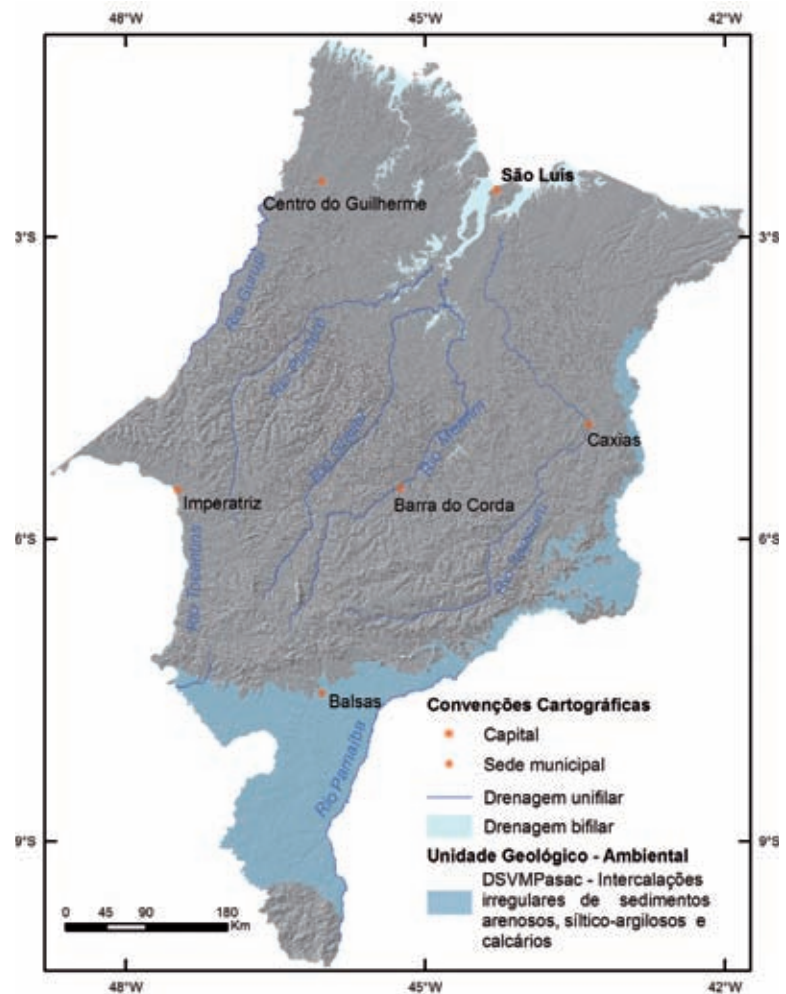


Figura 12.79 - Área de localização dos terrenos com predomínio de intercalações de sedimentos arenosos, síltico-argilosos e calcários.

Em geral, prevê-se baixa a moderada capacidade de suporte de carga do solo e resistência ao corte e à penetração (solos e perfis de alteração espessos). Entretanto, as áreas com relevo de superfície aplainada, colinas amplas e

topo dos platôs sustentados por material arenoso argiloso e argiloso mostram boa estabilidade geotécnica. Já as áreas com predomínio de siltitos e arenitos de granulometria fina, quando alterados, mostram baixa resistência ao cisalhamento e alto potencial de erosão, desagregando com facilidade em talude de corte.

Rochas calcárias localizadas em subsuperfície podem sofrer dissolução ocasionada por infiltração de água, gerando cavidades (grutas e cavernas) sujeitas a abatimentos e desmoronamentos subterrâneos. O excessivo bombeamento de água subterrânea, nessas áreas, pode causar rebaixamento do lençol freático e, conseqüentemente, acelerar os processos de colapso dos terrenos. Dessa forma, as grandes obras de engenharia devem ser precedidas de investigações geológicas e geotécnicas, a fim de identificar a existência de tais feições.

Agricultura

Terrenos formados por solos muito intemperizados, oriundos de rochas com grande diversidade litológica. Predominância de solos arenoso argiloso e argiloso, além da presença de solos arenosos.

Os solos arenoso argiloso, mais espessos (Latosolos), formados em relevo suavemente ondulado, plano e colinas amplas, apresentam aptidão boa para lavouras de ciclo curto e/ou longo, desde que condicionados à aplicação de corretivos e fertilizantes, assim como aptidão regular para lavouras de ciclo curto e/ou longo.

Os solos com perfis mais argiloso caracterizam-se com aptidão boa ou regular para pastagem plantada.

As áreas onde afloram os solos oriundos de rocha calcária apresentam bom potencial agrícola, devido à boa fertilidade natural e alta capacidade de fixar nutrientes. Diferentemente dos Neossolos Quartzarênicos, oriundos de áreas com predomínio de pacotes espessos de arenitos, que apresentam baixa fertilidade natural e pequena capacidade de retenção de umidade e nutrientes.

Nas áreas com baixa altimetria e moderado a alto índice pluviométrico, formam-se Gleissolos maldrenados e de baixa fertilidade natural.

Recursos hídricos e fontes poluidoras

A favorabilidade hidrogeológica é variável, podendo haver aquíferos cársticos e porosos com baixo a moderado potencial hidrogeológico.

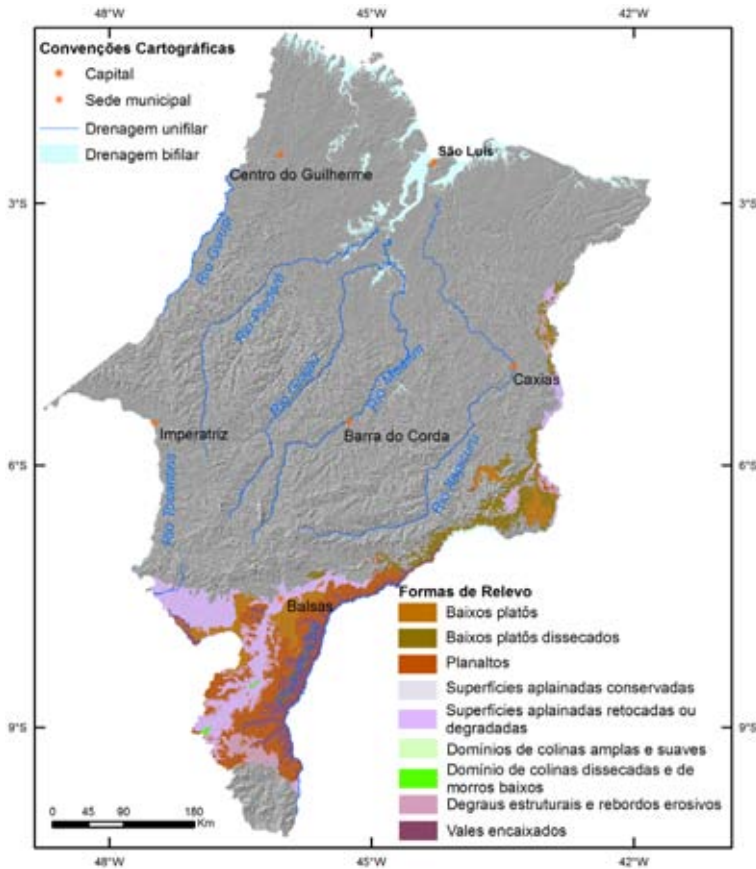


Figura 12.80 – Relevos associados aos terrenos com predomínio de intercalações de sedimentos arenosos, siltico-argiloso e calcários.

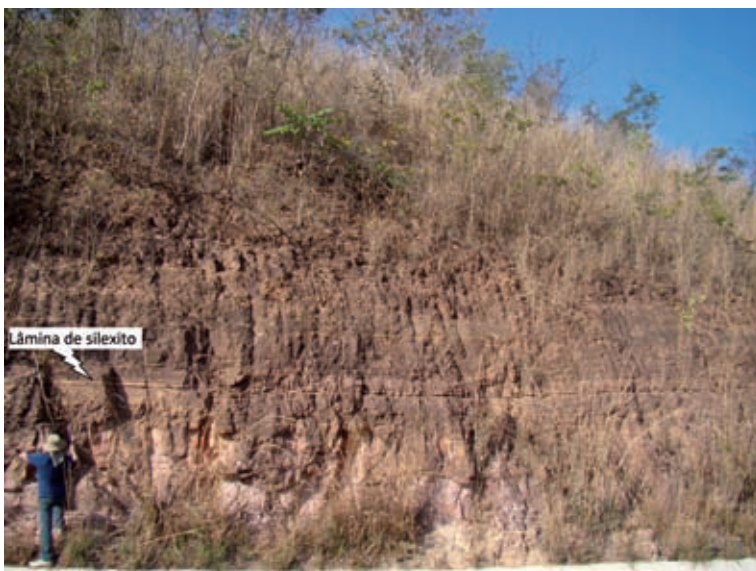


Figura 12.81 - Platôs sustentados por intercalações de camadas siltico-argiloso e lâminas de sílexito. Rodovia BR-230, município São João dos Patos (MA).

Os aquíferos cársticos estão relacionados à dissolução química dos minerais das camadas ricas em calcário e à presença de fraturas e outras superfícies de descontinuidade, que, quando alargadas por dissolução, proporcionam ao reservatório porosidade e permeabilidade secundária, permitindo a circulação de água em volumes consideráveis. Em geral, os reservatórios aquíferos são descontínuos e as águas são do tipo carbonatada, com dureza elevada, devendo ser utilizados de forma adequada, pois o excessivo bombeamento de água subterrânea pode causar rebaixamento no lençol freático e acelerar processos de abatimentos do terreno.

Além dos aquíferos cársticos, existem os porosos, oriundos de camadas arenosas, com porosidade e permeabilidade moderadas, propícios à captação de água subterrânea.

Em geral, essa unidade apresenta baixa a moderada vulnerabilidade natural à contaminação dos aquíferos, devido à presença de espessas coberturas siltico-argilosas, que possuem baixa permeabilidade e boa capacidade de reter, fixar e eliminar poluentes. No entanto, as porções formadas por coberturas arenoargilosas e arenosas mostram-se boas condutoras de possíveis contaminantes.

Aliadas a essas coberturas arenosas encontram-se as áreas com rochas calcárias, que também estão suscetíveis à contaminação, devido à existência de ligação direta entre o fluxo de água superficial e subterrânea (dolinas e sumidouros de drenagem). Nesses locais, os poluentes chegam rapidamente às águas subterrâneas sem sofrerem depuração.

Potencial mineral

Favorabilidade para prospecção de calcário dolomítico e calcítico (Figura 12.82) e dolomito calcítico para corretivo de solo, cimento e cal.

Potencial para exploração de arenito para pedra de revestimento, além de areia para construção civil e argila para cerâmica.

Registra-se, ainda, a presença de urânio (LIMA; LEITE, 1978).

Potencial geoturístico

Potencial geoturístico relacionado aos rios entalhados por falhas e cachoeiras que se formaram a partir da diferença de resistência à erosão dos arenitos silicificados no curso do rio Itapecuru (Figura 12.83), além de belezas paisagísticas como planaltos e baixos platôs recobertos por vegetação de cerrado (Figura 12.84). Registram-se, ainda, minas de calcário que podem se tornar ponto de interesse geoturístico.

Também há potencial geoturístico associado a sítios paleontológicos, como madeira silicificada, estromatólitos, fósseis de peixes, anfíbios e trilobitas (SANTOS; CARVALHO, 2009).

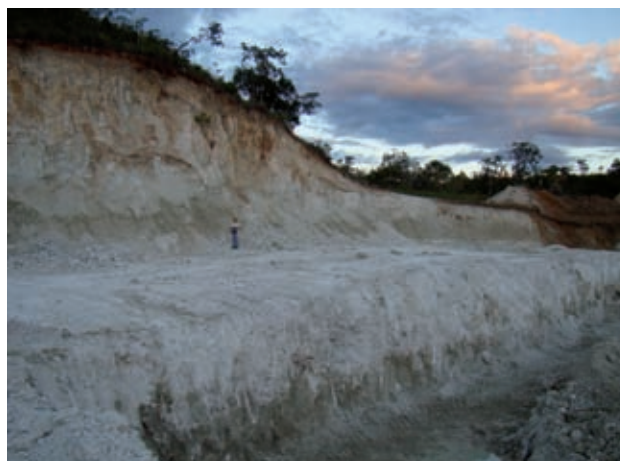


Figura 12.82 - Mina de calcário calcítico, minério utilizado na correção de solo. Empresa de Mineração Vale do Araguaia, município Balsas (MA).



Figura 12.83 - Cachoeira Itapecuru em área de grande potencial geoturístico; paredão vertical entre 10 a 15 m de desnivelamento; nível de base local (*knickpoint*) supostamente controlado por camada de arenito fino muito endurecido (silexito) da formação Pedra de Fogo. Próximo à rodovia BR-230, município Carolina (MA).



Figura 12.84 - Pacote sedimentar de arenitos finos intercalados com siltitos moderadamente alterados, sustentando relevo de platôs. Rodovia MA-006, município Tasso Fragoso (MA).

Terrenos com Predomínio de Pelitos

Formam faixas alongadas que se estendem da porção sudoeste à porção sudeste, assim como estão distribuídos irregularmente nas porções leste, nordeste e centro-oeste do estado do Maranhão, ocupando uma área de 17.871,43 km² (Figura 12.85). Associam-se a relevos residuais, superfícies aplainadas, colinas, platôs, planaltos, rebordos erosivos e vales encaixados (Figura 12.86). Estão representados pelas unidades geoambientais DSVMPsabc (Predomínio de sedimentos síltico-argilosos intercalados de folhelhos betuminosos e calcários), DSVMPsaca (Predomínio de sedimentos síltico-argilosos e calcários com intercalações arenosas subordinadas) e DSVMPsaa (Predomínio de sedimentos síltico-argilosos com intercalações arenosas).

Obras de engenharia

Terrenos formados por empilhamento de rochas horizontalizadas predominantemente pelíticas (folhelhos,

argilitos e siltitos) (Figura 12.87), com subordinados arenitos. Quando pouco alteradas, essas rochas apresentam-se coerentes, com porosidade variável (média a alta), baixa permeabilidade, alta resistência ao cisalhamento e boa estabilidade geotécnica em relevos mais planos e com baixa declividade.

Formam solos argilosos e argiloarenosos com boa capacidade de compactação, consistência plástica, baixa erosividade e baixa resistência ao corte e à penetração. No entanto, algumas áreas podem conter argilas expansivas, que, quando secas, tornam-se muito duras e úmidas, mostram-se rijas e plásticas, com cerosidade elevada, oferecendo dificuldades à escavação e/ou perfuração com sondas rotativas. Também podem se compactar e impermeabilizar quando submetidas a mecanização excessiva e intenso pisoteio pelo gado, favorecendo a erosão hídrica laminar ou em sulcos ou ravinas (Figura 12.88).

Algumas áreas apresentam variação litológica na vertical, o que pode ocasionar descontinuidades geotécnicas, favorecendo a instabilidade em talude de corte.

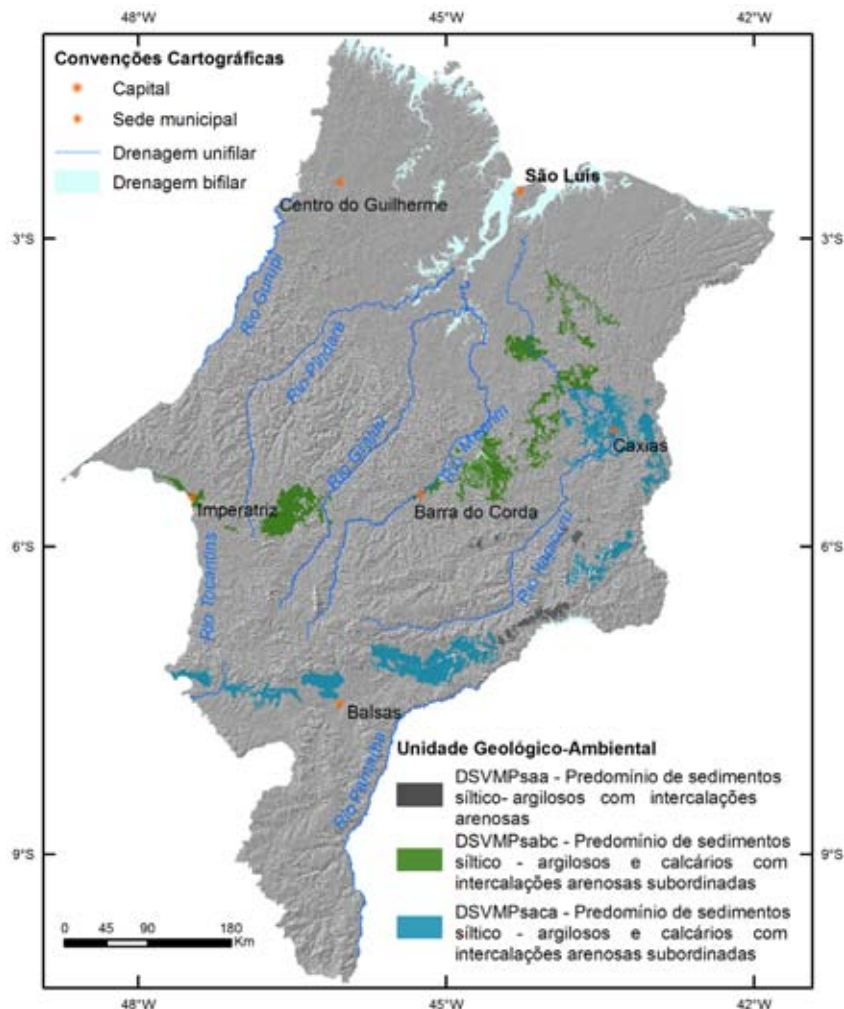


Figura 12.85 - Área de localização dos terrenos com predominância de pelitos.

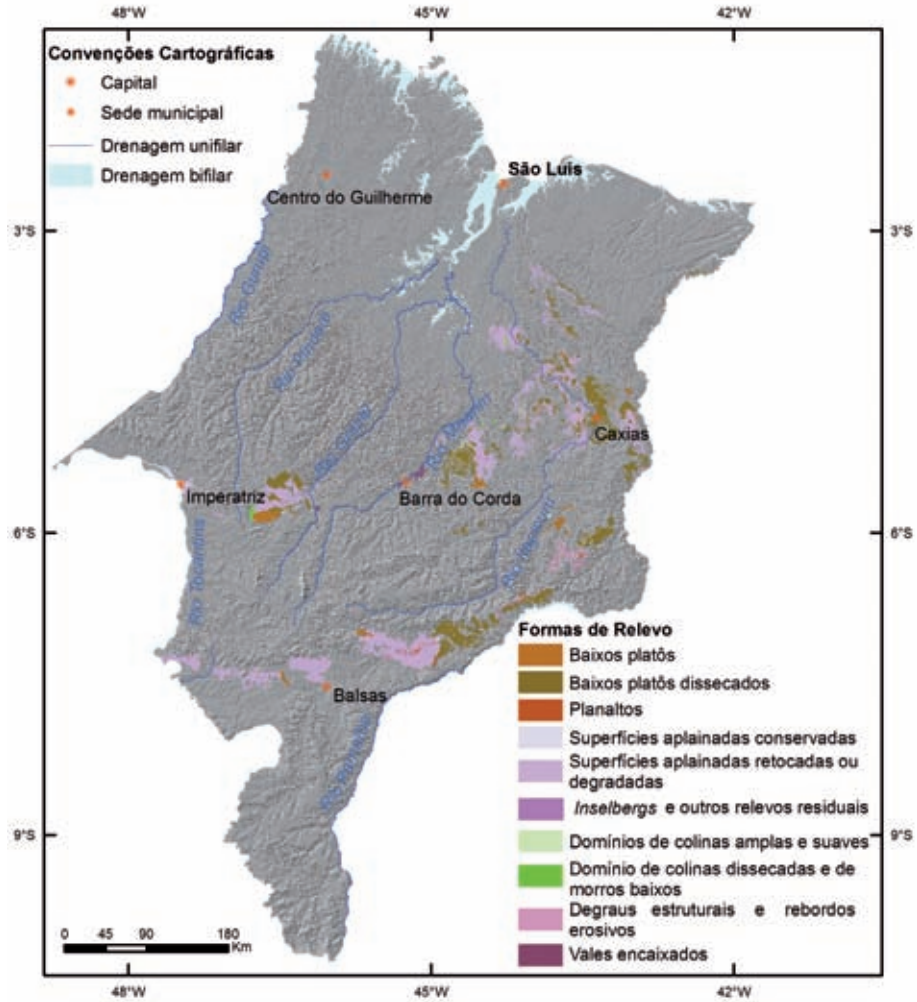


Figura 12.86 - Relevos associados aos terrenos com predomínio de pelitos.



Figura 12.87 - Pacote sedimentar com estratificações paralelas de siltitos e folhelhos. Rodovia BR-230, município Riachão (MA).



Figura 12.88 - Erosão (ravinas) em saprólito sedimentar predominantemente argilossiltoso da unidade geoambiental DSVMPSaca. Rodovia BR-316, município Timom (MA).

Relevos mais declivosos, como colinas dissecadas, morros, rebordos erosivos, sustentados por rochas argilossiltosas, favorecem processos pedogenéticos muito diferenciados de local para local, com predomínio de solos pouco evoluídos, com horizontes bem diferenciados, por isso, erosivos e instáveis, com maior possibilidade de se encontrar rochas duras aflorantes ou situadas a baixas profundidades, como também material coluvionar e depósitos de tálus e materiais naturalmente instáveis de muito alto potencial erosivo laminar e concentrado.

A unidade DSVMPsabc, por conter camadas de calcário e gipsita, pode sofrer dissolução por ação das águas, levando à formação de cavidades (grutas e cavernas) sujeitas a desmoronamentos subterrâneos, causando abatimentos e colapsos da superfície (dolinas e sumidouros) (Figura 12.89). Dessa forma, tornam-se necessários estudos geotécnicos envolvendo métodos geofísicos antes da instalação de obras.



Figura 12.89 - Exploração de gesso na unidade geambiental DSVMPsabc. Indústria Itapecuru, município Codó (MA).

Os calcários aflorantes da unidade DSVMPsabc podem formar solos argilosos, pouco permeáveis, que se compactam e se impermeabilizam, tornando-se erosivos.

Algumas áreas da unidade DSVMPsabc apresentam variação litológica (pelitos, arenitos calcíferos, níveis de sílex e gipsita) na vertical e horizontal, que condiciona descontinuidades geotécnicas em taludes de corte.

Agricultura

Predomínio de litologias que se alteram para solos argilosos (Argissolos), com gradiente textural poroso, com boa capacidade de reter e fixar nutrientes. Em áreas de baixa declividade e solos profundos, apresentam bom potencial para lavouras de ciclo curto e/ou longo, condicionado à aplicação de corretivos e fertilizantes.

As áreas com predomínio de solos com textura arenargilosa (Latosolos) e espessos caracterizam-se com

aptidão boa, regular ou restrita para pastagem plantada, principalmente as mais planas, que podem ser mecanizadas.

Na unidade DSVMPsabc afloram rochas calcárias, que formam solos de média a alta fertilidade (Chernossolos) (Figura 12.90), com razoáveis teores de fósforo e bons níveis de cálcio e magnésio, com bom potencial para agricultura, principalmente a agricultura familiar (MOURA, 2006).

Recursos hídricos e fontes poluidoras

Terrenos formados em subsuperfície por camadas constituídas de material com textura muito fina, impermeáveis a semipermeáveis, com alto potencial para retenção de água; no entanto, baixo potencial para transmissão, condicionando, assim, baixo potencial hidrogeológico. Porém, esses terrenos funcionam como barreira para os aquíferos mais profundos, devido às espessas camadas de sedimentos argilosos de baixa permeabilidade e alta capacidade de reter poluentes, caracterizando áreas com baixa vulnerabilidade à poluição.

Observa-se, porém, que, nesses terrenos, ocorrem camadas arenosas subordinadas, as quais, aliadas às falhas e fraturas interconectadas, podem formar condições favoráveis a aquíferos confinados.

As cavidades existentes nas rochas calcárias da unidade DSVMPsabc podem conter volumes consideráveis de água subterrânea, caracterizando áreas com potencial para aquíferos cársticos, mas com alto grau de vulnerabilidade natural à contaminação, pois podem possuir conexões hidráulicas que transportem poluentes a longas distâncias.

Potencial mineral

Argilitos e folhelhos alterados com alto potencial para uso na indústria cerâmica. Rochas mais coerentes e litificadas podem ser exploradas como pedra para revestimento.

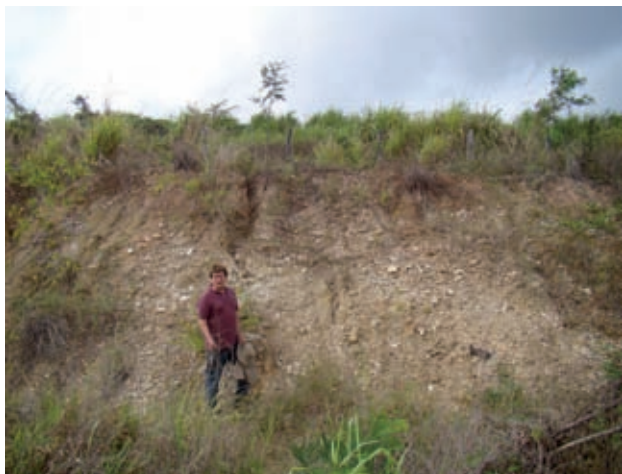


Figura 12.90 - Solo argiloso com contribuição carbonática, bom potencial para agricultura; unidade geambiental DSVMPsabc. Rodovia BR-226, município Tuntum (MA).

Rochas calcárias da unidade DSVMPsabc podem ser utilizadas como corretivos de solos (RODRIGUES et al., 1994), cal, fabricação de cimento e rocha ornamental. Nessa unidade encontram-se depósitos de gipsita utilizada, principalmente, na fabricação de cimento, bem como na fabricação de ácido sulfúrico, cerveja, moldes para fundição, giz, vidros, esmaltes, gesso, corretivo de solo e na indústria metalúrgica.

Registra-se potencial para sulfetos (esferita e galena).

Potencial geoturístico

Esses terrenos apresentam potencial para turismo geológico relacionado, principalmente, às minas de calcário nos municípios de Grajaú, Codó, Tuntum, Barra do Corda e Santa Filomena do Maranhão, e a minas de gipsita nos municípios de Grajaú e Codó.

Também apresenta potencial geoturístico associado a sítios paleontológicos, como fósseis lacustres e peixes da unidade DSVMPsabc, assim como registro de fósseis de peixe e conchostráceos das unidades DSVMPsaca e DSVMPsaa (SANTOS; CARVALHO, 2009).

DOMÍNIO DO VULCANISMO FISSURAL DO TIPO PLATÔ (DVM)

Área de Ocorrência, Elementos de Definição e Relevo Associado

Domínio com ampla distribuição nas regiões sudoeste, sudeste e sul do estado do Maranhão (Figura 12.91), aflorando em área aproximada de 13.517,06 km², constituído por extensos pacotes de rochas provenientes de sucessivos derrames de lavas, principalmente, básicas, recristalizadas em basaltos e, mais restritamente, em rochas de composição ácida e intermediária, como riolitos, dacitos e andesitos, relacionadas ao vulcanismo fissural que ocorreu na Bacia Sedimentar do Parnaíba durante à fase pré-rifte da abertura do oceano Atlântico (GÓES, 1995). Devido às diferenças composicionais das rochas, o domínio foi individualizado em duas unidades geoambientais: Predomínio de basalto com intertraps subordinados de arenito (DVMba) e Predomínio de rochas básicas intrusivas (DVMgd).

Predomínio de basalto com *intertraps* subordinados de arenito (DVMba): Unidade geológico-ambiental relacionada, geologicamente, à Formação Mosquito, constituída, predominantemente, por basaltos (LIMA; LEITE, 1978) e, subordinadamente, por andesitos, com espessuras centimétricas a métricas, muitas vezes intercalados com arenitos das unidades DSVMPsabc (Predomínio de espessos pacotes de arenitos de deposição

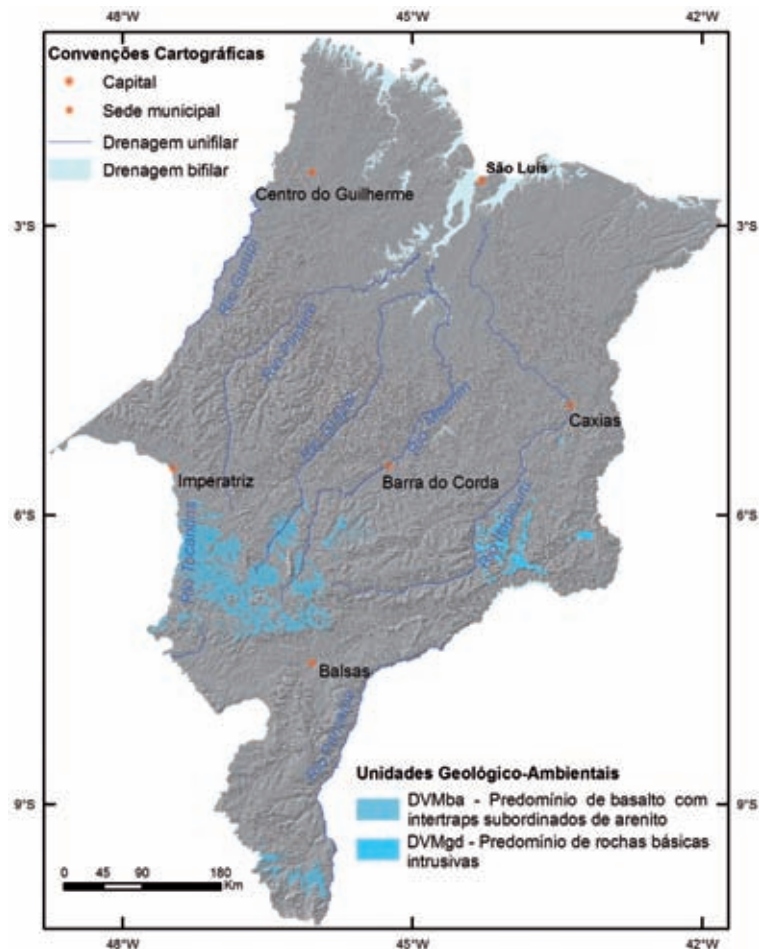


Figura 12.91 - Área de ocorrência das unidades geológico-ambientais do domínio do vulcanismo fissural do tipo platô (DVM).

eólica) e DSVMPsabc (Predomínio de espessos pacotes de arenitos de deposição mista (eólica e fluvial)). Essas rochas vulcânicas sustentam nove formas de relevo (Figura 12.92), sendo que as formas de topos aplainados, como platôs e superfícies aplainadas, dominam nesses terrenos.

Predomínio de rochas básicas intrusivas (DVMgd):

Unidade associada, geologicamente, à Formação Mosquito, e caracterizada por litótipos de origem extrusiva, como basaltos, assim como rochas básicas intrusivas: diabásio e gabros. Esse conjunto geológico associa-se a cinco formas de relevo: baixos platôs, baixos platôs dissecados, planaltos, superfícies degradadas e degraus estruturais (Figura 12.93).

Características, Adequabilidades e Limitações Frente ao Uso e à Ocupação

Obras de engenharia

Terrenos com predomínio de rochas básicas, que, quando não alteradas, apresentam alto grau de coerência e dureza elevada, havendo necessidade do uso de explosivos para seu desmonte, mas com boa homogeneidade

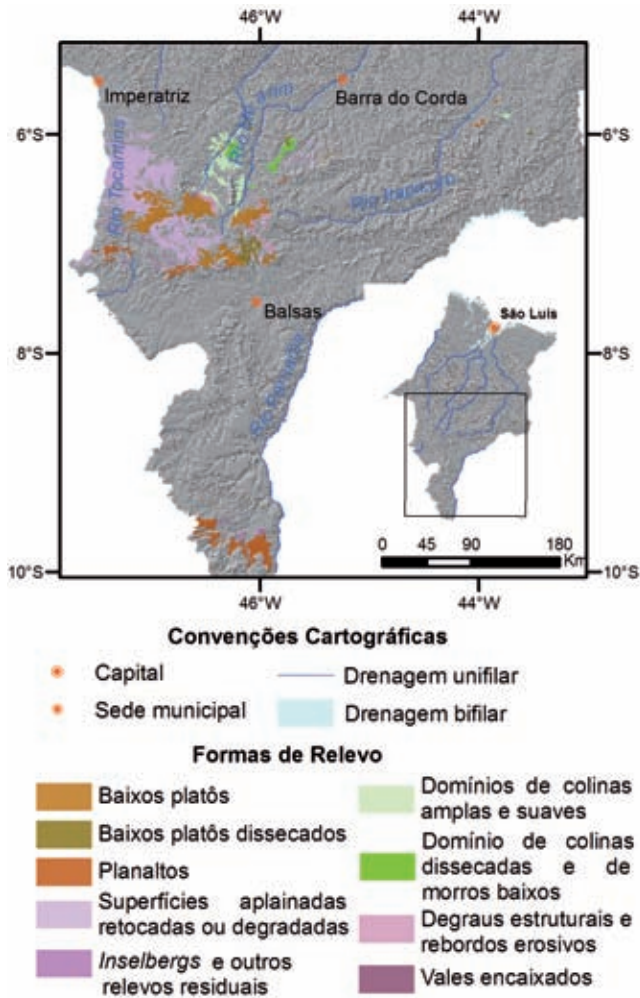


Figura 12.92 - Formas de relevos associadas à unidade geológico-ambiental DVMba.

mineral e textural, de elevada resistência à compressão e alta capacidade de suporte (Figura 12.94).

Algumas áreas desse domínio estão intercaladas com a unidade DSVMpae ou DSVMpaef, que podem apresentar camadas de arenitos altamente endurecidos (Figura 12.54), relacionados à recristalização do quartzo, ocasionada pelo calor das lavas vulcânicas. Portanto, são locais com rochas de características muito diferentes, principalmente composicionais; por isso, de comportamentos geotécnicos e hidráulicos distintos. Dependendo da espessura das camadas de arenito, haverá dificuldade para execução de escavações e perfurações.

No geral, alteram-se para solos argilosos, que, quando bem evoluídos, apresentam baixa suscetibilidade à erosão e boa estabilidade em talude de corte. No entanto, esses solos, quando pouco evoluídos, fendilham-se e sofrem o processo de empastilhamento, deixando os taludes de corte suscetíveis à erosão e colapsíveis se submetidos à alternância de estados úmido e seco.

Além disso, essas rochas se alteram de modo bastante diferenciado, principalmente em forma concêntrica, deno-

minada decomposição esferoidal (Figura 12.95a). Esse tipo de alteração vai deixando blocos arredondados de rochas duras em meio ao solo (Figura 12.95b), bem como blocos e matacões de rochas frescas isolados e irregularmente

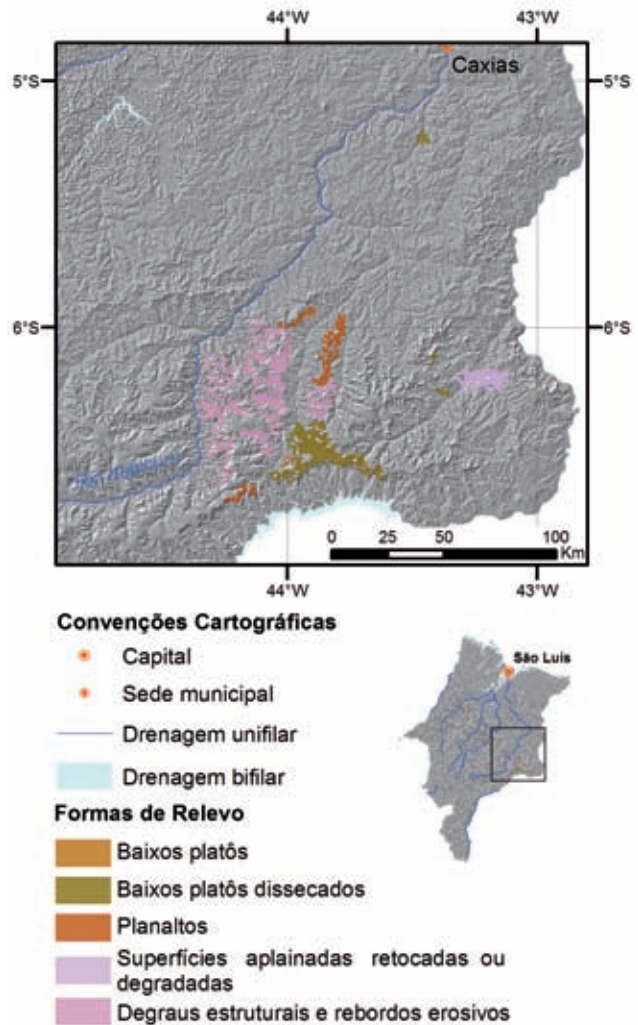


Figura 12.93 - Formas de relevo associadas à unidade geológico-ambiental DVMgd.



Figura 12.94 - Basalto fraturado às margens do rio Tocantins, utilizado como suporte para fundação da hidrelétrica de Estreito (fundo da figura). Rodovia BR-010, município Estreito (MA).

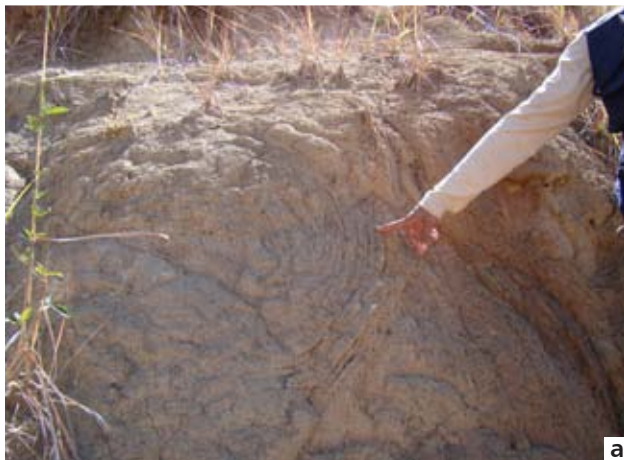


Figura 12.95 - (a) basalto com estruturas esferoidais e fraturas conjugadas; **(b)** blocos de basalto em meio a solo argiloarenoso, sustentando relevo de platô e sob vegetação de cerrado. Rodovia MA-006, município Formosa da Serra Negra (MA).



Figura 12.96 - Contato entre saprólito e blocos inalterados de rocha ígnea (base do talude) com rocha sedimentar argilosiltosa, de cor avermelhada (topo do talude), da unidade DSVMPaef. Rodovia BR-135, município Paraibano (MA).

distribuídos ou até mesmo concentrados, que podem provocar desestabilização em taludes de corte e em obras, se as fundações estiverem parcialmente apoiadas sobre esses blocos. Quando associados a relevos de altas declividades, são suscetíveis a queda de blocos e a deslizamentos.

Observam-se, ainda, rochas vulcânicas intermediárias e ácidas em contato discordante com rochas sedimentares muito intemperizadas, que condicionam comportamento geotécnico diferenciado, aumentando a ocorrência de desestabilizações (Figura 12.96).

Agricultura

Apresentam baixa resistência à decomposição físico-química, sendo que, no início do processo de alteração, transformam-se em solos argilosos, com alta reatividade, boa capacidade de retenção de água e nutrientes e alta fertilidade (Nitossolos e Luvisolos). Tais características condicionam boa aptidão para todos os tipos de lavouras, principalmente para o pequeno agricultor, que não terá gastos expressivos com corretivos e fertilizantes (Figura 12.97).

Em áreas com predomínio de rochas vulcânicas ácidas ou com presença de intercalações de rochas vulcânicas com arenitos, formam-se Latossolos Vermelhos, que apresentam aptidão regular para lavouras de ciclo curto e/ou longo, e Argissolos e Latossolos Amarelos, que apresentam maior acidez, sendo pouco férteis e com aptidão regular ou restrita para pastagem plantada. Ocorrem, também, solos com aptidão restrita, devido à sua pequena profundidade efetiva, como Cambissolos e Neossolos Litólicos (Figura 12.98).

Essa unidade sustenta grande variedade de relevos. As áreas com menor declividade e mais planas, como platôs, chapadas, superfícies aplainadas e colinas amplas, são mais favoráveis à agricultura mecanizada.

Recursos hídricos e fontes poluidoras

Domínio com presença de falhas e fraturas abertas e interconectadas que apresentam porosidade secundária, favoráveis ao armazenamento de águas subterrâneas. Observa-se, no entanto, que tais discontinuidades se encontram concentradas apenas em alguns locais desse domínio, condicionando uma variação no potencial hidrogeológico, ou seja, os locais com maior concentração e maior conectividade de discontinuidades terão maior probabilidade de ter água com poços de boas vazões que os poços perfurados em áreas com fraturas fechadas e pouco conectadas.

Além do baixo potencial hidrogeológico, esse domínio apresenta manto de alteração pouco permeável, desfavorável à recarga de aquíferos fissurais, como também baixa vulnerabilidade à contaminação, devido à baixa permeabilidade, baixa taxa de infiltração e presença de solos argilosos espessos que funcionam como mantos depuradores, protegendo os possíveis aquíferos.



Figura 12.97 - Solo argiloarenoso, estruturado e com alta fertilidade (Nitossolo), oriundo de rocha vulcânica básica. Rodovia BR-010, município Estreito (MA).



Figura 12.98 - Solo raso e rocha vulcânica (basalto) intercalada com arenito. Rodovia MA-132, município Fortaleza dos Nogueiras (MA).

Potencial mineral

Ambiência geológica favorável a ocorrências de rocha ornamental, ametista e opala, bem como à presença de rocha sã, para ser usada como brita; quando muito alterada, pode ser utilizada para áreas de empréstimo.

Em algumas áreas do estado, mais especificamente no município Formosa de Serra Negra, encontram-se basaltos intemperizados com potencial para bentonitas (PAZ, 2010), definidas como argilominerais esmectíticos, com índice de inchamento e capacidade de troca de cátions elevada, o que lhes confere grande aplicabilidade, principalmente como aditivos em fluidos de perfuração (COELHO et al., 2007). Dessa forma, com base no estudo de Silva (2011), pode-se afirmar que as áreas (sul e sudoeste do estado) com tais características (regolito de basalto) são passíveis de conter bentonita.

Potencial geoturístico

Nas áreas planas, com cotas topográficas mais baixas, encontram-se lagoas temporárias e permanentes (Figura 12.99), muitas em meio a grandes áreas de pastagens, relacionadas ao lençol freático temporário próximo à superfície.



Figura 12.99 - Colinas amplas e lagoas intermitentes sustentados por rochas básicas e solo argiloso da unidade DVMba. Rodovia MA-006, município Formosa da Serra Negra (MA).

DOMÍNIO DAS COBERTURAS SEDIMENTARES PROTEROZOICAS, NÃO OU MUITO POUCO DOBRADAS E METAMORFIZADAS, CARACTERIZADAS POR UM EMPILHAMENTO DE CAMADAS HORIZONTALIZADAS E SUB-HORIZONTALIZADAS DE VÁRIAS ESPESSURAS DE SEDIMENTOS CLASTOQUÍMICOS DE VÁRIAS COMPOSIÇÕES E ASSOCIADOS AOS MAIS DIFERENTES AMBIENTES TECTONODEPOSICIONAIS (DSP1)

Área de Ocorrência, Elementos de Definição e Relevo Associado

Domínio com extensão aproximada de 134,68 km², abrangendo a porção noroeste do estado do Maranhão, mais especificamente o oeste do município Junco do Maranhão e sul de Boa Vista do Gurupi (Figura 12.100). Está representado pela unidade geológico-ambiental DSP1acgsa (Predomínio de sedimentos arenosos e conglomeráticos, com intercalações subordinadas de sedimentos siltico-argilosos), que se caracteriza por conter sedimentos arenosos e conglomeráticos com intercalações subordinadas de sedimentos siltico-argilosos, constituindo um empilhamento de camadas horizontalizadas e sub-horizontalizadas de diferentes espessuras de sedimentos depositados em ambiente de águas rasas (LOPES; KLEIN, 2008), que, por efeitos tectonodeformacionais, há mais de

600 milhões de anos (Neoproterozoico) foram suavemente dobrados e metamorfizados em baixo grau, formando metarenitos e metassiltitos com alguns xistos intercalados, denominados geologicamente como Formação Piriá (TRUCKENBRODT; CORRÊA, 1985).

Tais rochas sustentam relevos de baixas declividades (0 a 5°), baixas amplitudes (10 a 30 m), cotas topográficas entre 15 a 30 m e formas suavemente onduladas, como as superfícies aplainadas retocadas ou degradadas (Figura 12.101).

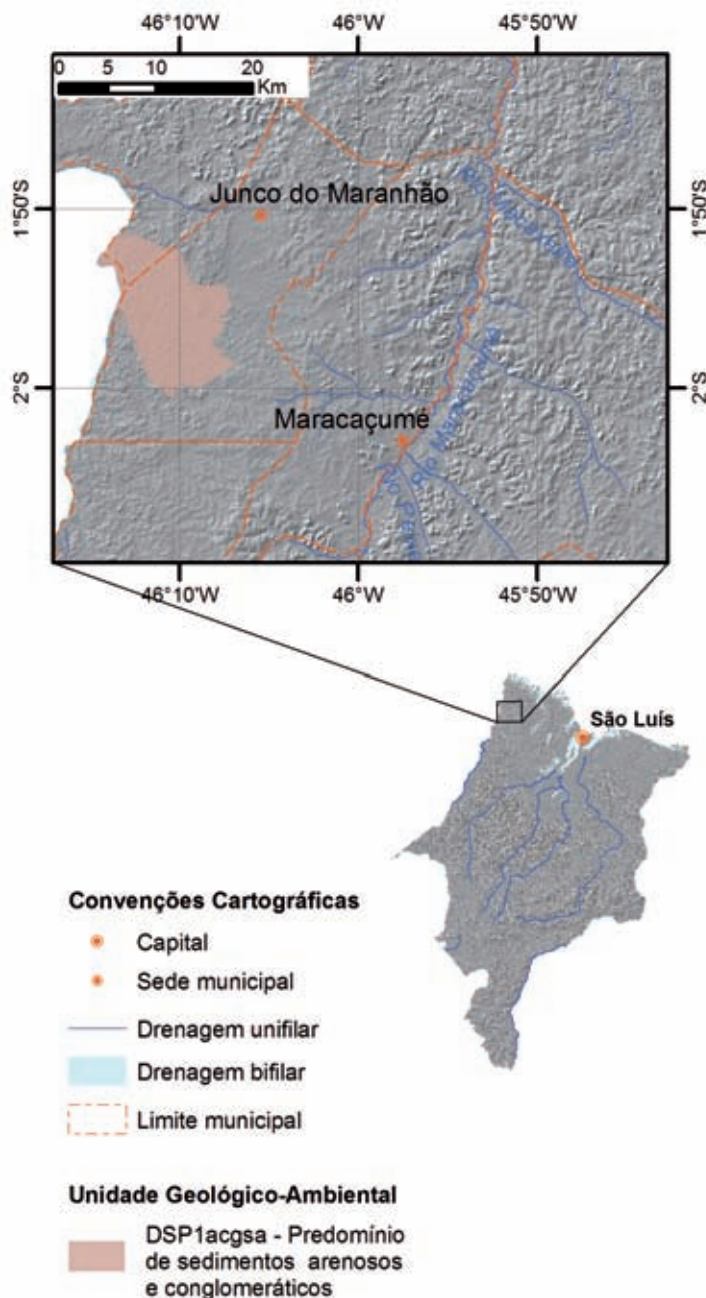


Figura 12.100 - Área de ocorrência da unidade geológico-ambiental DSP1acgsa, pertencente ao domínio DSP1.

Características, Adequabilidades e Limitações Frente ao Uso e à Ocupação

Obras de engenharia

Domínio composto por intercalações irregulares de camadas de espessuras variadas de arenitos finos, médios, arenitos arcoseanos, conglomerados e pelitos subordinados que estão pouco a moderadamente deformados e moderadamente fraturados. Esse conjunto rochoso apresenta porosidade e permeabilidade variáveis, grau de coerência moderada, baixa suscetibilidade à erosão, moderada resistência ao corte e à penetração e boa capacidade de suporte de carga.

As áreas com rochas arenosas e conglomeráticas contendo seixos, blocos e matacões geralmente duros apresentam comportamento geomecânico diferenciado, em geral compostos de seixos de quartzo, por isso, bastante abrasivos, difíceis para cravar estacas e de serem perfurados com maquinário. Nos locais onde esse domínio se encontra muito intemperizado, a escavabilidade do solo pode ser dificultada por sua espessura variável e ocorrência frequente de afloramentos rochosos.

Presença de rochas anisotrópicas como xistos, que possuem planos de descontinuidades favoráveis à percolação de fluidos e à instabilidades em talude de corte.

Agricultura

Rochas que se alteram para solos areno-quartzosos, com baixa fertilidade natural, baixa capacidade para reter e fixar elementos e assimilar matéria orgânica, geralmente bastante permeáveis, por isso, difíceis de serem corrigidos, pois, quando adubados, não fixam os nutrientes. Também apresentam baixa capacidade hídrica, ou seja, quando chove ou são irrigados, quase não retêm água, o que os torna inadequados para culturas de ciclo curto e para plantas de raízes curtas.

Devido à unidade geológico-ambiental DSP1acgsa estar associada a conglomerados, algumas regiões podem apresentar solos com problemas de pedregosidade e drenabilidade. No entanto, observa-se que essa unidade, por estar sob relevo de baixa declividade, como as superfícies aplainadas, e clima úmido, constitui área favorável a processos de pedogênese, onde pode haver solos mais profundos, de fácil escavabilidade, drenados e permeáveis como Latossolos, com potencial para uso de implementos agrícolas motorizados.

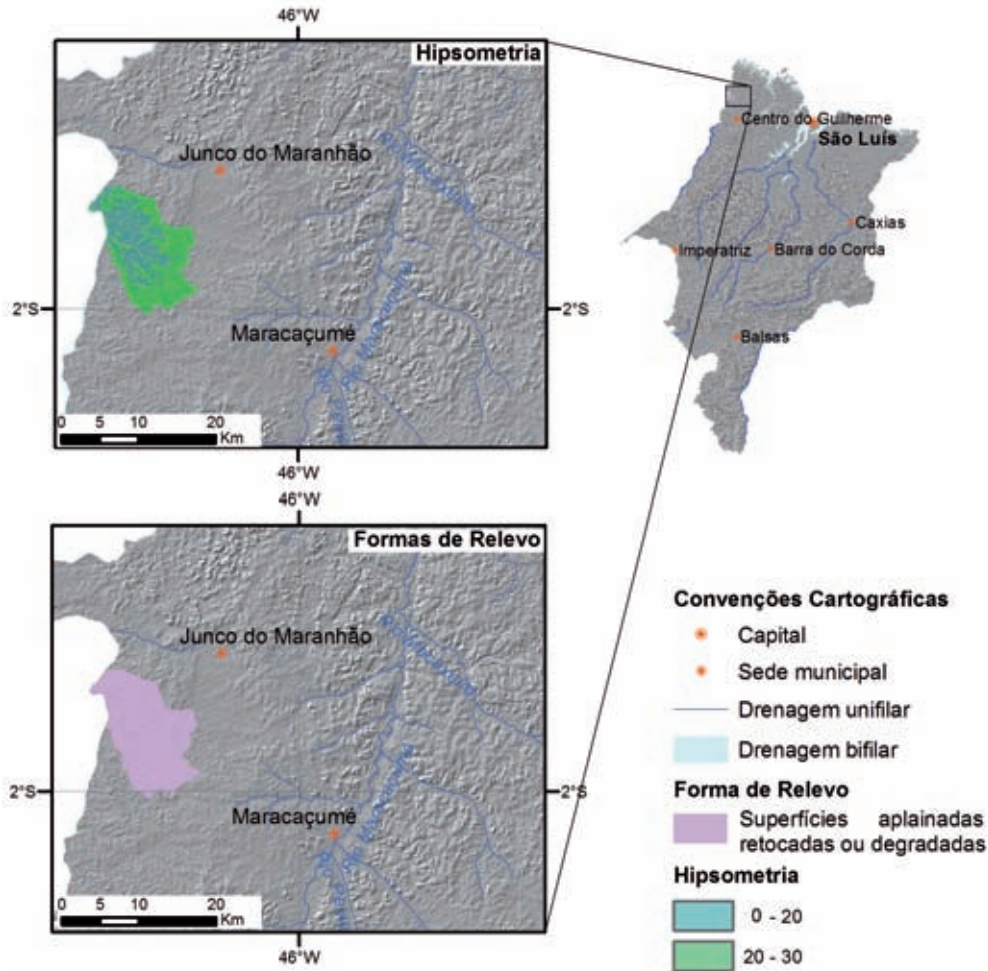


Figura 12.101 - Hipsometria e formas de relevo associadas à unidade-geológico-ambiental DSP1acgsa.

Por outro lado, tais características de relevo são favoráveis aos processos de arenização rápida dos solos arenosos pela lixiviação das águas das chuvas. Por isso, na ocupação agrícola desses terrenos, deve-se evitar deixar os solos descobertos por períodos prolongados, sendo mais recomendável a agricultura de ciclo longo.

Recursos hídricos e fontes poluidoras

Domínio sustentado por sedimentos arenosos e conglomeráticos em forma de camadas sub-horizontais pouco deformadas e metamorfozadas, com porosidade e permeabilidade primárias relativamente preservadas, com comportamento semelhante a aquíferos porosos e fraturados, com boa homogeneidade hidrodinâmica na lateral, favoráveis à existência de água subterrânea.

Em algumas áreas ocorrem sedimentos endurecidos, coesos, com baixa porosidade e permeabilidade primária, sem presença de aquíferos porosos.

Potencial mineral

Áreas com manto de alteração espesso e solos arenosos e saibrosos, favoráveis à extração de areia e saibro.

Potencial geoturístico

Domínio sem paisagens exuberantes ou exposições geológicas com atrativos geoturísticos.

DOMÍNIO DAS SEQUÊNCIAS VULCÂNICAS OU VULCANOSSEDIMENTARES PROTEROZOICAS, NÃO OU POUCO DOBRADAS E METAMORFIZADAS (DSVP1)

Área de Ocorrência, Elementos de Definição e Relevo Associado

Domínio representado por apenas uma unidade geológico-ambiental – Predomínio de vulcanismo ácido

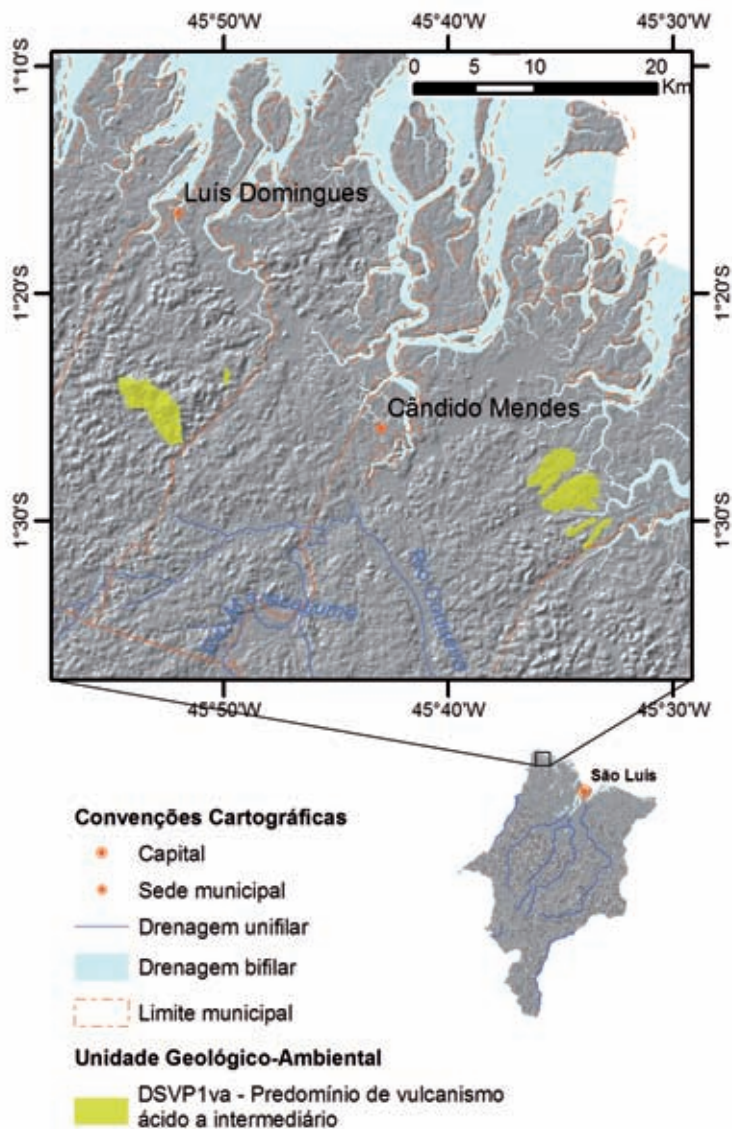


Figura 12.102 - Área de ocorrência da unidade geológico-ambiental DSVP1va, pertencente ao domínio das seqüências vulcânicas ou vulcanossedimentares proterozoicas, não ou pouco dobradas e metamorfizadas (DSVP1).

a intermediário (DSVP1va) –, que abrange uma pequena área de 37,58 km², localizada na porção noroeste do estado do Maranhão (Figura 12.102), especificamente na porção nordeste dos municípios de Luís Domingues e Cândido Mendes. Corresponde, geologicamente, aos terrenos antigos da Unidade Vulcânica Serra do Jacaré, Formação Rio Diamante e Unidade Vulcânica Rosilha, formados entre 2.160 e 2.060 milhões de anos, durante o Proterozoico, e marcados por intensa atividade vulcânica de composição alcalina e calcialcalina, representada por riolitos e dacitos, assim como vulcanismo intermediário representado por andesitos, além de tufos e brechas vulcânicas (KLEIN et al., 2008).

A unidade geoambiental DSVP1va sustenta relevos com formas suavemente onduladas, como as superfícies aplaina-

das retocadas ou degradadas e colinas amplas e suaves (Figura 12.103), caracterizados por baixa declividade (0 a 10°) e baixa amplitude (10 a 30 m), com cotas topográficas que atingem até 30 m. No entanto, em escala de maior detalhe, é possível encontrar formas mais declivosas, como as colinas dissecadas, que podem atingir cotas de até 130 m e amplitude de 80 m, não mapeadas na escala de 1:750.000.

Características, Adequabilidades e Limitações Frente ao Uso e à Ocupação

Obras de engenharia

Domínio constituído por intercalações de rochas vulcânicas, sedimentares e vulcano-clásticas com características mineralógicas e texturais diferenciadas. Portanto, escavações mais profundas podem alcançar litologias dos mais variados e contrastantes comportamentos geomecânicos e hidráulicos. Além disso, as mudanças abruptas entre rochas de características diferentes constituem-se em discontinuidades que facilitam a desestabilização e a surgência de água em taludes de corte.

Predomínio de rochas de dureza elevada, em geral bem preservadas da alteração, portanto, de alta resistência ao corte e à penetração – necessitam do uso de explosivos para desmonte –, características que podem encarecer e dificultar a execução de obras. Por outro lado, essa dureza elevada favorece uma alta capacidade de suporte e boa resistência à compressão.

Presença de rochas densamente fendilhadas em várias direções, onde blocos e placas de rocha podem se desprender com facilidade em talude de corte.

As rochas mais ricas em quartzo (riolitos e riolacitos) se alteram para solos arenosos;

quando apresentam espesso manto de alteração, podem conter feições erosivas. Já as rochas andesíticas e tufos, no princípio da pedogênese formam solos com textura mais argilosa, em alguns casos, com presença de argilominerais expansivos suscetíveis à erosão e instáveis. No entanto, em estágios mais avançados do intemperismo físico-químico, esses solos mostram-se mais espessos e mais estáveis em talude de corte.

Agricultura

Terrenos constituídos por rochas que se alteram para solos síltico-arenosos (Plintossolos) e solos argilosos com gradiente textural (Argissolos) com moderada a baixa fertilidade natural, com baixa capacidade hídrica e

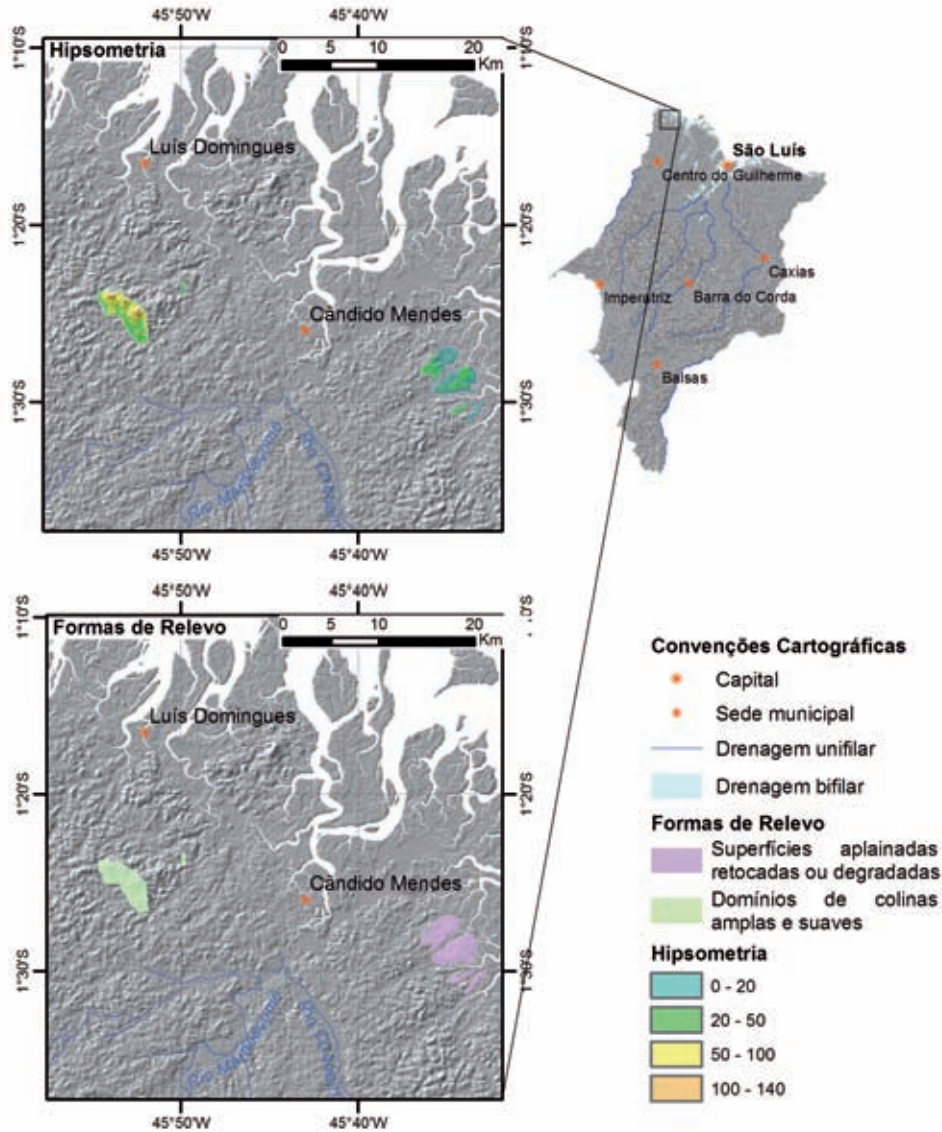


Figura 12.103 - Hipsometria e formas de relevos associadas à unidade geológico-ambiental DSV1va.

baixa a moderada capacidade de reter e fixar elementos. Quando muito lixiviados, esses solos tornam-se menos férteis e superficialmente ficam bastante enriquecidos em quartzo na fração fina, apresentando erosividade variando de moderada a alta.

Entretanto, como sustentam relevo suavizado, de baixas declividades e amplitudes, podem ser mecanizados e respondem bem à adubação.

Tal situação topográfica, aliada a rochas bastante fraturadas, torna essas áreas bastante vulneráveis à contaminação do lençol freático, por isso, restritivas a culturas que necessitam da aplicação de muito agrotóxico.

Recursos hídricos e fontes poluidoras

Rochas de porosidade e permeabilidade primárias muito baixas, no entanto, por serem bastante fraturadas

e com fraturas dispostas em várias direções, apresentam alta porosidade e permeabilidade secundária. Constituem-se em aquíferos do tipo fissural, cujo potencial de exploração é bastante irregular: depende de o poço cruzar fraturas, de estas serem abertas para a água poder se armazenar e circular, da densidade que elas ocorrem e se estão interligadas. Por isso, é muito comum que nesse tipo de aquífero um poço dê excelente vazão, enquanto outro, nas imediações, seja seco.

Nas áreas onde o relevo é de superfícies aplainadas, a topografia é favorável a que o lençol freático esteja situado próximo à superfície, com maior risco de contaminação por poluentes. Além disso, são áreas de escoamento superficial baixo. Se, por um lado, isso favorece a infiltração das águas no subsolo, por outro, também favorece a infiltração de substâncias poluidoras.

Potencial mineral

Domínio com ambiência geológica favorável a mineralizações associadas a rochas vulcânicas e presença de veios de quartzo portadores de ouro e sulfetos, assim como potencial para brita.

Potencial geoturístico

Potencial geoturístico evidenciado pelo contato entre rochas muitas antigas da unidade DSVP1va (predomínio de vulcanismo ácido a intermediário) e do domínio DCGR1 (complexos granitoides não deformados) com sedimentos recentes da unidade DCm (ambiente misto (marinho/continental)).

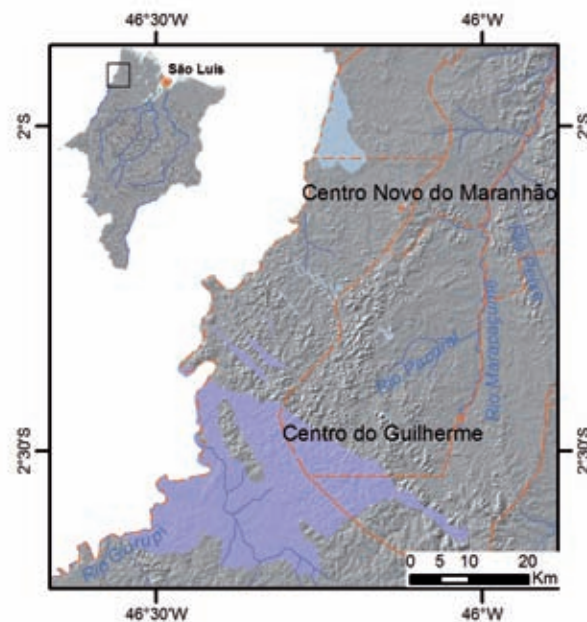
DOMÍNIO DAS SEQUÊNCIAS SEDIMENTARES PROTEROZOICAS DOBRADAS, METAMORFIZADAS DE BAIXO A ALTO GRAU (DSP2)

Área de Ocorrência, Elementos de Definição e Relevo Associado

Esse domínio abrange uma área aproximada de 1,049 km² de rochas sedimentares, formadas em ambientes continental e marinho, que, por processos tectônicos, foram dobradas e metamorizadas, originando rochas metamórficas como metarenitos e xistos, pertencentes ao Cinturão Metamórfico Gurupi e dispostos sob direção preferencial NW-SE. Devido a essa diferenciação litológica, esse domínio foi individualizado em duas unidades geológico-ambientais – Metarenitos, quartzitos e metaconglomerados (DSP2mqmtc) e Predomínio de metassedimentos siltico-argilosos, representados por xistos (DSP2x) –, localizadas na porção noroeste do estado do Maranhão (Figura 11.104), mais especificamente na porção oeste dos municípios Junco do Maranhão e Centro do Guilherme e norte de Centro Novo do Maranhão.

Metarenitos, quartzitos e metaconglomerados (DSP2mqmtc): Unidade correspondente, geologicamente, à Formação Igarapé de Areia, depositada em ambiente continental, tipo leques aluviais, rios entrelaçados e lagos, sob clima quente, durante o Proterozoico Médio/Superior, mas que, por processos colisionais de placas tectônicas, foi dobrada, formando metarenitos arcoseanos, metaconglomerados e metapelitos subordinados (Figura 12.105) moderadamente fraturados e dobrados, orientados na direção N10°W e com feições planares secundárias, como foliações plano-axial (PASTANA, 1995).

Apresentam dois tipos de relevo (Figura 12.106): colinas amplas, com declividades variando entre 3° a 10°, amplitudes entre 10 a 25 m e cotas topográficas que chegam até 70 m e superfícies aplainadas (Figura 12.107), com declividade entre 0° a 5° e amplitudes variando entre 5 a 15 m.



Convenções Cartográficas

- Capital
- Sede municipal
- Drenagem unifilar
- Drenagem bifilar
- - - Limite municipal

Unidades Geológico-Ambientais

- DSP2mqmtc - Metarenitos, quartzitos e metaconglomerados
- DSP2x - Predomínio de metassedimentos siltico-argilosos, representados por xistos

Figura 12.104 - Área de ocorrência das unidades geológico-ambientais do domínio das sequências sedimentares proterozoicas dobradas, metamorizadas de baixo a alto grau (DSP2).



Figura 12.105 - Metarenitos intemperizados, com feições de deslocamento e bloco soltos. Rodovia MA-306, município Centro Novo do Maranhão (MA).

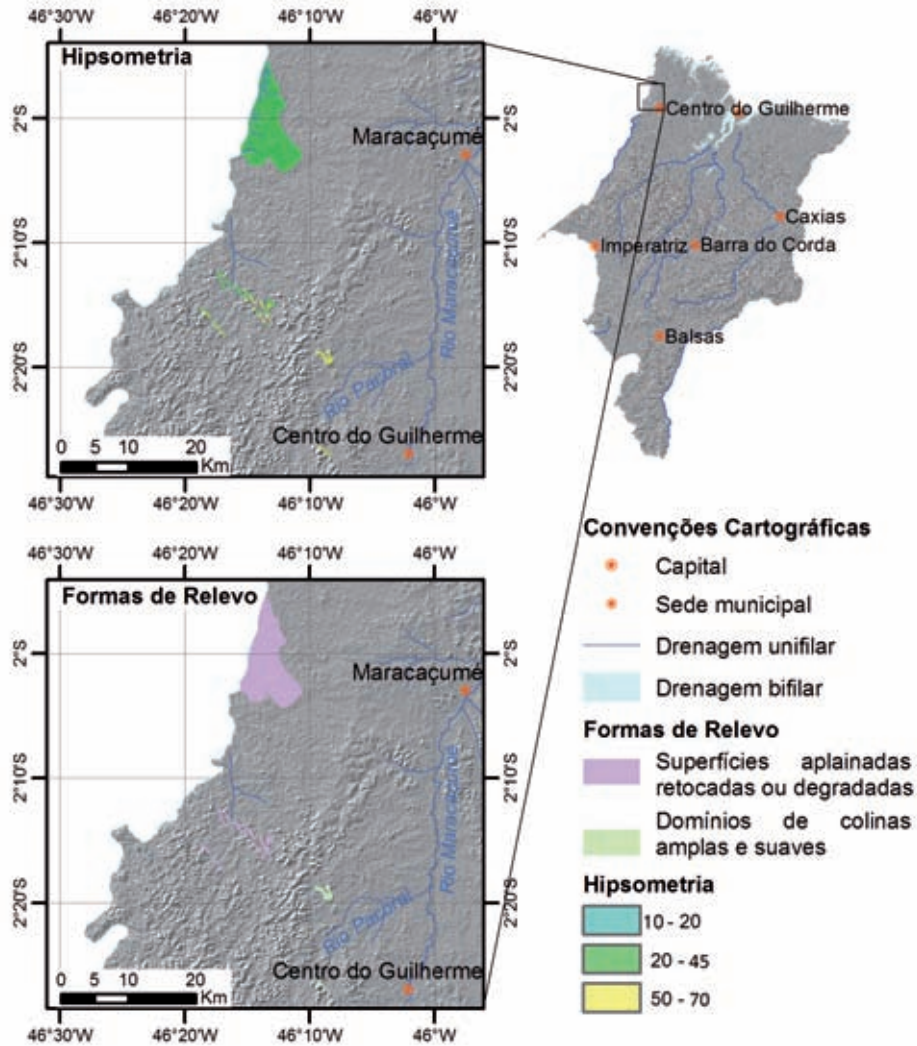


Figura 12.106 - Hipsometria e formas de relevo associadas à unidade geoambiental DSP2mqmtc.



Figura 12.107 - Relevo de colinas amplas e superfícies aplainadas degradadas sustentadas por solo residual e rochas metamórficas. Rodovia MA-306, município Centro Novo do Maranhão (MA).

Predomínio de metassedimentos siltico-argilosos, representados por xistos (DSP2x): Unidade geológico-ambiental formada por quatro tipos de relevos: baixos platôs dissecados, colinas dissecadas, colinas amplas e suaves e superfícies aplainadas degradadas, que variam quanto à declividade e amplitude, podendo atingir cotas de até 160 m (Figura 12.108).

Associam-se a três unidades geológicas: Grupo Gurupi Indiviso e formações Itapeva Xisto e Jaritequara, que, mesmo contendo algumas rochas composicionalmente diferentes, apresentam feições estruturais marcantes, representadas por alinhamento de minerais micáceos (xistosidade).

O Grupo Gurupi Indiviso compreende um conjunto de rochas originalmente ígneas e sedimentares que passaram por processos deformativos, originando rochas xistosas, englobando, fundamentalmente, xistos quartzosos à muscovita e/ou biotita e/ou clorita, xistos carbonosos e/ou manganíferos (subordinados), filitos (Figura 12.109), metadacitos, metacherts e, subordinadamente, metal-

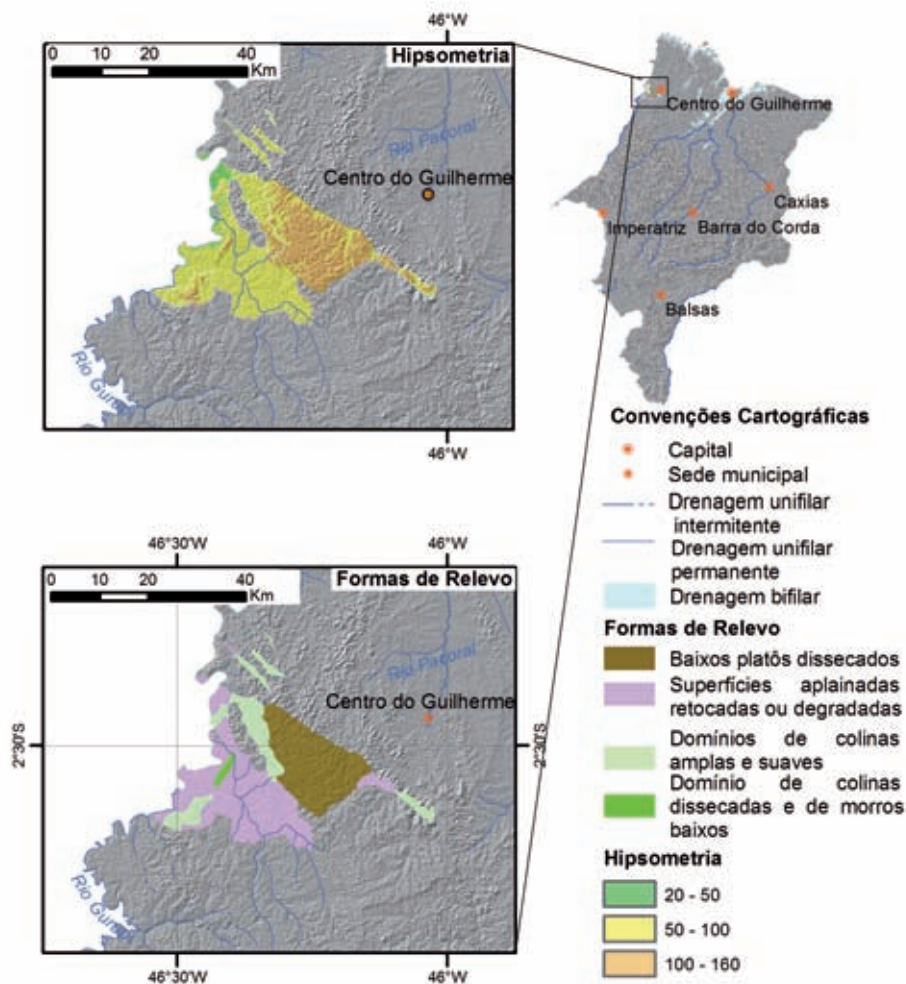


Figura 12.108 - Hipsometria e formas de relevo associadas à unidade geológico-ambiental DSP2x.



Figura 12.109 - Rocha metapelítica (filito) com textura foliada, muito intemperizada, com feições de deslocamento. Rodovia MA-307, município Centro do Guilherme (MA).

tramafitos, além de formação ferrífera. Exibem textura granolepidoblástica, com forte anisotropia estrutural, representada por xistosidades e veios de quartzo, com dimensões variadas, geralmente com direções discordantes aos planos das foliações (PASTANA, 1995).

A Formação Jaritequara forma uma sequência metassedimentar de baixo grau metamórfico, composta de biotita-muscovita-xistos, granada-cloritoide-muscovita-biotita-xistos (ALMEIDA, 2000).

A Formação Itapeva Xisto é uma sequência metassedimentar, formada, predominantemente, por xistos (KLEIN; LOPES, 2012).

Características, Adequabilidades e Limitações Frente ao Uso e à Ocupação

Obras de engenharia

Dentre as variações litológicas, é comum a existência de conglomerados na unidade DSP2mqmtc, rochas de comportamento geomecânico heterogêneo, geralmente

compostas de seixos de rochas à base de quartzo, por isso, bastante abrasivas, de alto grau de dureza e alta resistência ao corte, à penetração e à escavação (necessário o uso de explosivos). Já a unidade DSP2x, composta, principalmente, por xistos, apresenta moderada a baixa resistência ao corte e à penetração, por conter litologias à base de minerais micáceos isorientados, que formam muitas superfícies planares, constituindo planos de alta fissibilidade, que desagregam com facilidade e permitem que fluidos percolem. Isso também favorece a que placas se soltem quando se efetuam cortes desfavoráveis ao mergulho desses planos ou se a água da chuva escorre paralelamente a eles.

Taludes de corte em relevo de colinas dissecadas e com rochas de textura foliada pouco a moderadamente alterada e solos rasos (Neossolos Litólicos) apresentam alta erosividade induzida e problemas geotécnicos relacionados à desestabilização de talude e possíveis movimentos de massa, vinculados às descontinuidades dos planos de xistosidade. Dessa forma, recomenda-se evitar traçados de estradas cujos cortes sejam concordantes ao mergulho da foliação das rochas.

Os solos residuais da unidade DSP2mqmtc são arenosos e apresentam baixa coesão e instabilidade em taludes de corte.

As rochas da unidade DSP2x alteram-se para solos argilosos, que, no início do processo, transformam-se em argilominerais expansivos – se submetidos à variação de grau de umidade, sofrem o fenômeno da alternância dos estados de expansão e contração, tornando-se instáveis em talude de corte. Formam solos aderentes e escorregadios quando molhados e, quando secos, liberam partículas em suspensão. Assim, é desaconselhável a execução de obras de grande porte nos períodos chuvosos, pois haverá problemas com emplastamento e aderência de ferramentas e maquinários, além de as vias não pavimentadas se mostrarem escorregadias, enquanto se tornam, nos períodos secos, muito poeirentas. Por outro lado, os solos, quando bem evoluídos, são de baixa erosividade natural e apresentam boa capacidade de compactação e boa estabilidade em talude de corte.

Na unidade DSP2x as rochas alteradas encontram-se densamente penetradas por veios de quartzo de várias espessuras. A desagregação desses veios forma, em diversos locais, alta concentração de fragmentos de quartzo, caracterizado como material abrasivo e problemático para escavação, assim como para perfuração com sondas rotativas.

Agricultura

No domínio DSP2 ocorrem, predominantemente, dois tipos de solos: Argissolo Vermelho Amarelo e Plintossolos (EMBRAPA, 1986).

A unidade geoambiental DSP2mqmtc sustenta um relevo de baixas declividades e amplitudes e altera-se para solo imperfeitamente drenado, com manchas ou mosqueados avermelhados, ricos em ferro, ou, ainda, nódulos ou concreções ferruginosas, extremamente duros, que formam, algumas vezes, espessas camadas contínuas e

endurecidas de material ferruginoso. Quando esse material mais endurecido se encontra a pouca profundidade ou em superfície, torna-se um limitador para utilização agrícola do solo, pois há diminuição da permeabilidade, restrição ao enraizamento das plantas e entrave ao uso de equipamentos agrícolas.

Apesar de a baixa fertilidade natural e a elevada acidez desses solos, essa unidade ambiental, quando não contém crosta laterítica, apresenta bom potencial para agricultura mecanizada, associada à aplicação de fertilizantes no solo.

Na unidade geoambiental DSP2x, assim como na unidade DSP2mqmtc, encontram-se solos arenossiltosos, imperfeitamente drenados (Plintossolos), associados às superfícies aplainadas degradadas, além de solos argilosos, com gradiente textural (Argissolos), associados a relevos colinosos e às superfícies aplainadas.

Os Argissolos, quando associados a relevos declivosos, são muito suscetíveis à erosão, não recomendáveis para agricultura, prestando-se para pastagem e reflorestamento ou preservação da flora e fauna. Quando localizados em áreas de relevo plano e suavemente ondulado, esses solos podem ser usados para diversas culturas, desde que sejam feitas correções da acidez e adubação.

Recursos hídricos e fontes poluidoras

Favorabilidade hidrogeológica bastante afetada por processo de metamorfismo, uma vez que este provoca transformações químicas e físicas. Dentre essas mudanças, registra-se a diminuição de porosidade nas rochas, devido a terem sido submetidas ao calor e à pressão do interior da Terra. No entanto, tais rochas apresentam falhas e fraturas que constituem descontinuidades favoráveis para que as águas circulem e se armazenem, formando aquíferos do tipo fissural. Por outro lado, tais descontinuidades permitem, também, que possíveis poluentes percolem e se armazenem.

Além de aquíferos fissurais, esse domínio apresenta espesso manto intempérico, poroso e permeável, com potencial para aquíferos livres.

Potencial mineral

Rochas pouco alteradas da unidade DSP2mqmtc e veios de quartzo apresentam potencial para brita.

Os solos pouco evoluídos de rochas filíticas e xistosas são muito micáceos e costumam ser portadores de argilominerais expansivos. Nesse caso, erodem bastante se expostos à concentração de águas pluviais, tornando-se inadequados para utilização como material de empréstimo. Mas, quando muito alterados, os solos da unidade DSP2x podem ser utilizados como saibro.

Potencial geoturístico

Domínio sem atrativos turísticos.

DOMÍNIO DAS SEQUÊNCIAS VULCANOSSEDIMENTARES PROTEROZOICAS DOBRADAS, METAMORFIZADAS DE BAIXO A ALTO GRAU (DSVP2)

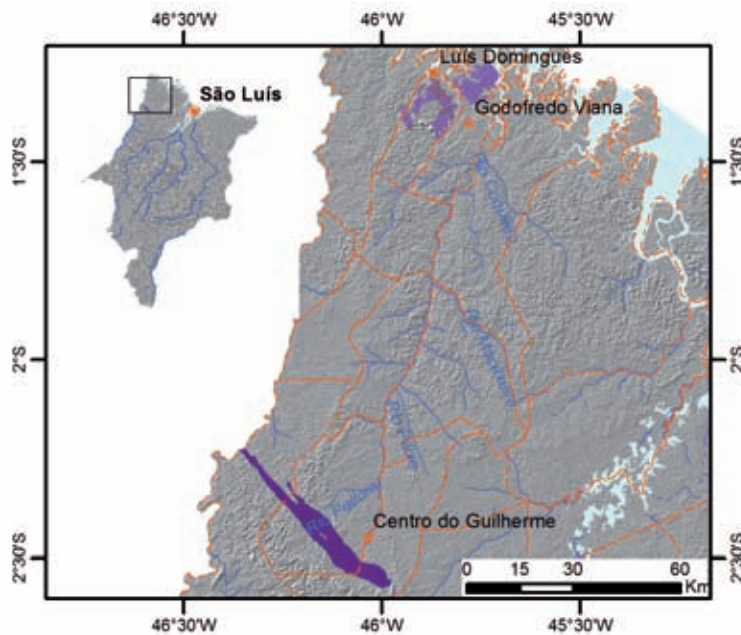
Área de Ocorrência, Elementos de Definição e Relevo Associado

Domínio formado por uma variação de rochas das mais diversas texturas, composições e grau de deformação, aflorando em área aproximada de 409,50 km² e ocupando a porção central do município Centro Novo do Maranhão, centro-sul de Centro do Guilherme, sul de Maranhãozinho, norte de Goldofredo Viana e Luís Domingues (Figura 12.110). Está representado por três unidades geológico-ambientais: Metarenitos feldspáticos, metarenitos, tufos e metavulcânicas básicas a intermediárias (DSVP2gratv); Predomínio de metapelitos, com intercalações de rochas metabásicas

e/ou metaltramáficas (DSVP2pbu); Predomínio de metarenitos e quartzitos com intercalações irregulares de metassedimentos siltico-argilosos e formações ferríferas ou manganêsíferas (DSVP2mqsafmg).

Metarenitos feldspáticos, metarenitos, tufos e metavulcânicas básicas a intermediárias (DSVP2gratv): Sequência vulcanossedimentar com idade entre 2.148 e 2.160 Ma, depositada em ambiente de arco de ilhas, que, ao longo do tempo geológico, foi intensamente deformada e metamorfozizada, formando rochas metavulcânicas, metavulcanoclásticas e metassedimentares da Formação Chega Tudo (KLEIN; MOURA, 2003), dispostas em uma faixa longitudinal de direção NW-SE e com forte presença de xistosidade (Figura 12.111).

Essas rochas foram intensamente erodidas e se encontram morfologicamente associadas a superfícies aplainadas, colinas amplas e suaves (Figura 12.112), com cotas topográficas que variam de 20 a 120 m (Figura 12.113).



Convenções Cartográficas	Unidades Geológico-Ambientais
● Capital	DSVP2gratv - Metarenitos feldspáticos, metarenitos, tufos e metavulcânicas básicas a intermediárias
● Sede municipal	DSVP2mqsafmg - Predomínio de metarenitos e quartzitos com intercalações irregulares de metassedimentos siltico-argilosos e formações ferríferas ou manganêsíferas
--- Drenagem unifilar intermitente	DSVP2pbu - Predomínio de metapelitos com intercalações de rochas metabásicas e/ou metaltramáficas
— Drenagem unifilar permanente	
— Drenagem bifilar	
--- Limite municipal	

Figura 12.110 - Área de ocorrência das unidades geológico-ambientais do domínio das sequências vulcanossedimentares proterozoicas dobradas, metamorfozizadas de baixo a alto grau (DSVP2).



Figura 12.111 - Rocha metamórfica muito intemperizada, com planos de xistosidade subverticais, com feições de deslocamento. Rodovia MA-307, município Centro do Guilherme (MA).



Figura 12.112 - Relevo colinoso coberto por vegetação secundária rasteira. Rodovia MA-307, município Centro do Guilherme (MA).

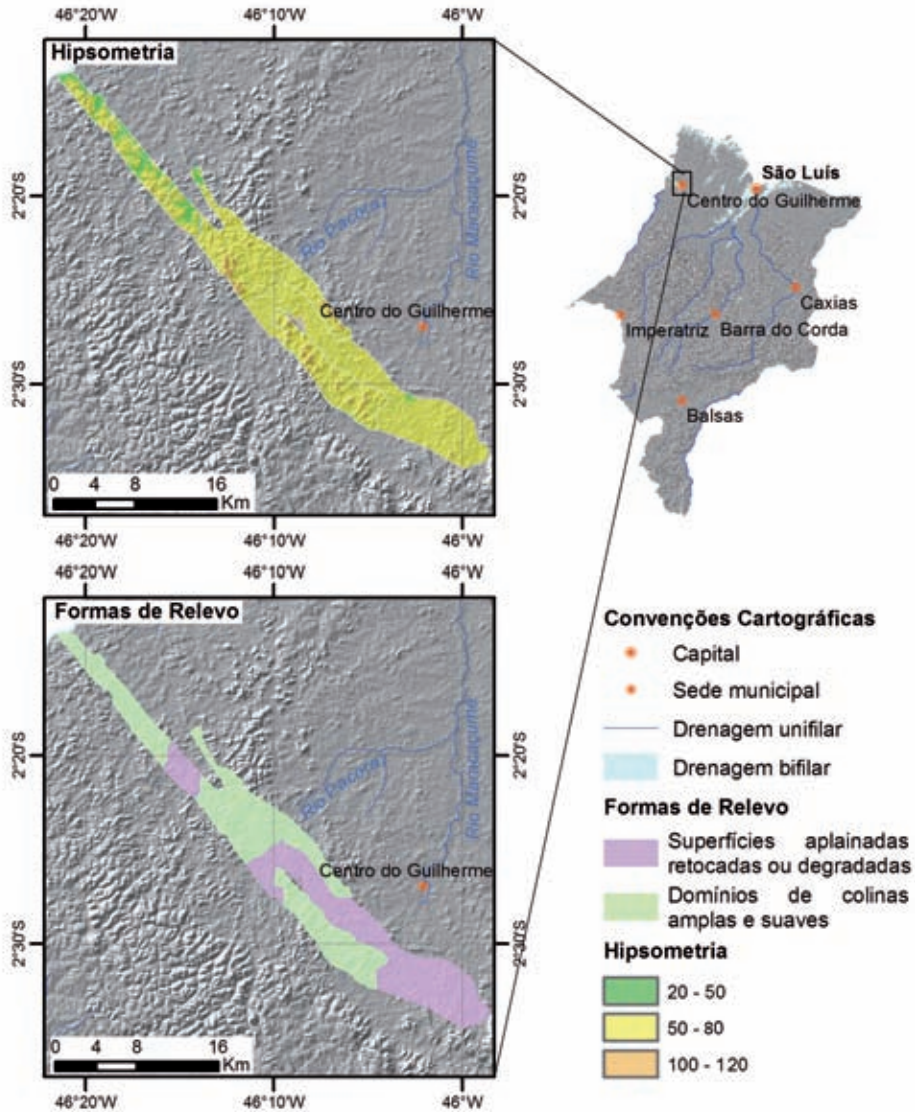


Figura 12.113 - Hipsometria e formas de relevo associadas à unidade geológico-ambiental DSVP2gratv.

Predomínio de metapelitos com intercalações de rochas metabásicas e/ou metaultramáficas (DS-VP2pbu): Unidade associada a depósitos sedimentares e vulcanossedimentares, com aproximadamente 2.240 milhões de anos, que passaram por intenso processo de deformação, originando rochas metavulcânicas ácidas da Formação Pirocaua, rochas metavulcânicas básicas e ultrabásicas da Formação Matará e rochas metavulcânicas ácidas e básicas e rochas metassedimentares pertencentes ao Grupo Aurizona Indiviso (KLEIN et al., 2008).

Terrenos constituídos por relevos com baixas declividades e amplitudes e com cotas topográficas que variam entre 10 a 80 m (Figura 12.114).

Predomínio de metarenitos e quartzitos com intercalações irregulares de metassedimentos silte-argilosos e formações ferríferas ou manganíferas (DSVP2mqsafmg): Unidade geológico-ambiental definida

a partir de quartzitos, xistos, filitos, metacherts e metarenitos da Formação Ramos (Grupo Aurizona) (KLEIN et al., 2008) e associada a colinas amplas e suaves com cotas de até 70 m de altitude (Figura 12.115).

Características, Adequabilidades e Limitações Frente ao Uso e à Ocupação

Obras de engenharia

Conjunto de rochas moderada a intensamente deformadas, dobradas e tectonizadas, como xistos quartzosos e carbonosos, metacherts, quartzitos, metamáficas e ultramáficas, geralmente recortadas por veios de quartzo de dimensões variadas. Essas diferenças condicionam características geotécnicas e hidráulicas, que, na maior parte das vezes, mudam bruscamente de uma litologia

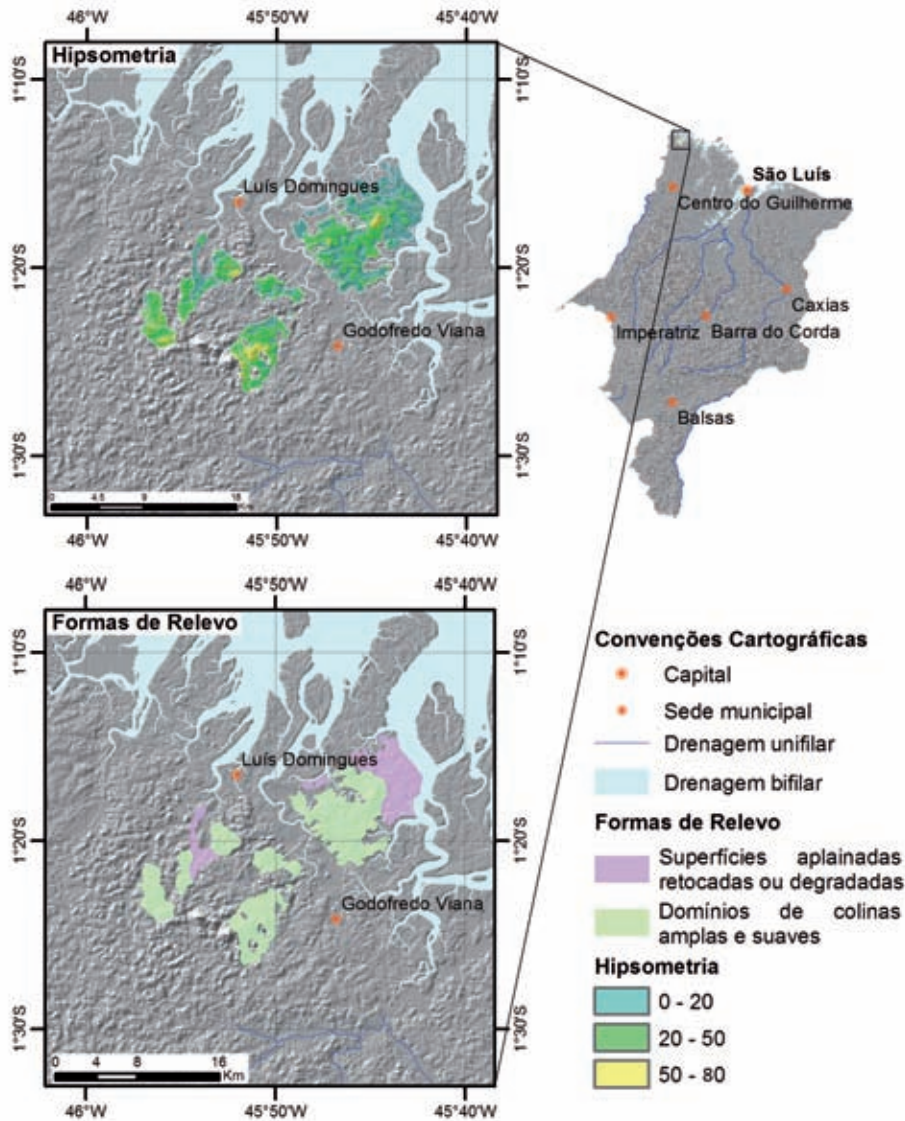


Figura 12.114 - Hipsometria e formas de relevo associadas à unidade geológico-ambiental DSVP2pbu.

para outra, formando importantes descontinuidades que facilitam processos erosivos e desestabilizações em taludes de corte. Tais variações favorecem a surgência de água (nascentes) em taludes de corte, exigindo estudos mais aprofundados sobre comportamento hidrodinâmico e tratamento de fundações, como também cuidados para locação de fontes potencialmente poluidoras nessas áreas com alta vulnerabilidade para aquíferos superficiais.

As rochas da unidade DSVP2mqsafmg, por serem constituídas, predominantemente, por mineral de quartzo, são muito abrasivas e exibem moderada a alta resistência ao intemperismo. Diferentemente das rochas das unidades DSVP2pbu e DSVP2gratv, que possuem baixa resistência ao intemperismo químico e se alteram de forma bastante diferenciada; são terrenos onde a profundidade do substrato rochoso é bastante irregular e, mesmo onde os solos são profundos e bem evoluídos, pode haver, aleatoriamente

distribuídos, blocos e matações de rochas frescas, os quais podem dificultar a execução de escavações e perfurações, além de se movimentarem quando expostos em taludes de corte ou desestabilizarem obras cujas fundações se apoiem parcialmente sobre eles.

Essa associação de rochas, quando não alteradas e sem xistosidade, apresentam algumas similaridades; dentre elas, alta resistência ao corte e à penetração e baixa resistência ao cisalhamento, quebrando-se com facilidade quando submetidas a tensão, o que faz com que essas rochas, geralmente, encontrem-se densamente fraturadas em várias direções. Em consequência, são bastante percolativas e se desestabilizam com facilidade quando escavadas e expostas em talude de corte (soltam blocos condicionados pelos planos de fraturas).

Esse domínio, assim como a unidade DSP2x (Predomínio de metassedimentos síltico-argilosos, representados

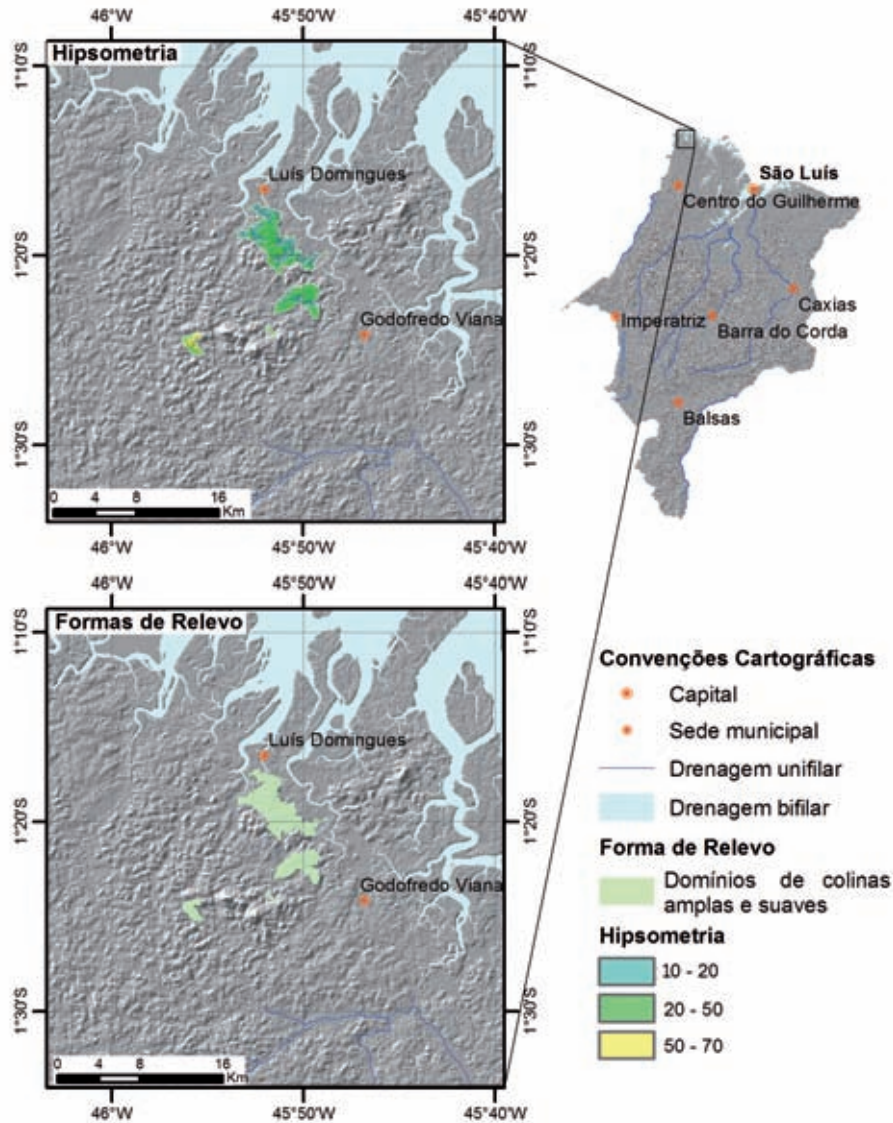


Figura 12.115 - Hipsometria e forma de relevo associada à unidade geológico-ambiental DSVP2mqsafmg.

por xistos), do domínio das sequências sedimentares proterozoicas dobradas, metamorizadas de baixo a alto grau (DSP2), também apresenta rochas com xistosidade, ou seja, litótipos com presença de planos potenciais de instabilidade mesmo quando a rocha não está alterada. Tais superfícies podem se tornar caminhos preferenciais de percolação da água, gerando grande perda de resistência.

Esse domínio sustenta relevos de baixas declividades e amplitudes (superfície aplainada degradada, colinas amplas e suaves), que favorecem o processo de pedogênese sobre a morfogênese, gerando um manto de alteração profundo e solos lixiviados, empobrecidos em nutrientes naturais, tais como solos profundos arenoargilosos (Latosolos) ou cascalhentos ou pedregosos (Plintossolos Pétricos) e/ ou com gradientes texturais entre os horizontes superficial e subsuperficial (Argissolos), com boa capacidade de compactação e suporte; desde que não exista cobertura

quartzosa, apresentam baixa resistência para escavações e baixo potencial de movimentos naturais de massa e erosão hídrica. Além de morfologias suavemente onduladas, algumas áreas dessa unidade apresentam relevo com declividade relativamente acentuada (colinas dissecadas), com potencial para escoamento superficial rápido, de moderado potencial de erosão hídrica e de movimentos naturais de massa.

Algumas particularidades são observadas quanto à alteração das rochas metabásicas e metaltramáficas das unidades DSVP2pbu e DSVP2gratv, as quais se alteram para solos argilosos, que, no início do processo de intemperismo, transformam-se em argilominerais expansivos, que, se submetidos à variação de grau de umidade, sofrem o fenômeno da alternância dos estados de expansão e contração, com alto potencial erosivo. Formam solos altamente plásticos, escorregadios quando molhados e de

baixa resistência à compressão. Por outro lado, os solos, quando bem evoluídos, são de baixa erosividade natural e apresentam boa capacidade de compactação e boa estabilidade em talude de corte.

Já os quartzitos da unidade DSVP2mqsafmg formam solos residuais arenosos e arenossiltosos, com baixa coesão e instabilidade em taludes de corte.

Agricultura

As rochas da unidade DSVP2mqsafmg alteram para solos arenoquartzosos, liberando poucos nutrientes; por isso, os solos residuais são de baixa fertilidade natural, ácidos e friáveis. Já as rochas metamáficas e metaultramáficas da unidade DSVP2pbu, intercaladas verticalmente com rochas metapelíticas e metareníticas, por apresentarem baixa resistência ao intemperismo físico-químico e possuírem textura fina, formam solos argilosos e síltico-argilosos pouco permeáveis, com boa capacidade de reter nutrientes e assimilar matéria orgânica. Tais características favorecem a que o solo responda bem à adubação e possua capacidade hídrica favorável à agricultura. Por outro lado, quando molhados, os solos de rochas metabásicas são bastante aderentes e pegajosos; por isso, podem se tornar problemáticos para mecanização em períodos chuvosos, devido à aderência nos maquinários e equipamentos; quando secos, entram facilmente em suspensão, levantando muita poeira durante o processo de aragem.

As áreas com declividades baixas e amplitudes suavizadas, com baixo potencial de erosão hídrica, sem pedregosidade e sem cobertura laterítica endurecida, não oferecem impedimentos ao uso de implementos agrícolas motorizados; portanto, os solos corretamente adubados apresentam aptidão agrícola regular para lavouras de ciclo curto e/ou longo e aptidão boa a restrita para pastagem plantada.

Recursos hídricos e fontes poluidoras

Domínio formado por rochas pouco permeáveis, que armazenam água, mas quase não a disponibilizam para circulação, ou seja, são terrenos de baixo potencial armazenador e circulador de água subterrânea, de baixo potencial para aquíferos porosos. Entretanto, têm potencial para aquíferos fissurais, relacionados a armadilhas e barreiras hidrogeológicas, associadas à mudança abrupta entre litologias de características hidrodinâmicas distintas e às discontinuidades estruturais (falhas e fraturas), que apresentam potencial de exploração bastante irregular, ou seja, uma área pode estar fraturada, mas não conter conectividade entre elas, enquanto poços locados podem apresentar baixas vazões ou estarem secos. Já áreas pouco fraturadas podem conter discontinuidades conectadas e abertas, com alto potencial para poços com ótimas vazões.

Além de aquíferos fissurais, pode haver aquíferos porosos relacionados ao profundo manto de alteração das rochas.

Em caso de haver aquíferos fissurais, estes são passíveis de contaminação, pois apresentaram fraturas e falhas conectadas e abertas, que possibilitam a percolação de poluentes.

Potencial mineral

As unidades geoambientais DSVP2mqsafmg e DSVP2pbu possuem potencial para brita, quando não estão alteradas, e exploração de cascalho, quando alteradas.

A unidade DSVP2pbu, por apresentar sequência de rochas metavulcânicas félsicas, intermediárias e máficas, associadas a rochas tufáceas, intercaladas com rochas metassedimentares (Figura 12.116) e cortadas por veios de quartzo, constitui-se em importante hospedeira de mineralizações auríferas (KLEIN; LOPES, 2011; KLEIN; SOUSA, 2012), assim como as rochas vulcanossedimentares ricas em sulfetos e muitos alteradas hidrotermalmente também têm potencial pra mineralizações de ouro (Figura 12.117).

Ocorrência de fosfato supergênico (KLEIN et al., 2008), com bom potencial para insumos agrícolas na porção norte da unidade geológico-ambiental DSVP2pbu, no município Goldofredo Viana.



Figura 12.116 - Garimpo de ouro em rocha metarenítica e matatufo. Município Centro do Guilherme (MA).



Figura 12.117 - Mina a céu aberto de ouro. Mina Luna Gold Mineração. Município Godofredo Viana (MA).

Potencial geoturístico

Potencial geoturístico relacionado às minas abertas de ouro, que exibem rochas máficas e ultramáficas intensamente deformadas e altamente intemperizadas, cortadas por espessos veios de quartzo, como também às corredeiras formadas pela passagem do rio Gurupi sobre as rochas desse domínio.

DOMÍNIO DOS COMPLEXOS GRANITOIDES NÃO DEFORMADOS (DCGR1)/DOMÍNIO DOS COMPLEXOS GRANITOIDES DEFORMADOS (DCGR2)

Área de Ocorrência, Elementos de Definição e Relevo Associado

Domínios compostos por rochas ígneas intrusivas de diferentes composições químicas e mineralógicas, formadas por meio de resfriamento e solidificação lenta de material derretido (magma). Esse processo ocorreu a grandes profundidades, há cerca de dois bilhões de anos (Éon Proterozoico). Devido a processos tectônicos, tais rochas foram alçadas até a superfície terrestre, sendo diferenciadas em duas unidades geológico-ambientais: Séries graníticas subalcalinas: calcialcalinas (baixo, médio e alto-K) e toleíticas (DCGR1salc) (não deformadas); Séries graníticas subalcalinas: calcialcalinas (baixo, médio e alto-K) e toleíticas (DCGR2salc) (deformadas).

Séries graníticas subalcalinas: calcialcalinas (baixo, médio e alto-K) e toleíticas (não deformadas) (DCGR1salc): Unidade geológico-ambiental com extensão geográfica de 2.998,16 km², distribuída no noroeste do município Centro Novo do Maranhão, sudoeste de Maranhãozinho, porção central do município Centro do Guilherme, norte de Boa Vista do Gurupi, oeste de Amapá do Maranhão, centro e norte de Cândido Mendes, 85% do município de

Carutapera, centro e sudoeste de Goldofredo Viana, sul de Luís Domingues e nordeste de Turiagu (Figura 12.118).

Geologicamente, essa unidade está associada às rochas isotrópicas, que não apresentam grandes feições deformacionais; mas, por vezes, podem conter orientação mineral de fluxo magmático, como a Suíte Tromai, granitos Moça e Negra Velha e o Granófiro Piaba.

A Suíte Tromai é constituída por tonalitos, trondhjemitos, granodioritos (TTG), granitos, quartzoandesitos, riolitos e dacito relacionados a arcos vulcânicos e zonas de subducção e/ou ambientes pós-collisionais de orogêneses fanerozoicas (KLEIN; MOURA, 2003). O Granófiro Piaba é um granitoide fino, com composição granodiorítica a tonalítica, que intrude e assimila, parcialmente, a sequência metavulcanossedimentar encaixante (Grupo Aurizona) (KLEIN et al., 2008). O Granito Negra Velha apresenta textura porfírica de granulação média a grossa, com fenocristais de feldspato alcalino, onde predomina monzogranito, ocorrendo também sienogranito e quartzomonzonito (KLEIN et al., 2008). O Granito Moça é composto por sienogranito e monzogranito (KLEIN; LOPES, 2012).

Esse complexo de rochas e solos residuais sustenta dois principais tipos de relevo (Figura 12.119): colinas amplas e superfícies aplainadas degradadas (Figura 12.120). Mas, em escala de maior detalhe, será possível identificar relevos com declividades e amplitudes um pouco mais acentuadas, como colinas dissecadas.

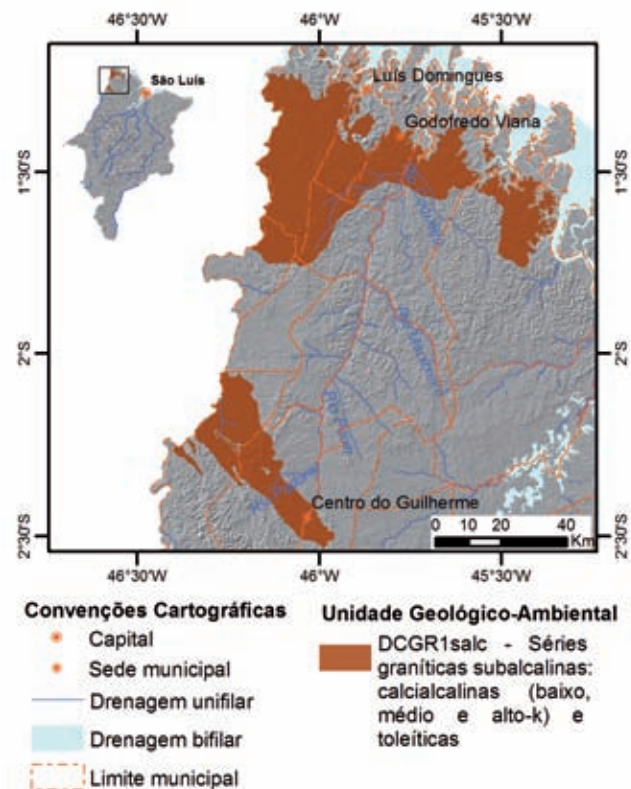


Figura 12.118 - Área de ocorrência da unidade geoambiental do domínio dos complexos granitoides não deformados (DCGR1).

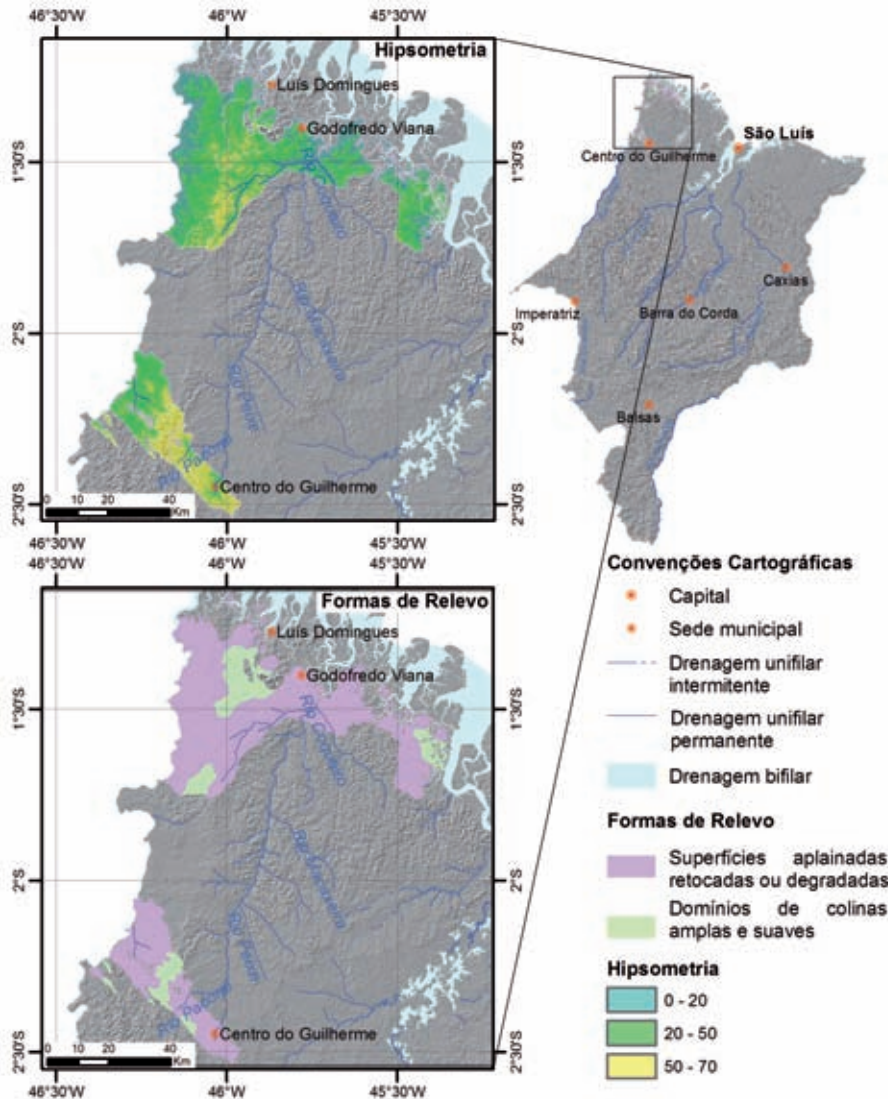


Figura 12.119 - Hipsometria e formas de relevo associadas à unidade geológico-ambiental DCGR1salc.



Foto 12.120 - Superfície aplainada degradada, coberta por vegetação de babaçu, sustentada por solo arenoargiloso. Nesse terreno foi instalada a rodovia MA-301, bem como depósito irregular de lixo. Município Godofredo Viana (MA).

Séries graníticas subcalcinas: calcialcalinas (baixo, médio e alto-K) e toleíticas (DCGR2salc) (deformadas): Unidade geológico-ambiental com área aproximada de 171,14 km², encontrada na porção oeste do município Centro Novo do Maranhão, porção leste de Luís Domingues, norte de Arixá e leste de Bacabeira e Rosário (Figura 12.121).

Correspondem, geologicamente, a três tipos de rochas plutônicas: Suíte Rosário, Microtonalito Garimpo Caxias e Granito Maria Suprema.

A Suíte Rosário contém rochas com textura original granular parcialmente preservada, formada predominantemente por tonalitos e granodioritos (Figura 12.122) e, em proporções menores, quartzodioritos, monzogranitos e leucotonalitos, que estão recortados por veios de pegmatitos e aplitos. Na maior parte dessas rochas observam-se foliações e bandamentos (Figura 12.123) causados por

deformações, que imprimiram metamorfismo em condições de fácies xisto-verde (metamorfismo hidrotermal de cisalhamento) (GORAYEB et al., 1999).

A unidade geológica Garimpo Caxias caracteriza-se por um microtonalito equigranular, maciço e composto por plagioclásio, quartzo, raro feldspato potássico e biotita. Rocha com feições de orientação dos minerais localizada, principalmente, nas zonas de cisalhamento (KLEIN et al., 2002).

A unidade geológica Maria Suprema corresponde a um corpo alongado de leucogranito composto por quartzo,

feldspatos, biotita e muscovita, além de zircão, apatita e ocasional andaluzita. Encontra-se milonitizada, com aspecto xistoso a gnaissico, gerado por fusão parcial de rochas mais antigas (PASTANA, 1995).

Ainda que essa unidade apresente rochas deformadas, estas se encontram sob as mesmas condições climáticas e intempéricas que as da unidade DCGR1; portanto, intemperizam-se e erodem de forma bastante similar, formando relevos em formas suavemente onduladas, como colinas amplas e superfícies aplainadas (Figura 12.124).

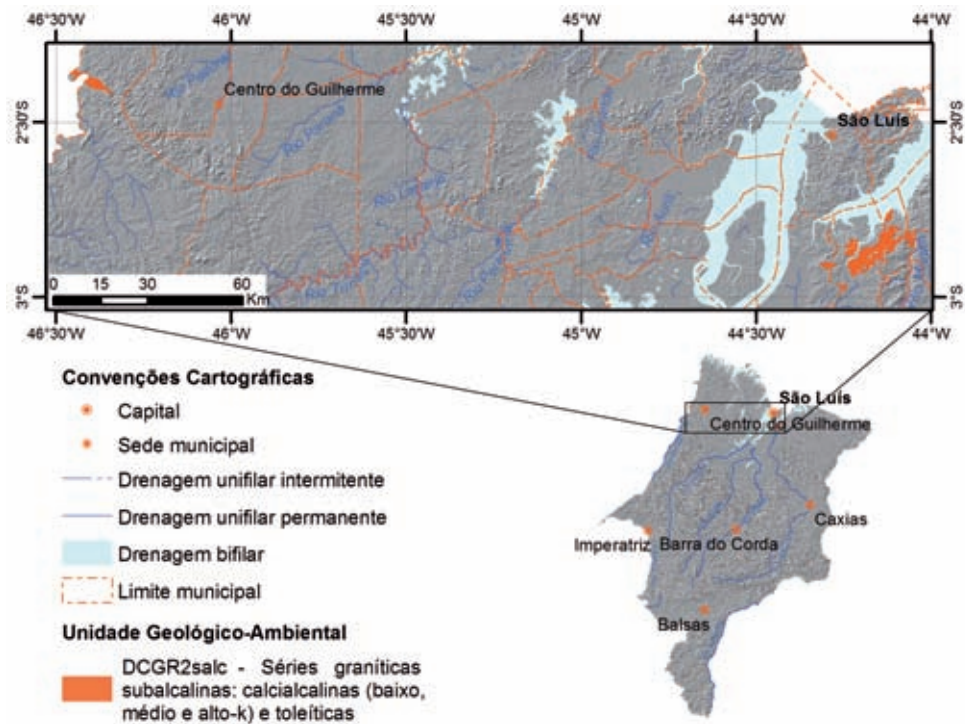


Figura 12.121 - Área de ocorrência da unidade geológico-ambiental do domínio dos complexos granitoides deformados (DCGR2).



Figura 12.122 - Granodiorito. Rodovia MA-110, município Axixá (MA).



Figura 12.123 - Granodiorito deformado. Pedreira São Luís. Município Rosário (MA).

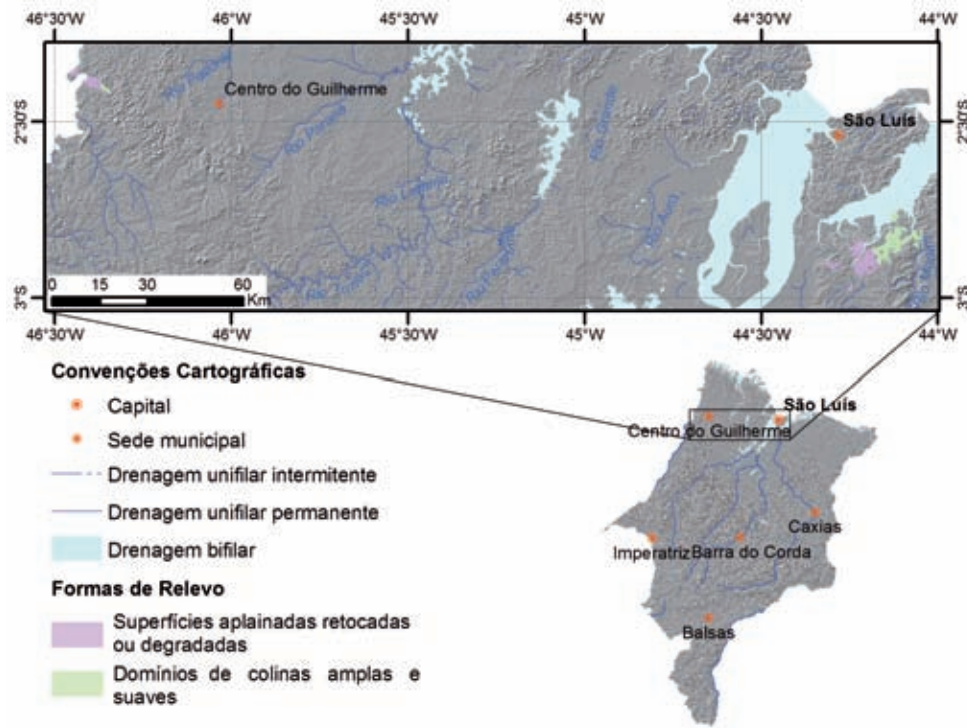


Figura 12.124 - Formas de relevo associadas à unidade-geológico-ambiental DCGR2salc.

Características, Adequabilidades e Limitações Frente ao Uso e à Ocupação

Obras de engenharia

Granitos, granodioritos e tonalitos pouco a moderadamente fraturados, com baixa porosidade primária, moderada porosidade secundária (fraturas), baixa permeabilidade, alto grau de coesão e coerência, alta estabilidade geotécnica e alta resistência ao intemperismo, ao corte e à penetração, boa capacidade de suporte e adequados para uso em fundações e como agregados para concreto. No entanto, essa alta resistência ao corte condiciona que explosivos sejam utilizados no caso de desmonte.

Esse conjunto de rochas, quando possuem muitas descontinuidades estruturais (falhas e fraturas com ângulos e mergulhos diferenciados), tem facilitados o desprendimento e a desestabilização de blocos em taludes de corte. Tal fato, somado à alteração diferenciada dessas rochas, possibilita que blocos rochosos sejam encontrados espaçadamente em meio ao solo (Figura 12.125), dificultando a execução de escavações e perfurações, que, dependendo da profundidade, podem atingir a rocha. Tal instabilidade pode gerar problemas geotécnicos, pois fundações parcialmente apoiadas sobre esses blocos são passíveis de sofrer desestabilização. Dessa forma, torna-se necessária a realização de estudos geotécnicos antes da realização de grandes obras de engenharia.

Obras sobre rochas não deformadas, isotrópicas, com textura porfírica, devem ser locadas com certos cuidados, pois tais rochas podem conter porfiroblastos de minerais

com baixa resistência química e vesículas preenchidas por minerais plásticos ou expansíveis.

Tais condicionantes são ainda maiores nas rochas granitoides deformadas (DCGR2salc), pois, além das descontinuidades estruturais (falhas e fraturas), apresentam descontinuidades geomecânicas e hidráulicas relacionadas aos planos de foliação das rochas e veios de quartzo que as cortam (Figura 12.126); quando associadas a solos residuais rasos, podem condicionar acidentes geotécnicos nos taludes de corte.

Litótipos que formam solos residuais, com textura argilo-siltico-arenosa. Quando pouco evoluídos, são de alta erosividade e se desestabilizam com facilidade em taludes de corte (Figura 12.127). Por isso, no caso de obras que envolvam escavações, é importante evitar deixá-los expostos à erosão. Já os solos bem evoluídos, por terem textura à base de argila, tornam-se moderadamente permeáveis e plásticos, apresentam boa capacidade de compactação e são mais estáveis em talude de corte (Figura 12.128).

Áreas com predomínio de rochas graníticas quartzofeldspáticas, que, sob altas precipitações e temperatura e relevos suavemente ondulados se apresentam muito alteradas, formando saprólitos arenoargilosos, pouco coesos (Figura 12.129) em talude de cortes mais declivosos e sem vegetação, podem apresentar feições erosivas.

As áreas com rochas muito alteradas e em relevo de declividade moderada (colinas dissecadas) propiciam escoamento superficial rápido, potencializando movimentos naturais de massa e erosão. Portanto, é necessário preservar as áreas mais declivosas.

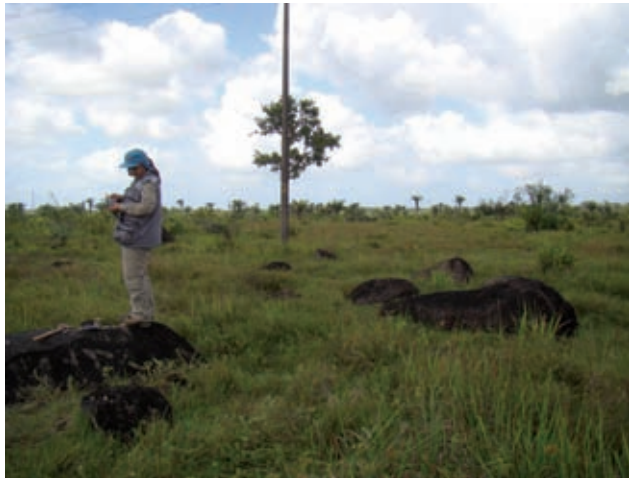


Figura 12.125 - Blocos e lajedos de rocha granítica. Rodovia MA-206, município Carutapera (MA).



Figura 12.126 - Saprólito de rocha ígnea (granito), composto por fraturas preenchidas de quartzo. Rodovia MA-206, município Amapá do Maranhão (MA).

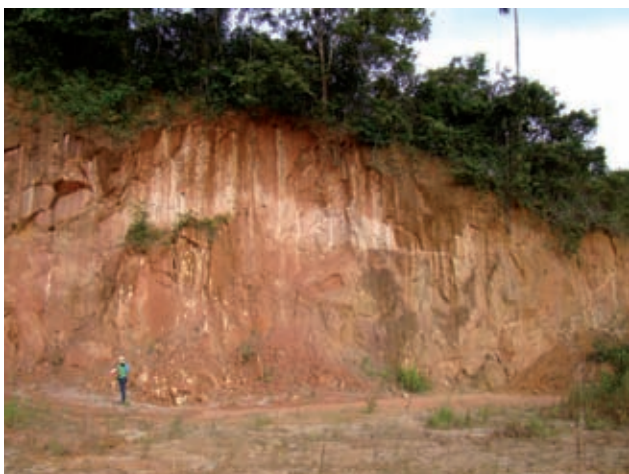


Figura 12.127 - Granodiorito alterado e solo residual. Rodovia MA-110, município Arixá (MA).



Figura 12.128 - Saprólito de rocha granítica e solo muito oxidado, imperfeitamente drenado (Plintossolo), sustentando relevo de colinas. Rodovia MA-206, município Carutapera (MA).



Figura 12.129 - Saprólito de rocha granítica. Rodovia MA-206, município Carutapera (MA).

Agricultura

Domínio em que prevalecem formas de relevo com baixas declividade e amplitude (superfícies aplainadas e colinas amplas e suaves), nos quais predominam processos de pedogênese sobre morfogênese, formando manto de alteração profundo, solos lixiviados, empobrecidos em nutrientes naturais, de drenagem imperfeita (Plintossolos) e bem drenados (Latosolos e Argissolos). Esses solos, condicionados à aplicação de corretivos e fertilizantes,

mostram aptidão agrícola regular para lavouras de ciclo curto e/ou longo e aptidão boa a restrita para pastagem plantada, assim como aptidão boa, regular ou restrita para silvicultura e/ou pastagem natural. Além desses solos, ocorrem, localizadamente, solos pedregosos e rasos (Neossolos Litólicos), inaptos para a agricultura.

Recursos hídricos e fontes poluidoras

Favorabilidade hidrogeológica variável, relacionada a reservatórios do tipo fissural, que apresentam potencial bastante irregular, pois dependem da densidade e da interconexão de falhas e fraturas abertas para que a água percole e se acumule, ou seja, em determinado local, um poço pode ter boa vazão, mas, nas imediações, outro poço, de mesma profundidade, pode se apresentar seco. Portanto, são necessários estudos de detalhe (geofísicos e estruturais) para seleção de locais para perfuração de poços.

A água subterrânea existente ao longo dessas fraturas apresenta vulnerabilidade variável. Quando estão cobertas por solo poroso e permeável (Latosolos), a vulnerabilidade à contaminação é moderada, mas, quando recobertas por solos argilosos e espessos, apresentam baixa vulnerabilidade, pois tais solos funcionam como manto depurador dos aquíferos.

Há, também, potencial para aquíferos porosos superficiais, relacionados ao manto de intemperismo dessas rochas, uma vez que elas se encontram sob padrões de relevo favoráveis à retenção de água.

Potencial mineral

Rochas com características mineralógicas, texturais, tonalidades e formas de afloramento adequadas para serem explotadas como brita (Figura 12.130) e rocha ornamental, assim como saprólitos e solos residuais, que podem ser utilizados como saibro (Figura 12.131).



Figura 12.130 - Vista parcial da pedreira São Luís. Município Rosário (MA).

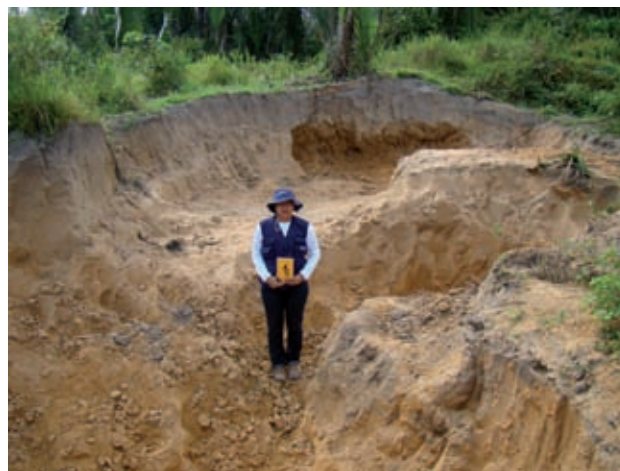


Figura 12.131 - Solo arenoargiloso utilizado como material direto na construção civil. Rodovia MA-301, município Goldofredo Viana (MA).

Algumas porções da Suíte Intrusiva Tromai estão cortadas por veios de quartzo, com presença de ouro (KLEIN et al., 2008).

Potencial para mineralização de titânio representado por ilmenita encontrada em sedimentos aluvionares depositados pelas drenagens que cortam as rochas dessa unidade (COSTA et al., 1977).

Domínio com potencial para mineralizações de ouro, sendo o Granófiro Piaba o principal hospedeiro desse bem mineral.

Potencial geoturístico

Na porção noroeste do estado, as rochas dessa unidade são cortadas pelo rio Gurupi, formando belas corredeiras na região.

DOMÍNIO DOS COMPLEXOS GNÁISSICO-MIGMATÍTICOS E GRANULÍTICOS (DCGMGL)

Área de Ocorrência, Elementos de Definição e Relevo Associado

Terreno formado por rochas metamórficas muito antigas (proterozoicas), oriundas da transformação de rochas preexistentes (ígneas, sedimentares ou metamórficas), que, sob condições de alta temperatura, pressão, ação de fluidos circulantes e grandes profundidades, foram deformadas, alterando sua textura e constituição mineralógica (NELSON, 2003; USGS, 2004). Em algumas áreas, observam-se rochas migmatíticas, que, além de sofrerem alterações nas condições físico-químicas e parte do material ter sofrido fusão, ao longo da história geológica passaram por vários eventos tectônicos deformativos de caráter compressivo.

Devido à variedade litológica e textural desse domínio, ele foi diferenciado em três unidades geológico-ambientais: Predomínio de gnaisses paraderivados. Podem conter por-

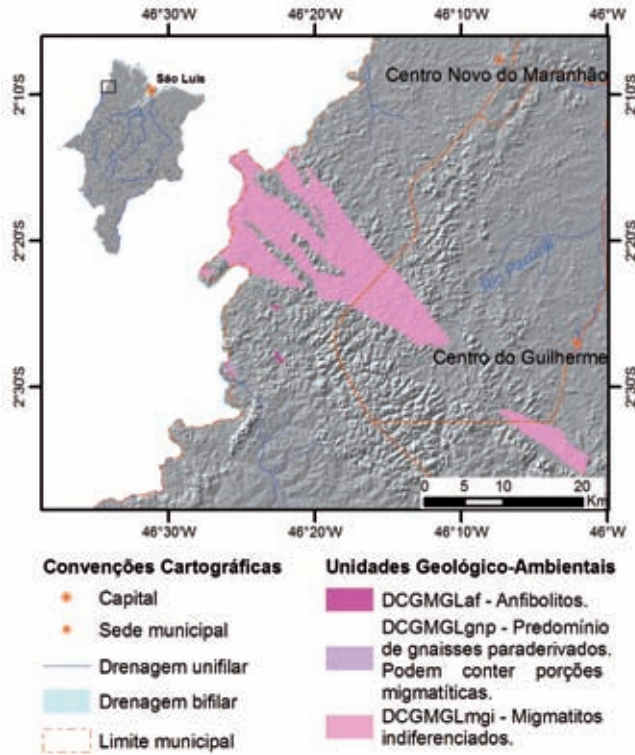


Figura 12.132 - Área de ocorrência das unidades geológico-ambientais do domínio dos complexos gnáissico-migmatíticos e granulíticos (DCGMGL).

ções migmatíticas (DCGMGLgnp); Migmatitos indiferenciados (DCGMGLmgi); Anfibolitos (DCGMGLaf), localizados no extremo noroeste do estado (Figura 12.132).

A unidade geológico-ambiental Migmatitos indiferenciados (DCGMGLmgi) distribui-se em uma área de 282,84 km², em forma alongada na direção NW-SE, abrangendo parte do nordeste do estado do Pará. No estado do Maranhão, encontra-se na porção norte do município Centro Novo do Maranhão e sudoeste do município Centro do Guilherme. Geologicamente, associa-se ao Complexo Itapeva, caracterizado por gnaisses tonalíticos de fácies anfibolito, foliados e bandados, com localizada migmatização (KLEIN, 2004). Esse complexo de rochas alteradas e solos residuais sustenta relevos em formas suavemente onduladas, como superfícies aplainadas e colinas amplas, dispostas, predominantemente, sob a cota 60 a 65 m. No entanto, encontram-se superfícies aplainadas sob cotas mais baixas, na fronteira com o estado do Pará, e colinas que atingem cotas acima de 100 m no noroeste dessa unidade.

A unidade geológico-ambiental Predomínio de gnaisses paraderivados. Podem conter porções migmatíticas (DCGMGLgnp) apresenta área de 2,42 km² e, assim como a unidade DCGMGLmgi, localiza-se entre o estado do Pará e o extremo noroeste do estado do Maranhão.

Associa-se à formação geológica Marajupema, representada por uma sequência de rochas originalmente sedimentares que sofreram intenso processo de deformação,

formando rochas metamórficas na fácies anfibolito, como gnaisses kinzigíticos e xistos feldspáticos (PASTANA, 1995). São rochas marcadas por foliação milonítica gnáissica, onde a orientação mineralógica e estrutural é controlada por planos de cisalhamento.

Apresentam relevo de baixa declividade (0% a 5%) e formas muito suavizadas, como superfícies aplainadas, sob cotas de 35 a 65 m, e amplitudes de 10 a 30 m.

A unidade geológico-ambiental Anfibolitos (DCGMGLaf) está representada por duas pequenas áreas alinhadas na direção NW-SE, que, juntas, perfazem cerca de 1,55 km², localizadas na porção norte do município Centro Novo do Maranhão. Associam-se à unidade geológica Anfibolito Cocal, caracterizado por rochas ígneas básicas (basalto ou gabro), que sofreram metamorfismo e se transformaram em anfibolito (KLEIN; LOPES, 2012). Esses pequenos corpos rochosos, assim como a unidade DCGMGLgnp, relacionam-se a relevos suavizados, como as superfícies aplainadas, sob cotas que variam de 45 a 70 m.

Características, Adequabilidades e Limitações Frente ao Uso e à Ocupação

Obras de engenharia

Domínio composto por grande variedade de litótipos. Quando pouco alterados e pouco fraturados, apresentam-se coesos, com elevada dureza e alta resistência ao corte, necessitando de explosivos para o seu desmonte, principalmente as rochas quartzíticas da unidade DCGMGLgnp, que possuem baixa resistência ao cisalhamento e são muito abrasivas, oferecendo dificuldades a escavações e perfurações, inclusive com desgaste das brocas dos maquinários. No entanto, essas rochas, por sustentarem relevo de baixas amplitudes e declividades, favorecem a que processos de alteração físico-química atuem na rocha, formando manto de intemperismo profundo, com moderada a baixa resistência ao corte e à penetração, facilitando a escavabilidade.

Rochas portadoras de muitas superfícies planares, como foliações e acamadamentos, assim como presença de descontinuidades em várias direções e com ângulos de mergulho diversos, que favorecem quedas de blocos e instabilização em taludes de corte, principalmente quando as rochas se encontram alteradas.

Rochas com muitas anisotropias e características texturais e mineralógicas contrastantes, fator que reflete na variação de seu comportamento geomecânico e hidráulico, que pode variar tanto em profundidade como lateralmente, em função das estruturas presentes e da composição mineralógica das zonas dobradas nos gnaisses.

Complexa associação de corpos rochosos que se intemperizam de modo bastante heterogêneo e diferenciado. Por isso, a profundidade do substrato rochoso costuma ser bastante irregular. Em muitos locais, pode haver, lado a lado, materiais com os mais variados graus de alteração e resistência ao corte e à penetração. Mesmo

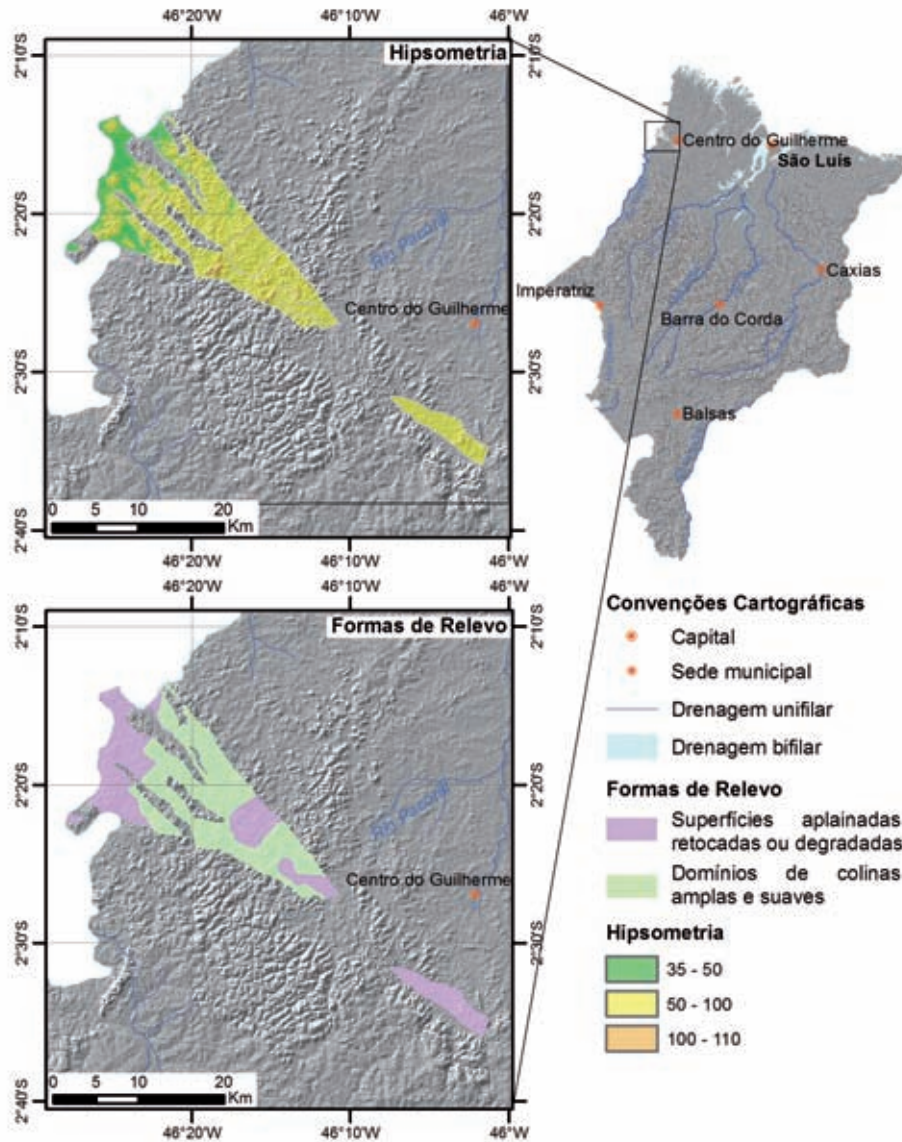


Figura 12.133 - Hipsometria e formas de relevo associadas à unidade geológico-ambiental DCGMGLmgi.

nos terrenos onde os solos são profundos e bem evoluídos, como é de se esperar nas áreas de relevo de colinas amplas e suaves e de superfícies aplainadas, é grande a possibilidade de haver, mergulhados no solo, blocos e matacões isolados ou concentrados de rochas frescas, o que pode dificultar e/ou encarecer a execução de escavações e perfurações, bem como causar problemas de desestabilização de obras se as fundações se apoiarem parcialmente sobre eles.

Em razão do intemperismo diferenciado, os solos, se pedogeneticamente pouco evoluídos, são bastante erosivos, desestabilizam-se com facilidade em taludes de corte e se tornam bastante erosivos se expostos à concentração de águas pluviais. A ação das águas sobre esse material pode produzir focos erosivos tão grandes quanto os que se desenvolvem em áreas arenosas.

A unidade geológico-ambiental DCGMGLaf, por ser formada por rochas ígneas básicas, que sofreram metamorfismo e se transformaram em anfíbolito, alteram-se para solos argilossiltosos, bastante aderentes e pegajosos quando molhados; quando secos, mantêm partículas em suspensão. Por isso, não se recomenda iniciar grandes obras nos períodos chuvosos, devido a problemas com emplastamento de maquinários e ferramentas, assim como as vias não pavimentadas tornam-se muito escorregadias. Já nos períodos secos, o problema maior é com a formação de poeira.

Agricultura

As unidades DCGMGLmgi e DCGMGLgnp alteram-se de modo bastante diferenciado, onde a espessura, as características físico-químicas e a qualidade agrícola dos

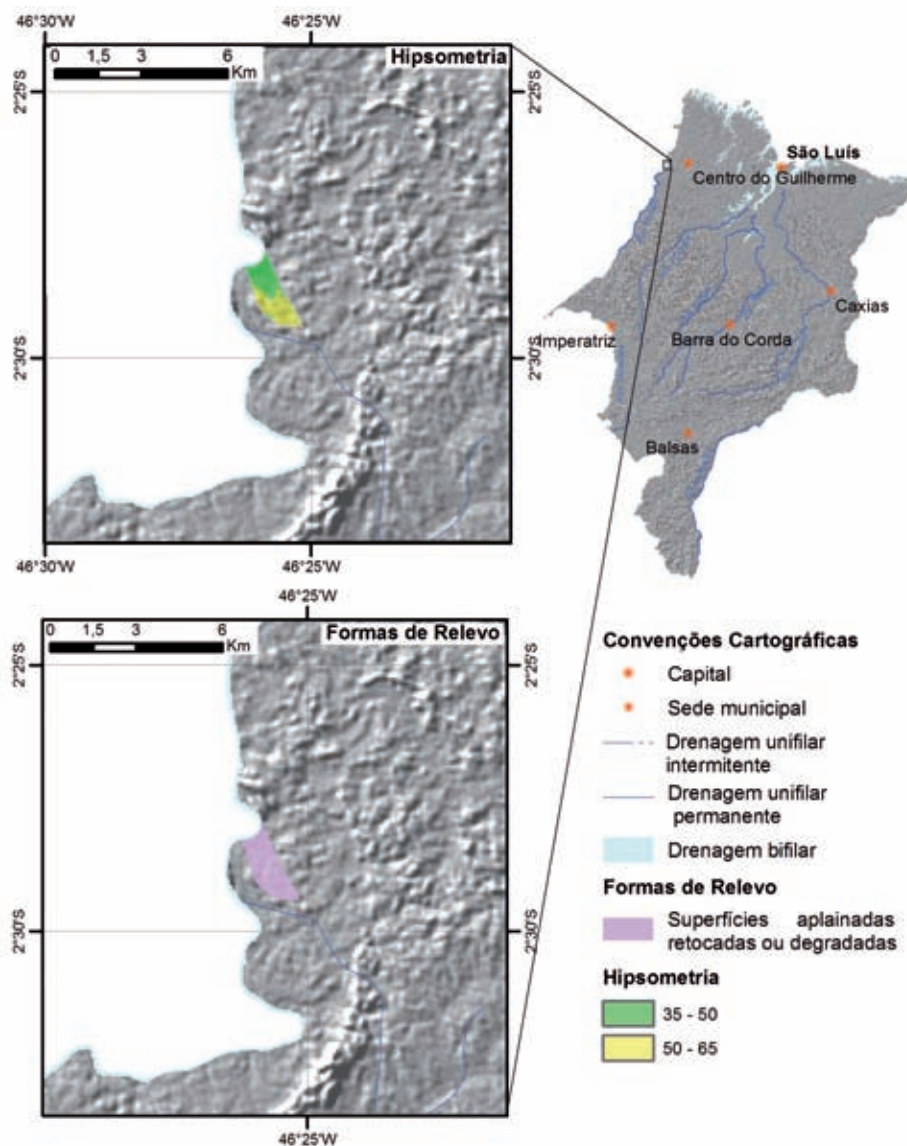


Figura 12.134 - Hipsometria e formas de relevo associadas à unidade geológico-ambiental DCGMGLgnp.

solos residuais podem variar e contrastar bastante de região para região. Portanto, pode-se encontrar pedregosidade e rochividade associadas a solos rasos (Neossolos Litólicos), assim como solos espessos e arenoargilosos (Latosolos), além de solos argilosos com gradientes texturais (Argissolos), que, quando adubados, aumentam seu potencial para a agricultura, e solos imperfeitamente drenados (Plintossolos). Esses solos apresentam restrita aptidão para lavouras de ciclo curto e/ou longo, mas são favoráveis para mecanização agrícola.

A unidade geológico-ambiental DCGMGLaf altera-se para solos argilosos, de baixa permeabilidade e com boa capacidade de reter elementos. Isso significa que, quando adubados, retêm e fixam bem os nutrientes, apresentam boa capacidade de armazenar água, ou seja, mantêm boa disponibilidade de água para as plantas por longo tempo.

Recursos hídricos e fontes poluidoras

Domínio formado por rochas com baixíssima porosidade primária e permeabilidade, com inexistência de aquíferos porosos, mas com favorabilidade hidrogeológica para aquíferos fissurais relacionados à presença de falhas, fraturas e outras descontinuidades estruturais. Nesse tipo de aquífero, o potencial para exploração de águas subterrâneas é local e bastante irregular, pois a captação de água dependerá de se o poço cruzar uma área com fraturas interconectadas e abertas que possam armazenar e circular a água. Por isso, é muito comum que, nesse tipo de aquífero, mesmo em regiões chuvosas, um poço dê excelente vazão, enquanto outro, nas imediações, seja seco.

O material de alteração das rochas desse domínio possui potencial armazenador e circulador de água subterrânea. Portanto, onde o manto de alteração é espesso e pouco

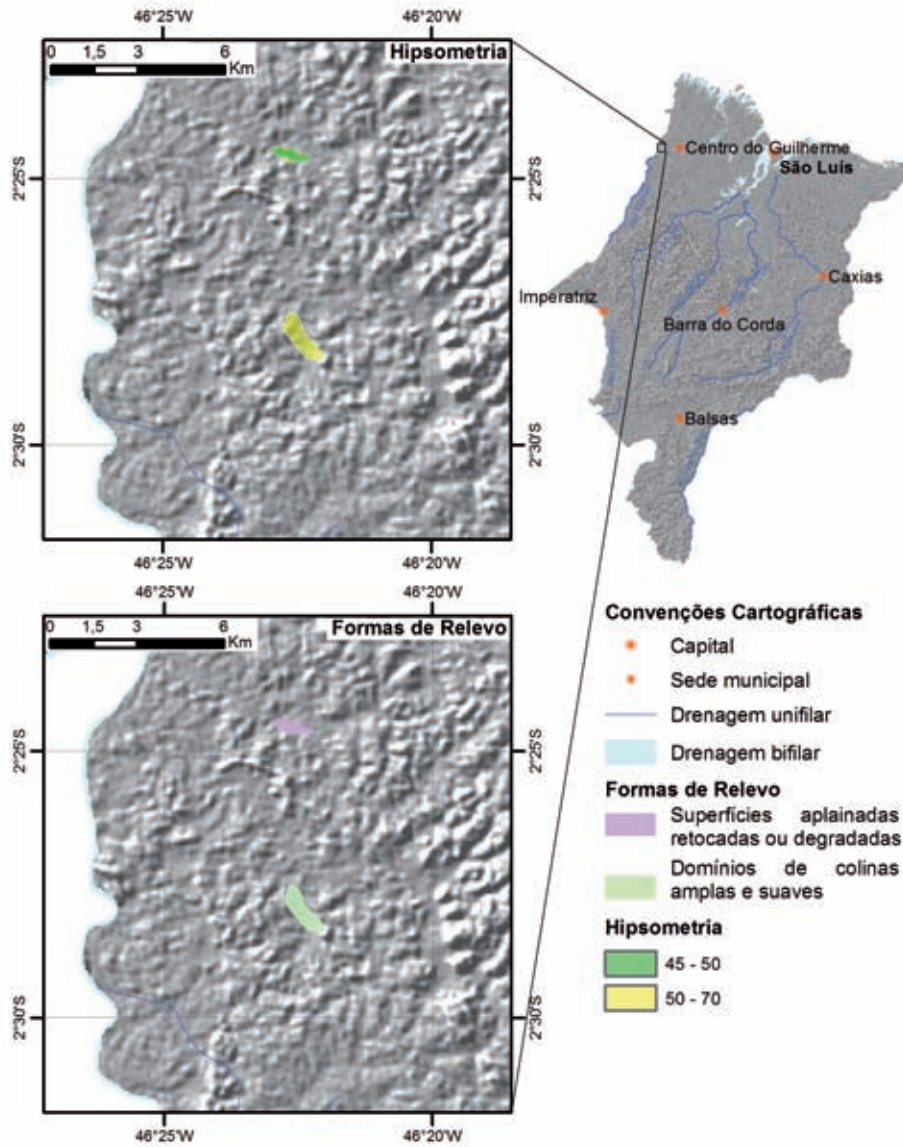


Figura 12.135 - Hipsometria e formas de relevo associadas à unidade geológico-ambiental DCGMGLaf.

argiloso, pode haver um bom aquífero superficial, de fácil exploração e baixo custo. Mas, se o manto de alteração for argiloso, essa potencialidade diminui, pois essa textura desfavorece a permeabilidade e a recarga das águas subterrâneas.

As áreas com potencial aquífero fissural apresentam vulnerabilidade ambiental variável, pois, se não estiverem cobertas por manto de intemperismo, estarão livres para que qualquer fluido contaminador se infiltre, caracterizando-se como área de alta vulnerabilidade. Mas, caso haja uma espessa camada de solo argiloso ou argilossiltoso, essa vulnerabilidade será baixa, pois esse material, naturalmente pouco permeável, funcionará como manto depurador e dificultará que possíveis contaminantes se infiltrem e afetem esses aquíferos.

Ainda que esse domínio se localize em área com precipitações médias anuais entre 1.800 e 2.200 (CPRM, 2011), ele possui baixa rede de drenagem, sendo cortado apenas pelo rio Gurupi (rio interestadual, que separa os estados do

Pará e Maranhão). Essa deficiência hidrológica pode estar relacionada ao relevo pouco declivoso e à moderada a alta porosidade dos solos residuais, que permitem que a água pluvial se infiltre nesses terrenos.

Potencial mineral

Presença de blocos rochosos com características favoráveis para brita. Já as porções de rocha alterada podem ser utilizadas como saibro.

Na porção oeste da unidade DCGMGLmgi, há ocorrência de ouro aluvionar (PASTANA, 1995).

Potencial geoturístico

Esse domínio pode conter potencial geoturístico relacionado às corredeiras no rio Gurupi.

REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, J.M. **Níveis de preparo e de cobertura entre aleias de gandu com milho, com alternativas de melhoramento da qualidade física e do uso intensivo de um argissol da formação Itapecuru-MA.** 1999. 66 f. Dissertação (Mestrado em Agroecologia) – Universidade Estadual do Maranhão, São Luís, 1999.
- ALMEIDA, H.J. de. **Carta geológica folha SA.23-Y São Luís-SO.** Belém: CPRM, 2000. Escala 1:500.000. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil.
- BANDEIRA, I.C.N.; DANTAS, M.E.; THEODOROVICZ, A.; SHINZATO, E. **Mapa geodiversidade do estado do Maranhão.** Teresina: CPRM, 2013.
- CARVALHO, I.S.; AVILLA, L.S.; SALGADO, L. *Amazonsaurus maranhensis* gen. et sp. nov. (Sauropoda, Diplodocoidea) from the lower Cretaceous (Aptian-Albian) of Brazil. **Cretaceous Research**, n. 24, p. 697-713, 2003.
- CARVALHO, I.S.; GONÇALVES, R.A. Pegadas de dinossauros neocretáceas da formação Itapecuru, bacia de São Luís (Maranhão, Brasil). **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 66, n. 3, p. 279-292, 1994.
- COELHO, A.C.V.; SANTOS, P.S.; SANTOS, H.S. Argilas especiais: o que são, caracterização e propriedades. **Química Nova**, São Paulo, v. 30, n. 1, p. 146-152, jan./fev. 2007.
- COSTA, J.L. et al. **Projeto Gurupi.** Belém: DNPM; CPRM, 1977. 258 p. v. 1.
- CPRM. **Atlas pluviométrico do Brasil.** Rio de Janeiro: CPRM, 2011. Escala 1:5.000.000. Sistema de Informações Geográficas (SIG). Programa Geologia do Brasil. Levantamento da Geodiversidade.
- DIAS, G.F. **Educação ambiental: princípios e práticas.** 8. ed. São Paulo: Gaia, 2003. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/arquivos/pdf/saoluiz/saoluiz_mpgeosa23y.pdf>. Acesso em: 15 fev. 2012.
- EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. **Levantamento exploratório: reconhecimento de solos do estado do Maranhão.** Rio de Janeiro, 1986, 964 p. 2 v. Escala 1:1.000.000. (Boletim de pesquisa n. 35).
- FERRAZ JUNIOR, A.S. de L. O cultivo em aleias como alternativa para a produção de alimentos na agricultura familiar do trópico úmido. In: MOURA, E.G. de. (Org.). **Agroambientes de transição: entre o trópico úmido e semiárido maranhense.** São Luís: UEMA, 2006. (Série Agroecologia, v. 1). p. 61-88.
- GÓES, A.M. **A formação Poti (Carbonífero inferior) da bacia do Parnaíba.** 1995. 171 f. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 1995.
- GORAYEB, P.S. de S.; GAUDETTE, H.; MOURA, C.A.V.; ABREU, F. de A.M. de. Geologia e geocronologia da suíte Rosário, nordeste do Brasil, e sua contextualização geotectônica. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v. 29, n. 4, p. 571-578, dez. 1999.
- GUERRA, A.T.; GUERRA, A.J.T. **Novo dicionário geológico-geomorfológico.** 5. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2006.
- IBGE. **Base cartográfica integrada digital do Brasil ao milionésimo.** 2009. Disponível em: <[FTP://geoftp.ibge.gov.br/mapas/Carta_Internacional_ao_Molionesimo](ftp://geoftp.ibge.gov.br/mapas/Carta_Internacional_ao_Molionesimo)>. Acesso em: jun. 2011.
- KLEIN, E.L. **Evolução geológica pré-cambriana e aspectos da metalogênese do ouro do cráton São Luís e do cinturão Gurupi, NE-Pará/NW-Maranhão, Brasil.** 2004. 303 f. Tese (Doutorado em Geociências e Petrologia) – Universidade Federal do Pará, Belém, 2004.
- KLEIN, E.L.; KOPPE, J.C.; MOURA, C.A.V. Geology and geochemistry of the Caxias gold deposit, and geochronology of the gold-hosting Caxias microtonalite, São Luís craton, northern Brazil. **Journal of South American Earth Science**, v. 14, n. 8, p. 837-849, 2002.
- KLEIN, E.L.; LARIZZATTI, J.H.; MARINHO, P.A.C.; ROSA-COSTA, L.T.; LUZARDO, R.; FARACO, M.T.L. **Geologia e recursos minerais da folha Cândido Mendes SA.23-V-D-II, estado do Maranhão: escala 1:100.000.** Belém: CPRM, 2008. 150 p. Programa Geologia do Brasil (PGB).
- KLEIN, E.L.; LOPES, E.C.S. **Geologia e recursos minerais da folha Centro Novo do Maranhão SA.23-Y-B-I, estados do Maranhão e do Pará: escala 1:100.000.** Belém: CPRM, 2011. Programa Geologia do Brasil (PGB).
- KLEIN, E.L.; LOPES, E.C.S. **Projeto metalogenia do cinturão Gurupi.** CPRM: São Luís, 2012. No prelo.
- KLEIN, E.L.; MOURA, C.A.V. Síntese geológica e geocronológica do cráton São Luís e do cinturão Gurupi na região do rio Gurupi (NE-Pará/NW-

- Maranhão). **Geol. USP Sér. Cient.**, São Paulo, v. 3, p. 97-112, ago. 2003.
- KLEIN, E.L.; SOUSA, C. (Org.). **Geologia e recursos minerais do estado do Maranhão**: Sistema de Informações Geográficas (SIG): escala 1:750.000. Belém: CPRM, 2012. No prelo.
- KOTSCHOUBEY, B.; CALAF, J.M.C.; LOBATO, A.C.C.; LEITE, A.S.; AZEVEDO, C.H.D. Caracterização e gênese dos depósitos de bauxita da província bauxitífera de Paragominas, noroeste da bacia do Grajaú, nordeste do Pará/noroeste do Maranhão. In: MARINI, O.J.; QUEIROZ, E.T.; RAMOS, B.W. (Eds.). **Caracterização de depósitos minerais em distritos mineiros da Amazônia**. Brasília, DF: DNPM/FINEP/ADIMB, 2005. p. 691-782.
- LAZARETTI, A.F.; THEODOROVICZ, A.; PINHO, D. **Mapa geodiversidade folha Curitiba**. São Paulo: CPRM, 2010. 1 mapa. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/publique/media/geodiversidade_curitiba.pdf>. Acesso em: 05 set. 2011.
- LEBIGRE, J.M. Les marais maritimes de la baie de São Marcos (Maranhão, Brésil). **Trv. Lab. Geo. Phys. Appl.**, Bordeaux, v. 12, p. 21-35, 1994.
- LIMA, E.A.M.; LEITE, J.F. **Projeto estudo global dos recursos minerais da bacia sedimentar do Parnaíba**: integração geológico-metalogenética. Relatório final, etapa III. Belém: DNPM/CPRM, 1978. 190 p. v. 1.
- LOPES, E.C.S.; KLEIN, E.L. Litofácies da formação Piriá: bacia pós-orogênica ou margem continental do cinturão Gurupi? In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 44., 2008, Curitiba. **Anais...** Curitiba: SBG, 2008. p. 949.
- MARANHÃO. Secretaria de Planejamento e Orçamento. **Zoneamento ecológico-econômico do estado do Maranhão**. São Luís: EMBRAPA, 2001. Disponível em: <<http://www.zee.ma.gov.br>>. Acesso em: abr. 2011.
- MOURA, E.G. de. (Org.). **Agroambientes de transição**: entre o trópico úmido e semiárido maranhense. São Luís: UEMA, 2006. (Série Agroecologia, v. 1).
- NELSON, S.A. Types of metamorphism. In: **Geology 212**: petrology. Tulane, 19 nov. 2003. Disponível em: <<http://www.tulane.edu/~sanelson/geol212/typesmetamorph.htm>>. Acesso em: 15 fev. 2012.
- PASTANA, J.M. do N. (Org.). **Turiaçu, folha SA.23-V-D; Pinheiro, folha SA.23-Y-B**: estados do Pará e Maranhão. Brasília, DF: CPRM, 1995. 240 p. il. Escala 1:250.000. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil.
- PAZ, S.P.A. da. **Caracterização química e mineralógica e aplicações potenciais da bentonita associada a basaltos intemperizados da formação Mosquito, bacia do Parnaíba, sul do Maranhão**. 2010. 105 f. Dissertação (Mestrado em Geoquímica e Petrologia) – Universidade Federal do Pará, Belém, 2010.
- REZENDE, N.A.G.M. **A zona zeolítica da formação Corda, bacia do Parnaíba**. 2002. 142 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Pará, Belém, 2002. 1 CD-ROM.
- RODRIGUES, T.L.N.; FAVILLA, C.A.C.; CAMOZZATO, E.; VERÍSSIMO, L.S. **Bacabal, folha SB.23-X-A**: estado do Maranhão. Escala 1:250.000. Brasília, DF: CPRM, 1994. 124 p. il. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil (PLGB). Programa Grande Carajás.
- SANTOS, M.E.C.M.; CARVALHO, M.S.S. **Paleontologia das bacias do Parnaíba, Grajaú e São Luís**. Rio de Janeiro: CPRM, 2009. 211 p.
- SILVA, M.V.C. **Caracterização reológica da argila bentonítica derivada do intemperismo de basaltos**: formação Mosquito, bacia do Parnaíba, sul do Maranhão. Belém: UFPA, 2011. (Relatório técnico-científico, v. 22, n. 1).
- SOUZA-FILHO, P.W.M. Costa de manguezais de macromaré da Amazônia: cenários morfológicos, mapeamento e quantificação a partir de dados de sensores remotos. **Revista Brasileira de Geofísica**, Rio de Janeiro, v. 23, p. 427-435, 2005.
- SOUZA, S.B. Sistema aquífero da ilha do Maranhão (MA). In: CONGRESSO MUNDIAL INTEGRADO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 1.; CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 11., Fortaleza, 2000. **Anais...** Fortaleza: ABAS/AHLSUD/IAH, 2000. CD-ROM.
- THEODOROVICS, A.M. de G.; THEODOROVICS, A. Geodiversidade: adequabilidades/potencialidades e limitações frente ao uso e à ocupação. In: THEODOROVIZ, A.M. de G.; THEODOROVIZ, A. (Orgs.). **Geodiversidade do estado de Mato Grosso do Sul**. São Paulo: CPRM, 2010. 179 p.; 30 cm + 1 DVD-ROM. Cap. 4. p. 41-134.
- TRUCKENBRODT, W.; CORRÊA, J.A.M. Estudo perrológico de arenitos arcósianos da formação Piriá, pré-Siluriano, região do Gurupi/Pará. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 2., 1985,

Belém. **Anais...** Belém: SBG-Núcleo Norte, 1985. p. 159-167.

TUCCI, C.E.M. **Inundações urbanas**. Porto Alegre: ABRH Rhama, 2007. 350 p.

USGS. **Metamorphic rocks**. 2004. Disponível em: <<http://geomaps.wr.usgs.gov/parks/rxmin/rock3.html>>. Acesso em: 15 fev. 2012.

VALLADARES, G.S.; HOTT, M.C.; QUARTAROLI, C.F.; MIRANDA, E.E.; KLEPKER, D. **Aptidão agrícola das terras do Maranhão**. Campinas, SP: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2007. Mapa. Escala 1:1.000.000. Disponível em: <<http://www.aptdaoma.cnpm.embrapa.br/images/milhao-apt3-125dpi.jpg>>. Acesso em: 20 mar. 2013.

13

CENÁRIOS DA GEODIVERSIDADE DO MARANHÃO

Valter José Marques (*valter.marques@cprm.gov.br*)
Suely Serfaty Marques (*suely.marques@cprm.gov.br*)

CPRM – Serviço Geológico do Brasil

SUMÁRIO

Contextualização	233
Revisão da Literatura.....	233
Cenários	233
Visão sistêmica	233
Tipologia: tipos de cenários	233
Objetivos e aplicação dos cenários	234
Escopo e métodos	234
Dinâmica do Meio Ambiente	235
Introdução	235
Objetivos.....	235
Material e Métodos.....	235
Usos do Território	235
Agronegócio.....	235
Pecuária e piscicultura	236
Turismo	237
Geocoturismo	237
Madeira	237
Minerometalurgia.....	238
Mineração e recursos minerais	238
Usos dos Recursos Naturais	239
Água subterrânea: exploração e proteção	239
Gestão das águas superficiais.....	241
Suscetibilidade a riscos geológicos	241
Restrições e Limitações Ambientais: Zoneamento Ecológico-Econômico	242

Mudanças Climáticas	243
Resultados e Discussões.....	243
Vetores econômicos.....	243
Vetores ambientais	244
Zoneografia dos impactos previsíveis (cenário tendencial)	244
Cenários da Geodiversidade.....	246
Variáveis (Elementos) Determinantes	246
Infraestrutura.....	247
Distritos industriais existentes	247
Distritos industriais projetados	247
Estudos Anteriores.....	247
Condicionantes	247
Zoneamento ecológico-econômico	247
Elementos Constantes: Perspectivas de Sociedade	249
Fatores Emergentes	249
Elementos factuais.....	250
Mudanças Incertas.....	253
Hipóteses (Futuros Alternativos)	254
Incertezas críticas	254
Planejamento Estratégico: Elementos de Análise	254
Referências.....	255

CONTEXTUALIZAÇÃO

Os fenômenos geológicos ocorridos especialmente no Quaternário e sua influência sobre as sociedades humanas, quanto ao seu desenvolvimento, é assunto essencial na adoção de políticas e práticas voltadas para a sustentabilidade econômica, social e ambiental.

No século XVIII, devido ao Renascimento, à Revolução Industrial e ao surgimento da ciência econômica, idealizou-se que o futuro das sociedades poderia ser construído por meio de modelos políticos e econômicos. Assim, por mais de dois séculos imaginou-se ser possível determinar o futuro por meio de formas de governo e gerenciamento que direcionassem a um cenário desejável, caracterizado por crescimento econômico, diminuição da pobreza e conforto coletivo. Contudo, após as duas grandes guerras do século XX, constatou-se que não bastaria planejar o futuro, pois dele dependeria o equilíbrio dos interesses distintos e conflitantes, já que havia diversos atores sociais e econômicos em níveis que se estendiam do local ao mundial.

As sociedades e suas civilizações dependem do meio físico-biótico do território, porém, seu desenvolvimento causa impactos ao meio ambiente. Desse modo, a avaliação dos recursos naturais e a capacidade de suporte ambiental não são suficientes para que se façam estudos sobre sustentabilidade. Há de se aliar vontade e necessidades humanas, materiais, mentais e espirituais, assunto abordado pela Neuroeconomia – campo interdisciplinar que busca explicar as decisões humanas, isto é, a habilidade de fazer escolhas em processos com múltiplas alternativas, o que aporta novas luzes com respeito ao necessário e ao possível no que tange ao desenvolvimento sustentável.

Graças ao surgimento de novas abordagens interdisciplinares nos campos da Biologia, Neurologia e Economia, foi possível a criação de ferramentas capazes de representar seus planos de rebatimento – destacando-se o que se convencionou denominar Cenários ou Cenários Prospectivos Futuros – assunto objeto deste capítulo.

REVISÃO DA LITERATURA

Cenários

Cenários antevêm fatos alternativos que poderão ocorrer em um dado sistema e que transformarão a cena atual (diagnosticada) em um novo estado de coisas. São alicerçados por informações científicas e aplicação de técnicas bem conhecidas e descritas, conjugadas por meio de processo testado e bem definido. Quanto à abordagem (processo), os cenários dividem-se em normativos e exploratórios ou prospectivos. Os cenários prospectivos (múltiplos) são os mais recomendados, haja vista a compreensão mundial adquirida (“aldeia global”), sobremaneira com a invenção da Internet.

Neste trabalho, adotou-se a visão de Godet (1985), de que “cenários são configurações de imagens do futuro, desenhadas com base em jogos coerentes de hipóteses sobre o desempenho de variáveis centrais que determinam o objeto”.

Visão sistêmica

Como premissa, as análises territoriais deverão abordar as interações e resultantes dos múltiplos e complexos sistemas. Cada sistema ou subsistema constitui-se de variáveis que se dividem em fatores estruturantes e processos. São fatores estruturantes, dentre outros, os recursos naturais, como o clima e as habilidades ou deficiências sociais. Os processos, por sua vez, referem-se a mudanças climáticas, sociais ou tecnológicas, de forma a condicionar o futuro do *território* entendido como espaço geográfico construído. Para fins analíticos, devem-se considerar as mudanças quanto ao seu grau de incerteza, intensidade e pertinência. Assim, condicionantes invariantes representam pequenas incertezas; quando a incerteza é grande, os condicionantes são denominados “fatos portadores de futuro”, cujo desdobramento é desconhecido, apesar de relevante. Classificam-se as variáveis que configuram um sistema territorial segundo o seu caráter endógeno ou exógeno, dependendo da origem do poder decisório. Entrementes, embora haja situações ambíguas, a análise trará melhor entendimento da dinâmica dos fatos que poderão ocorrer.

Tipologia: tipos de cenários

Admitem-se duas grandes classes de cenários: normativos e exploratórios, sendo que a segunda classe compreende subdivisões (Figura 13.1).

Os cenários normativos configuram futuros desejados, exprimindo sempre a vontade ou o compromisso de um ator ou de uma coalizão específica de atores em relação a certos objetivos ou projetos. Sua lógica de construção se baseia na determinação do futuro desejado e na posterior definição de como alcançá-lo a partir de uma situação atual.

Os cenários exploratórios trabalham com probabilidades de futuros possíveis. Do ponto de vista de sua utilização, permitem configurar os cenários mais prováveis, sendo

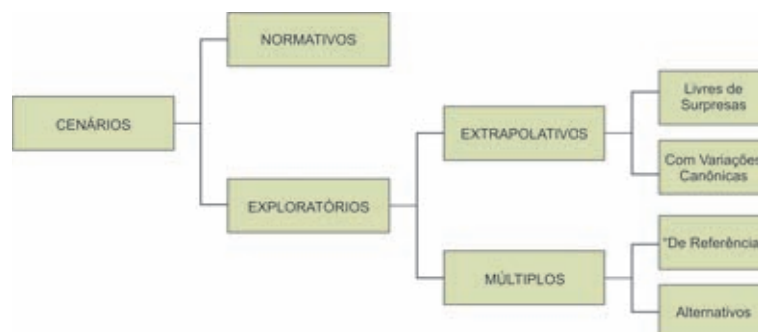


Figura 13.1 - Tipologia dos cenários.

imprescindíveis ao planejamento regional, já que norteiam as ações sub-regionais e locais.

Ao final da elaboração dos “cenários exploratórios”, o melhor cenário possível acaba sendo adotado como um cenário normativo a ser perseguido.

Devem-se, ainda, distinguir três níveis de abrangência: (a) macro: cenários mundiais, nacionais ou regionais; (b) intermediário ou setorial: cenários de segmentos ou ambiente de negócios específicos; (c) micro: cenários focalizados em decisões ou decisões estratégicas corporativas.

Objetivos e aplicação dos cenários

Dentre os principais objetivos dos estudos de cenarização, destacam-se:

- Estabelecimento de limites de exploração sustentável.
- Custos e benefícios da exploração econômica.
- Cruzamento dos impactos.
- Precondicionantes de políticas públicas.
- Sugestão de medidas preventivas, corretivas e mitigatórias.
- Atuação como instrumento democrático para formulação de pactos sociais entre diversos agentes públicos e atores sociais.

A gestão territorial encontra-se no impasse caracterizado por visões conservacionistas *versus* desenvolvimentistas, e as formas disseminadas de planejamento não conseguem gerenciar esse conflito. Por suas características e resultados, os cenários ajudam significativamente na construção de um futuro melhor, que conjugue desenvolvimento socioeconômico e conservação ambiental.

Escopo e métodos

Os procedimentos adotados para cenarizar os recursos da geodiversidade do estado do Maranhão baseiam-se em

metodologia e recomendações adotadas para cenarização dos territórios visualizados pelo Zoneamento Ecológico-Econômico do Brasil – ZEE Brasil. O Consórcio ZEE Brasil, coordenado pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA), por intermédio da CPRM/SGB, desempenhou papel de liderança na agregação de técnicas de planejamento estratégico, via cenários, para a metodologia do ZEE. No período de 2006 a 2009, os autores deste capítulo, por meio de convênio entre o estado do Maranhão e o Ministério do Meio Ambiente, desenvolveram trabalhos objetivando inserir a cenarização no Zoneamento Ecológico-Econômico (ZEE) do referido estado. Para tanto, realizaram-se oficinas e treinamento *on-the-job*, a partir dos quais se estabeleceram estreitas e profícuas relações profissionais com pesquisadores e técnicos da comunidade estadual, especialmente com pesquisadores da Universidade Estadual do Maranhão (UEMA) e técnicos de diversas secretarias de Estado.

A abordagem enfocada na geodiversidade refere-se a recursos “não vivos”, analisando sua relação com os demais componentes ambientais. Os debates ocorridos durante as oficinas encontram-se subjacentes em algumas das construções ora apresentadas.

Um sumário metodológico dos possíveis cenários atinentes aos recursos da geodiversidade do estado do Maranhão é apresentado na Figura 13.2.

Tendo como estratégia estreitar o foco das investigações de cenarização, agruparam-se as informações temáticas em banco de dados, geoprocessando-as, de modo a se identificar situações tipificadas por variáveis essenciais ao planejamento territorial, tais como: (i) localização das potencialidades; (ii) fragilidades dos diferentes recursos ambientais; (iii) usos potenciais do território; (iv) áreas de conservação do Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza (SNUC); (v) áreas de uso restrito pelo Código Florestal; (vi) áreas de proteção permanente; (vii) zonas de conflitos potenciais ou existentes; (viii) áreas de uso econômico; (ix) áreas destinadas a “reservas de futuro”.

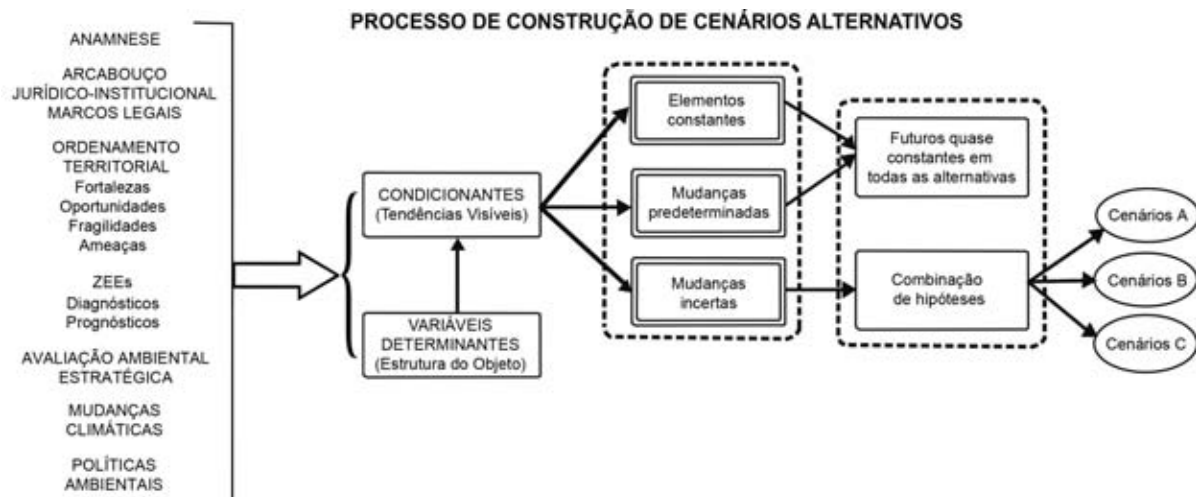


Figura 13.2 - Metodologia e técnicas de construção de cenários
 Fonte: Modificado de Buarque (2003).

DINÂMICA DO MEIO AMBIENTE

Introdução

Para melhor diagnóstico e prognóstico quanto ao futuro dos componentes ambientais (econômicos, sociais e naturais), faz-se necessária uma perspectiva integrada dos diversos elementos, sob uma concepção sistêmica.

Objetivos

Objetiva-se selecionar interseções lógicas – variáveis essenciais, sob a perspectiva sistêmica –, que propiciem a formulação de políticas e ações estratégicas, com vistas a um futuro o mais sustentável possível. Para tanto, identificaram-se os elementos de interligação e conexão entre os diversos componentes – bióticos, abióticos e sociais –, possibilitando uma análise sintética da questão ambiental.

Material e Métodos

Reuniram-se as informações ambientais disponíveis no GeoBank (sistema de banco de dados geológicos corporativo da CPRM/SGB), complementando-as com aquelas provenientes de pesquisas bibliográficas, interações com parceiros institucionais e comunidade científica. Quando

georreferenciadas, processaram-se tais informações em ambiente computacional (ArcGIS), visando ao aporte de modelos capazes de estabelecer conexões entre os diversos assuntos temáticos. Igualmente, devem-se relevar as discussões verbais e o acesso a trabalhos referenciais das equipes técnicas da CPRM/SGB e de instituições atuantes no Maranhão.

Usos do Território

Os cenários econômicos alternativos elaborados por ELETRONORTE (2006, 2008) e FIEMA (2009) expressam as intenções de uso e ocupação para o território maranhense nas próximas duas décadas. Esses estudos negligenciaram o papel da mineração, o que se justifica ante o fato de que somente nos últimos cinco anos essa atividade veio a se sobressair. Quanto ao valor econômico do meio ambiente, dos serviços ambientais e oportunidades econômicas envolvidas, também há uma desconsideração histórica.

Agronegócio

Além de sediar importantes corredores de exportação de *commodities* agrícolas, o Maranhão deverá abrigar polos agroindustriais nas regiões centrais e sul, onde se concentram – e deverão se expandir – as atividades agrícolas (soja e grãos), incluindo a pecuária (Figura 13.3). Nesse cenário,

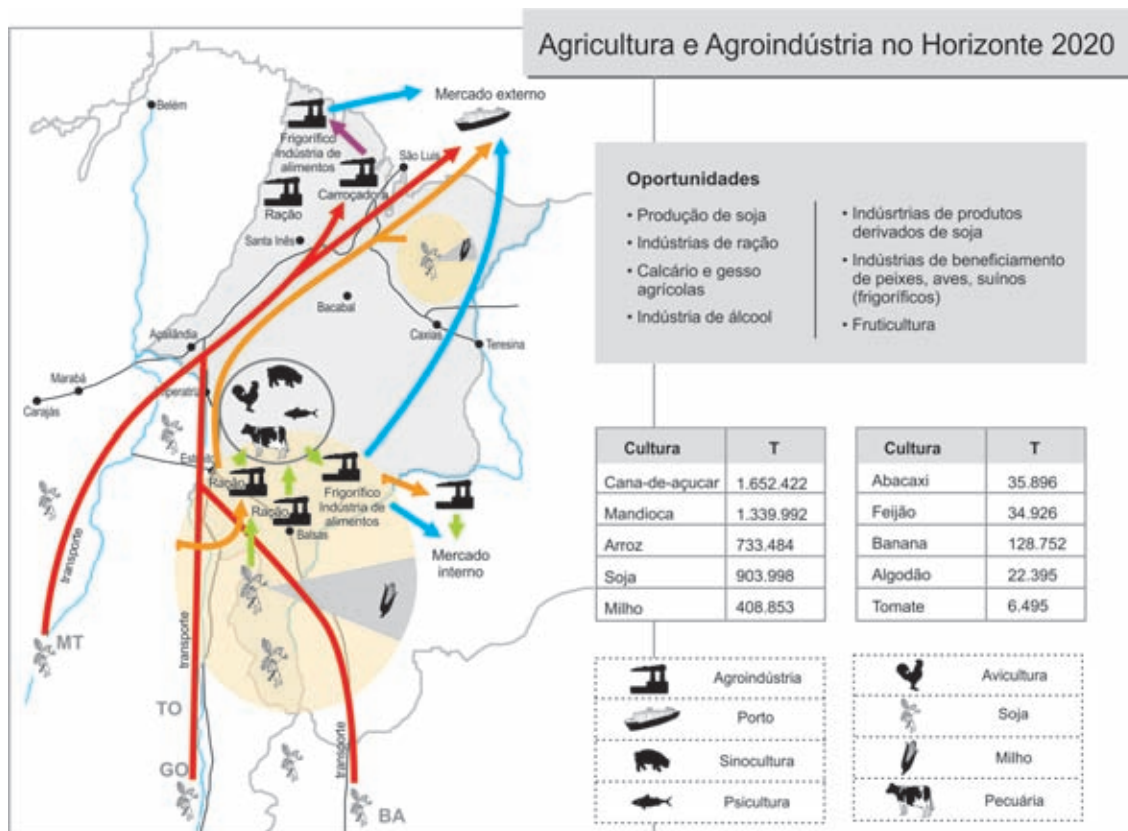


Figura 13.3 - Polos de desenvolvimento de agricultura e agroindústria no Maranhão. Fonte: Maranhão (2006).

é previsível o aumento da demanda por agrominerais e recursos hídricos em quantitativos que precisam ser estimados para que se formulem estratégias e planos setoriais.

As vantagens comparativas representadas pelos posicionamentos geográficos e à rede logística de transporte sobrepõem-se variadas condições de aptidão agrícola, que incluem vastos territórios com excelentes condições para práticas dos mais diversos tipos de agronegócio, inclusive produção extensiva de grãos no sul-sudeste do estado (Figura 13.4). Cabe ressaltar que as práticas agrícolas possíveis nos solos das classes 2 e 3, os mais abundantes, requerem a aplicação de agrominerais que deve ser praticada utilizando-se processos que aumentem a sustentabilidade econômica mas que também atendam aos aspectos da sustentabilidade ambiental. Tais pré-requisitos de sustentabilidade somente poderão ser cumpridos por meio de políticas específicas envolvendo múltiplos setores da sociedade, que vão da pesquisa geológica e mineração à pesquisa científica e à formação de recursos humanos.

O atual cenário tendencial aponta para a degradação progressiva dos solos.

Pecuária e piscicultura

Com respeito à criação de gado e à piscicultura (Figura 13.5), deve-se considerar que, na porção centro-ocidental, a estratégia é a da verticalização da pecuária, visando à agregação de valor. Tal enfoque implica a implantação de frigoríficos, laticínios e curtumes, atividades demandadoras de recursos hídricos e com histórico (tradição) de poluidoras de mananciais superficiais e subterrâneos.

Na orla marinha, a pesca, a maricultura e a piscicultura disputarão espaço físico e recursos hídricos com outras atividades projetadas para a região, como turismo, infraestrutura e urbanização. A demanda por recursos minerais para a construção civil deverá pressionar a sustentabilidade ambiental, cenário que aponta para a necessidade de planejamento calcado nos recursos da geodiversidade, pre-

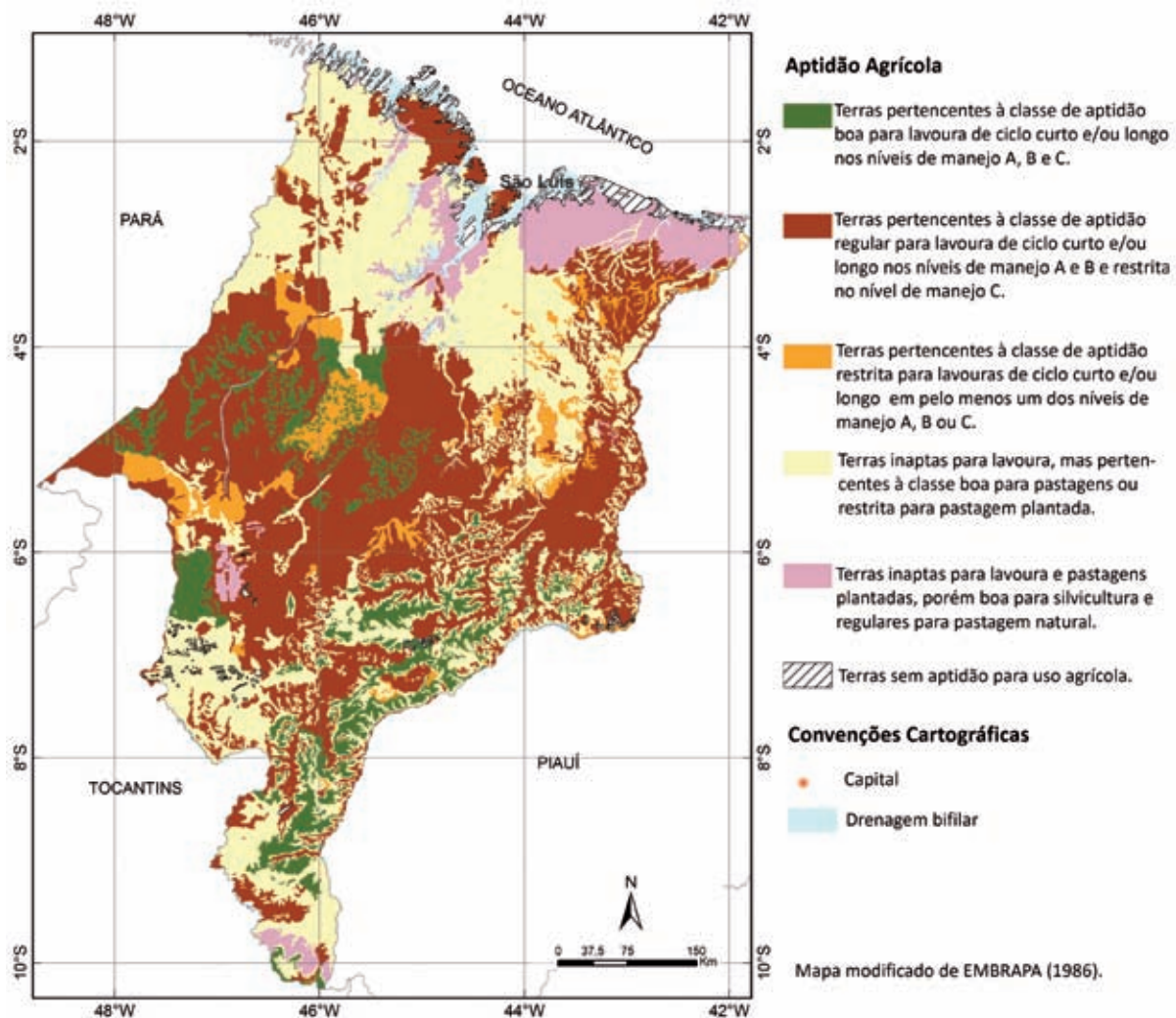


Figura 13.4 - Mapa de aptidão agrícola do estado do Maranhão.

cisando, naturalmente, de uma boa avaliação dos riscos geológicos.

Turismo

O crescimento e a sustentabilidade dessa atividade dependerão dos recursos ambientais e da oferta de excelentes condições de vida, implicando, dentre outras, a conservação de mananciais superficiais e subterrâneos, implantação de esgotamento sanitário, excelência da rede viária e hidroviária. A atividade turística prevista demandará recursos hídricos de qualidade, bem como grande quantidade de materiais de construção. Tendo em vista que nesse território haverá expansão de outros vetores econômicos, como piscicultura, pesca, maricultura, carcinicultura e suas indústrias, torna-se iminente a elaboração de um planejamento integrado. O conhecimento científico e os modelos a serem adotados, naturalmente, deverão apoiar-se nos resultados adquiridos com informações em escala de detalhe (Figura 13.6).

Geocoturismo

Os atrativos geoturísticos representam uma nova abordagem, importante, sobretudo, em regiões economicamente deprimidas, como é o caso do nordeste do estado. Na região litorânea, vem se somar a outros vetores do desenvolvimento econômico. O seu desenvolvimento depende, em grande parte, da melhoria do atual nível do conhecimento geocientífico, de forma a motivar a visitação, assim como sua sustentabilidade depende da proteção ao patrimônio natural. O desenvolvimento desse potencial, até agora dormente, dependerá de formulação e implementação de políticas específicas, cuja maturação demandará cerca de uma década.

Dentre os impactos positivos previsíveis, está a geração de empregos locais a baixo custo, distribuição de renda, melhoria da autoestima das populações envolvidas. Quanto aos impactos ambientais, estes podem ser controlados com relativa facilidade e deverão ser compensados pelos benefícios diretos e indiretos desse tipo de atividade.

Madeira

Prevê-se a implantação de polos madeiros e indústrias de papel e celulose na porção central do estado, onde, também, projetam-se polos para verticalização de produtos agrícolas e pecuários. A resultante consistirá no aumento

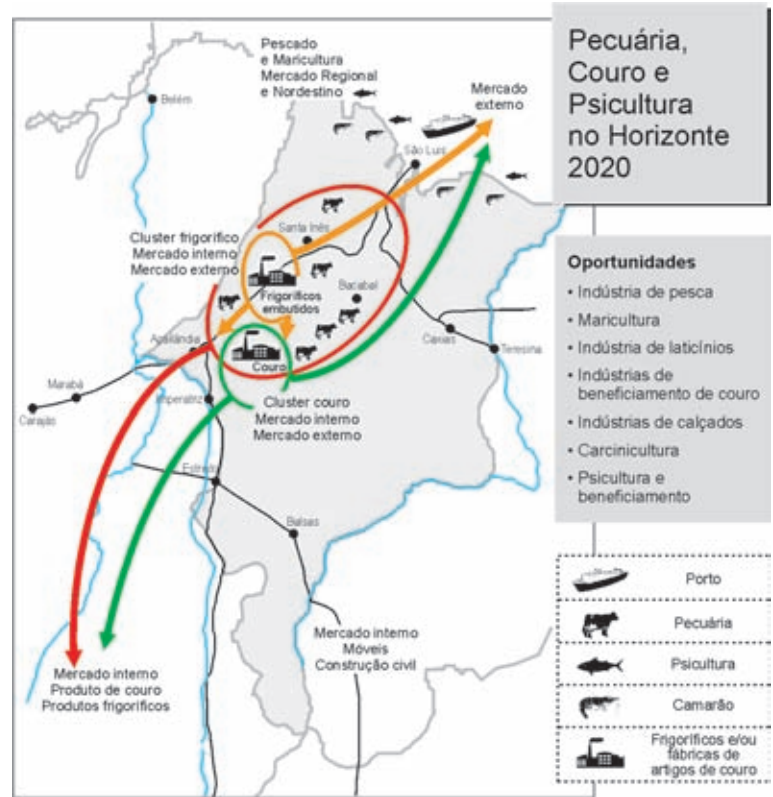


Figura 13.5 - Polos de desenvolvimento da pecuária e piscicultura no estado do Maranhão. Fonte: Maranhão (2006).

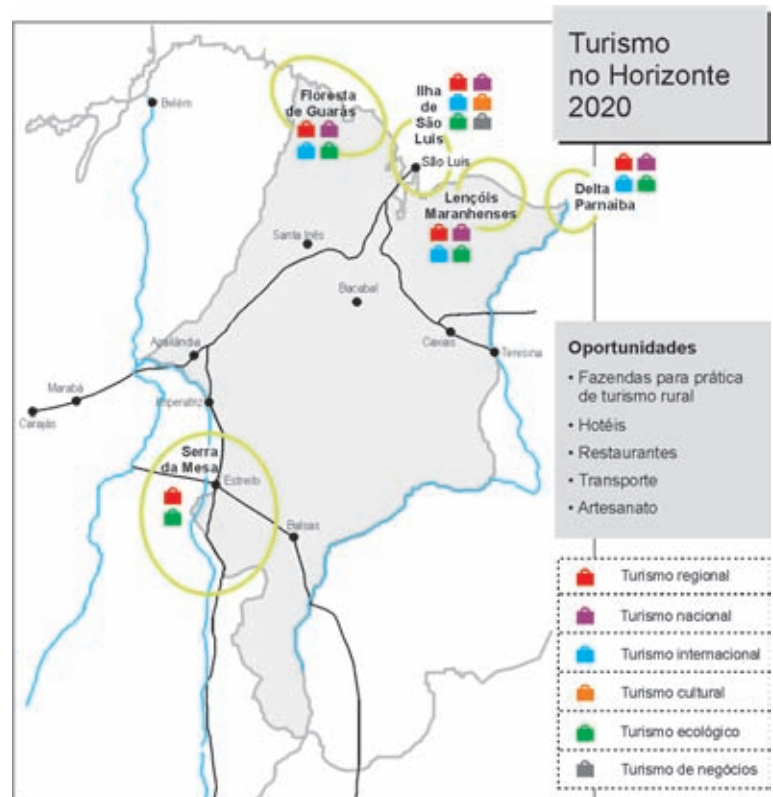


Figura 13.6 - Oportunidades para a indústria de turismo no estado do Maranhão. Fonte: Maranhão (2006).

da demanda por recursos hídricos e materiais para a construção civil. A diversificação econômica e o conseqüente conflito de interesses exigirão planos integrados e avaliação dos recursos hídricos e minerais. A necessária ampliação da rede de estradas e espaços para moradia e instalação de outras infraestruturas deverão levar em conta as limitações e potencialidades geotécnicas do solo e subsolo. Esse assunto é uma grande preocupação da administração pública e a CPRM/SGB vem sendo convocada a participar no mapeamento das vulnerabilidades e riscos geológicos. Nesses termos, é consenso que planejar e programar projetos, com base nas características dos terrenos, é providência essencial tanto do ponto de vista econômico como social, com rebatimentos na conservação dos serviços ambientais (Figura 13.7).

Minerometalurgia

O desenvolvimento previsto para essa atividade se baseia em insumos minerais provenientes do estado do Pará e deverá se concentrar na faixa compreendida entre Açailândia e a região noroeste e seu litoral, aproveitando a infraestrutura logística existente. A construção de plantas siderúrgicas e a verticalização de minérios de alumínio contribuirão para aumento da demanda por recursos hídricos, minerais industriais e materiais de construção civil, reforçando a necessidade de bons planos quanto ao uso e à ocupação desse território. Há de se destacar o surgimento de novos vetores de crescimento econômico e social, representados pelo distrito aurífero no extremo noroeste do estado e pelo firme crescimento da exploração de gesso em Grajaú e Codó. Novas oportunidades econômicas para o setor mineral dependerão de estudos geológicos em escalas de médio detalhe, já que os conhecimentos atuais somente permitem a compreensão dos macrocomponentes geológicos (Figura 13.8).

Mineração e recursos minerais

A indústria extrativa mineral no Maranhão está representada pela exploração de ouro no baixo rio Gurupi, porção noroeste do estado, gipsita (Grajaú e Codó) e calcário para cimento ou corretivo de solos, além de materiais de construção (distribuídos nas porções setentrional e ocidental de parte do território). Reportam-se, ainda, reservas de bauxita metalúrgica em Bom Jardim, Carutapera e Açailândia (Figura 13.9).

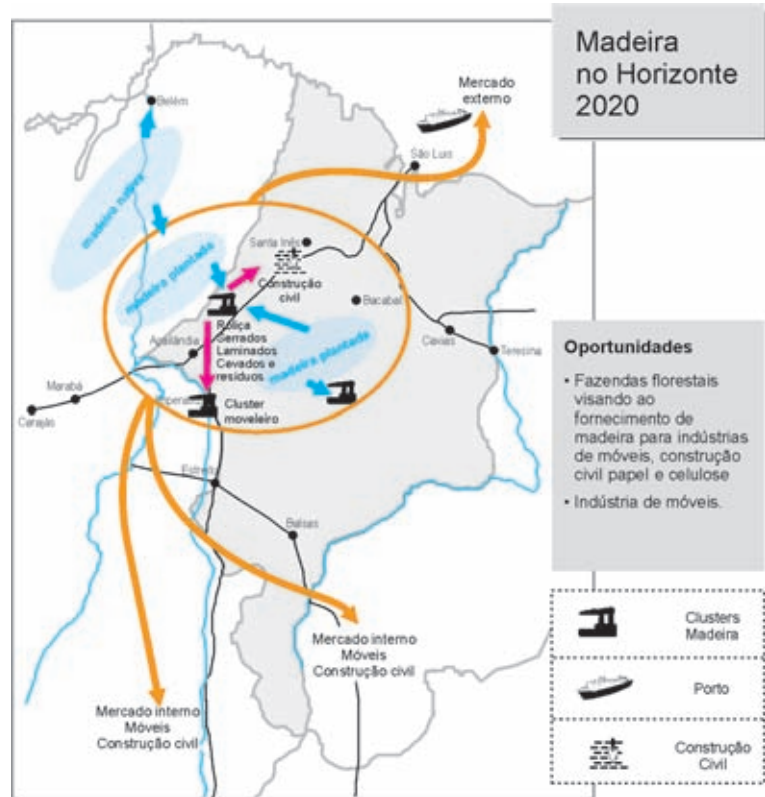


Figura 13.7 - Áreas favoráveis ao plantio de florestas no estado do Maranhão. Fonte: Maranhão (2006).

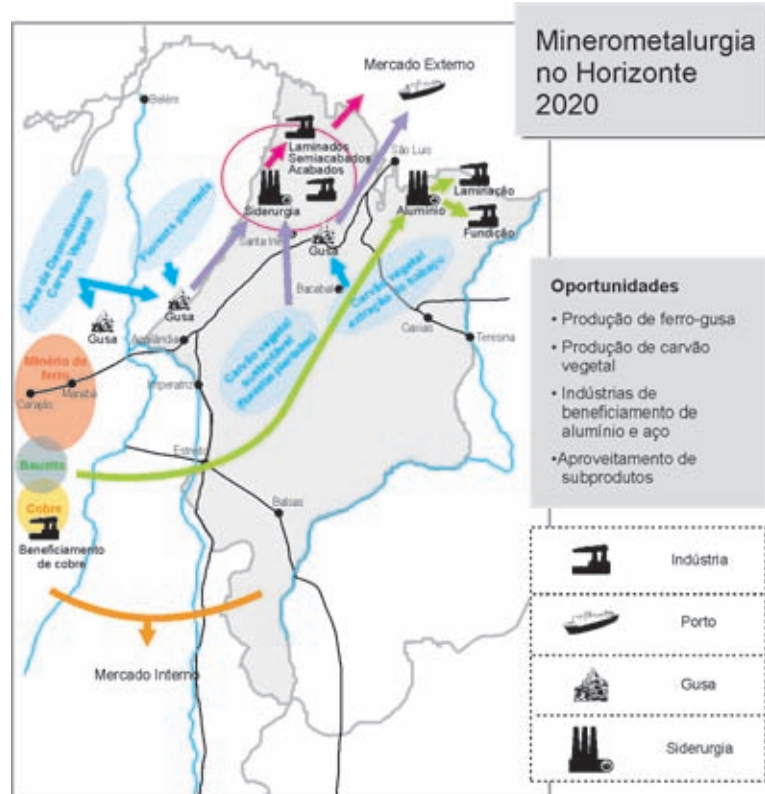


Figura 13.8 - Polos minerometalúrgicos no estado do Maranhão. Fonte: Maranhão (2006).

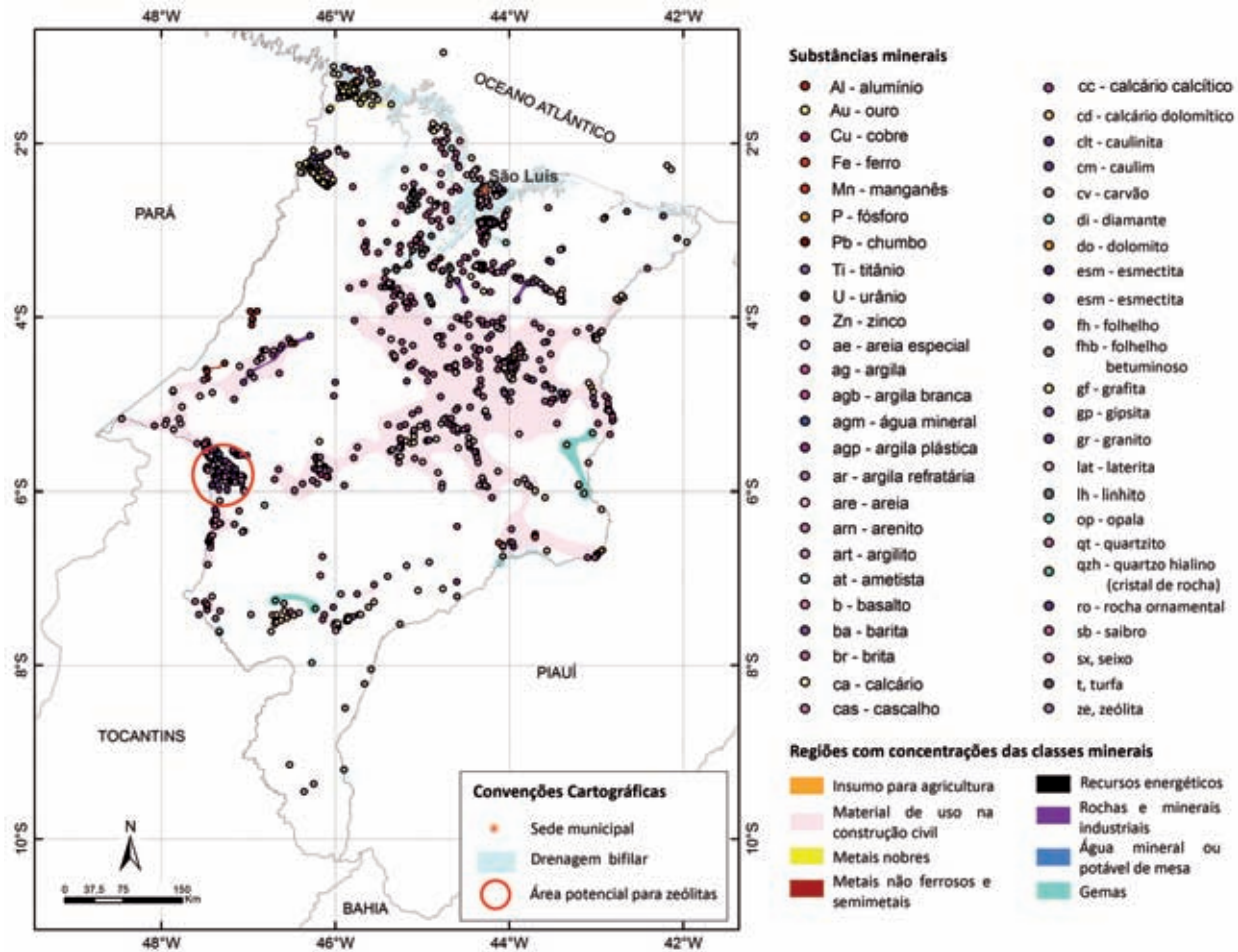


Figura 13.9 - Potencialidade mineral do estado do Maranhão.
Fonte: Bandeira et al. (2013).

No que tange aos levantamentos geológicos, notícias referentes ao potencial mineral vêm revelando potencialidades para petróleo e gás na plataforma continental e na Bacia Sedimentar do Parnaíba.

Quanto ao uso de pó de rocha como corretivo ou remineralizador de solos, há excelente potencial, representado por extensos derrames de rochas básicas e formações sedimentares com ocorrência de zeólitas, carbonatos e fosfato na porção centro-sul do estado. Estudos tecnológicos voltados para o uso desse tipo de matéria-prima, realizados pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) e apoiados pela CPRM/SGB, apontam melhorias no que concerne à sustentabilidade ambiental, com utilização de matérias-primas locais, como também redução da dependência de *commodities* estratégicas.

Existem, no Maranhão, áreas com concentração de ocorrências de gemas e minerais industriais e minerais energéticos, como a turfa, cuja potencialidade precisa ser mais bem desvendada. Conquanto não se espere (?) a descoberta de depósitos de classe internacional, há potencial de oportunidades para a inclusão social de vastos segmentos populacionais de baixa renda.

Usos dos Recursos Naturais

Água subterrânea: exploração e proteção

A água pode ser considerada o bem mineral mais precioso do planeta e, nesse aspecto, o Maranhão apresenta-se como um território privilegiado por seus recursos hídricos superficiais e subterrâneos, caracterizados por uma reserva estratégica de água nobre, podendo ser aproveitada para o abastecimento humano e as mais diversas atividades econômicas. É importante que se tenha em vista que as águas subterrâneas, quando adequadas ao consumo humano, dispensam a implantação de estações de tratamento, implicando economia de recursos públicos. Em outros casos, as águas contidas em aquíferos profundos, aquecidas segundo o grau geotérmico, podem ser utilizadas em processos industriais com expressiva economia de energia.

Uma rápida visualização quanto à natureza e distribuição geográfica dos aquíferos subterrâneos é apresentada na Figura 13.10, cabendo observar que os aquíferos contidos nas formações cenozoicas são os que

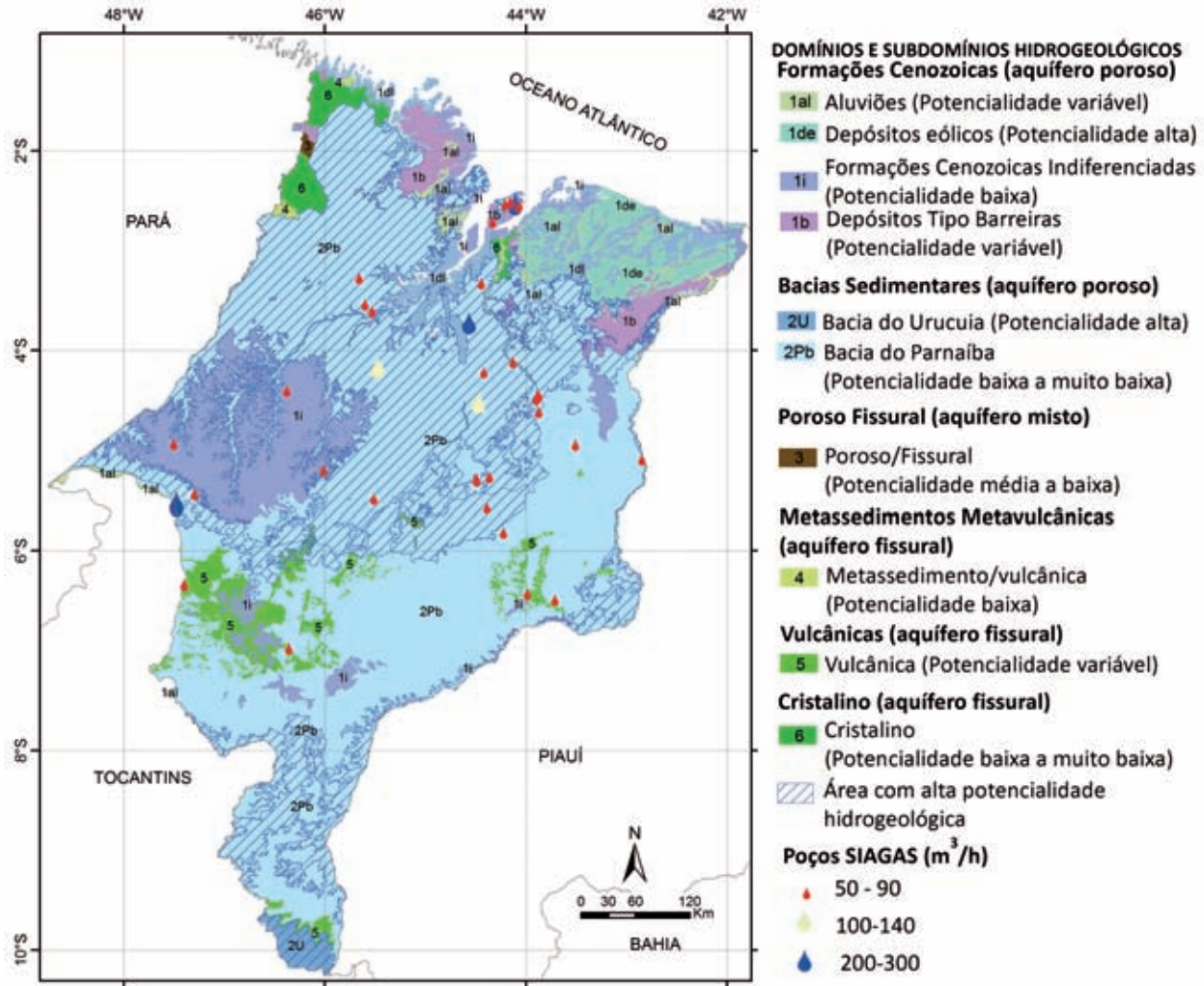


Figura 13.10 - Favorabilidade hidrogeológica do estado do Maranhão.
Fonte: Bandeira et al. (2013).

demandam maiores cuidados no que respeita ao seu uso e conservação.

Considerando-se que as águas subterrâneas são, quase sempre, um recurso não renovável (em tempos históricos), a sua correta utilização exigirá conhecimentos científicos e planos de manejo adequados. Especial cuidado deve ser dedicado aos aquíferos porosos das áreas costeiras, em face de sua importância para o consumo humano, já que sua exposição às atividades econômicas representa extrema fragilidade à contaminação, seja por efluentes ou irreversível salinização pelo mar.

Segundo artigo publicado pela Academia Brasileira de Ciências (DESAFIOS..., 2012), as estratégias para uso das águas subterrâneas pelos países deveriam incluir, pelo menos:

“ - a necessidade de um programa de obtenção de informações geológicas e hidrogeológicas, com mapeamentos sistemáticos, com banco de dados (incluindo cadastro de poços e mananciais) para o acesso aberto de informações;

- o aumento da participação das águas subterrâneas no planejamento de uso do solo, reduzindo os impactos das atividades antrópicas no solo e aquíferos;
- o planejamento do uso da água, considerando o manejo do armazenamento de aquíferos e não se restringindo à contabilidade de entradas e saídas;
- o entendimento melhorado dos efeitos da mudança climática nas águas subterrâneas;
- a avaliação das opções de manejo de aquíferos transfronteiriços;
- o aumento da capacidade de formação e preparação de pessoal técnico em vários níveis e, particularmente, na gestão das águas subterrâneas, através de programas.

As águas subterrâneas devem ser apresentadas como uma solução para os problemas da sociedade, e não apenas mais um problema adicional de difícil solução.”

Gestão das águas superficiais

Quanto aos recursos hídricos superficiais, estes se distribuem em 11 bacias. As maiores nascem nos extensos chapadões do sul do estado, chamando a atenção o controle exercido pelos arcos do embasamento na localização de suas nascentes. Nelas se verifica a prática da agricultura intensiva para produção de grãos. Os rios correm no sentido norte-sul e deságuam diretamente no mar. No curso médio dessas bacias, representa-se o uso da terra pela pecuária e polos de agroindustrialização. Desse condicionamento geográfico-econômico conclui-se que as dinâmicas fluviais e a qualidade das águas redundam na acumulação de impactos ambientais, que, ao final, interagem com a dinâmica marinha e costeira. Dessa forma, a capacidade de suporte ambiental nos baixos cursos é afetada por usos praticados a centenas de quilômetros. O futuro da qualidade das águas superficiais está na dependência direta da capacidade de se realizar o gerenciamento global das respectivas bacias.

Políticas estaduais para os recursos hídricos e implementação de comitês de bacias fazem parte do conjunto de ferramentas a serem formuladas e aplicadas. O atual cenário tendencial predominante é o de progressiva degradação dos recursos hídricos superficiais (Figura 13.11).

Suscetibilidade a riscos geológicos

Com o crescimento populacional e a concentração urbana, que datam dos últimos 40 anos, surgiu um novo vetor de desastres nacionais, oriundo de inundações graduais e deslizamentos de encostas, decorrentes da alocação de populações em áreas geologicamente instáveis. A partir dessa configuração, desenvolveram-se modelos de suscetibilidade a riscos (Figura 13.12) que indicam o grau de vulnerabilidade a tais fenômenos. Esse tipo de informação deve ser agregado aos planos diretores municipais, bem como ser utilizado na alocação de infraestruturas, de modo a se evitar grande número de perdas materiais e de vidas humanas.



Figura 13.11 - Bacias hidrográficas do estado do Maranhão.
Fonte: Modificado de ANA (2006).

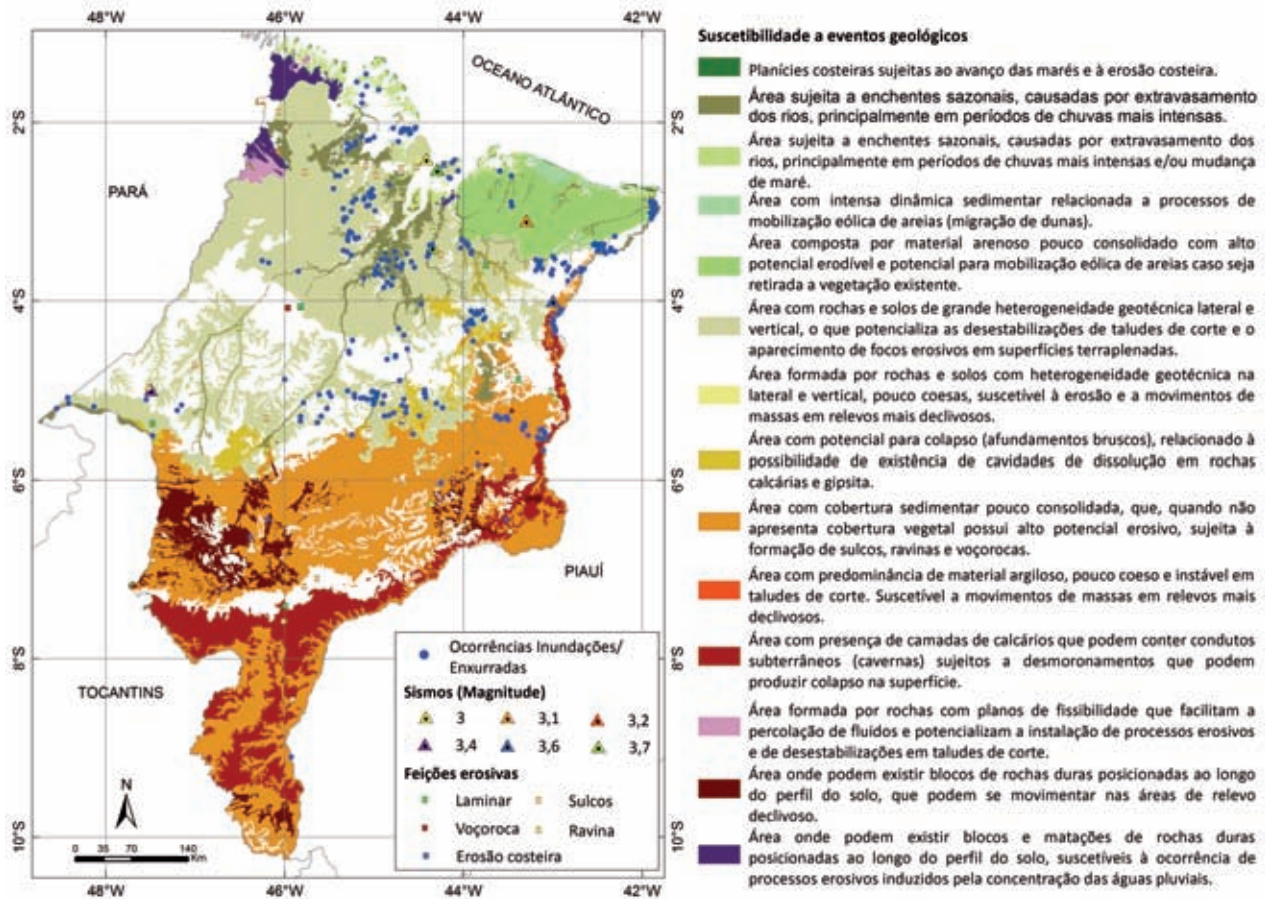


Figura 13.12 - Áreas com suscetibilidade a eventos geológicos no estado do Maranhão. Fonte: Bandeira et al. (2013).

Conquanto em nível regional, as informações apresentadas nesse mapa elaborado pela CPRM/SGB e disponível no GeoBank agregam diversos componentes capazes de realçar os riscos ao uso e à ocupação, tais como: características geotécnicas dos solos, tipo de erosão, sismicidade e inundações/enxurradas. Tais informações são de grande valor para o planejamento da infraestrutura logística e ocupação do território maranhense. No que respeita ao futuro, a questão a ser colocada é em que medida essas recomendações serão consideradas nos planejamentos regionais e locais. Embora o Governo Federal tenha implantado, recentemente, sistemas de mapeamento e monitoramento de desastres naturais, recomenda-se que esses sistemas sejam replicados em nível estadual e mesmo local, no intuito de se evitarem perdas econômicas e de vidas, estas insubstituíveis. Apesar de as cenas passadas terem sido repletas de perdas lastimáveis, o futuro apresenta-se promissor no sentido de que foram desenvolvidas tecnologias capazes de aparelhar o enfrentamento dos desastres naturais. Cabe, pois, aos atores sociais e aos agentes públicos tomarem decisões coerentes com o atual *status* de consciência com relação a essa problemática.

Restrições e Limitações Ambientais: Zoneamento Ecológico-Econômico

Segundo as recomendações metodológicas do Ministério do Meio Ambiente (MMA), o zoneamento ecológico-econômico do estado do Maranhão é compatível com a escala ao milionésimo (Figura 13.13). Dele se destacam: (i) a região costeira é reconhecida como área de risco notável e, por isso, nela foram implantadas muitas áreas de conservação, cujos planos diretores demandam informações especializadas; (ii) nas áreas “a recuperar ou reordenar”, foram reconhecidas condições ambientais instáveis perante os atuais processos de ocupação, devendo ser envidados esforços no sentido de se estabelecerem planos de manejo sustentáveis; (iii) as “áreas frágeis” apontam territórios que requerem cuidados com intervenções humanas.

Até o momento, o desenvolvimento econômico do Maranhão se deu sem que se dispusesse dessa importante ferramenta, que permite o rebatimento das considerações econômicas e ambientais em um único plano. As consequências desse tipo de carência são bem conhecidas de todos e cabe, agora, tomar uma decisão importante e difícil, qual seja a de adequar a

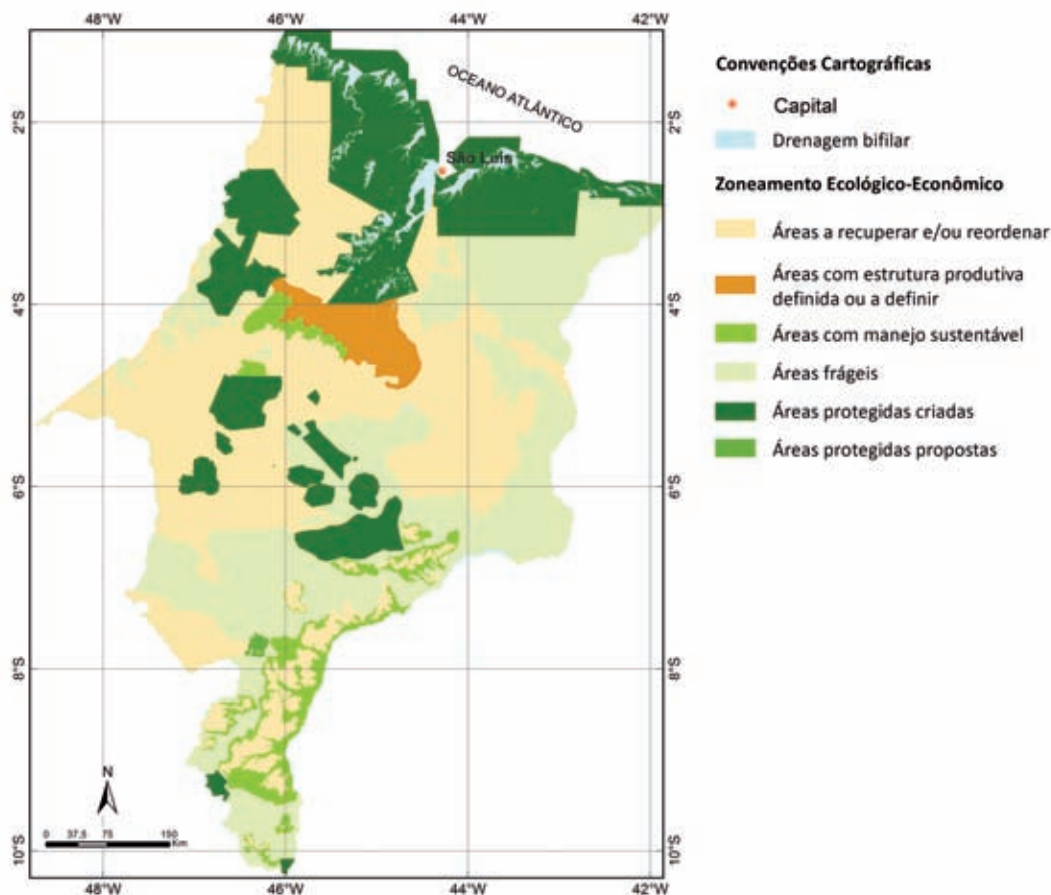


Figura 13.13 - Mapa do zoneamento ecológico-econômico do estado do Maranhão.

Fonte: Disponível em: <<http://mapas.mma.gov.br/i3geo/datadownload.htm>>. Acesso em: abr. 2011.

conservação dos serviços ambientais e da biodiversidade ao necessário desenvolvimento econômico, buscando-se corrigir ou minimizar os impactos já existentes, aproveitar as oportunidades e prevenir novos impactos negativos. O grau de eficiência e eficácia na gestão desses propósitos influenciará grandemente as cenas futuras. O grau de incerteza quanto a esse aspecto é bem alto, proporcional às dificuldades de se romperem antigos paradigmas. Por tudo o que foi explanado neste capítulo, pode-se inferir que o “mapa de zoneamento ecológico-econômico”, isoladamente, não conduzirá a um estágio de grande eficiência no trato do desenvolvimento sustentável, por ele precisar estar acompanhado de outros instrumentos, como aqueles requeridos para a gestão dos recursos hídricos e minerais, solos e ocupação do território.

Mudanças Climáticas

Um tema de grande repercussão nos meios científicos é a questão das mudanças climáticas e seus impactos sobre a sustentabilidade territorial. Embora entre os geocientistas predomine a opinião de que é prematuro afirmar que haja tendência ao aquecimento global, não se pode deixar de recomendar atitudes prudentes com respeito ao

assunto. Não cabe, portanto, debater-se quanto à validade ou não dos modelos até agora publicados. Em vez disso, recomenda-se a adoção de medidas preventivas, sobretudo com respeito aos recursos hídricos, especialmente no que tange aos aquíferos subterrâneos, porquanto, na falta ou diminuição dos recursos hídricos superficiais, por conta de possíveis mudanças climáticas globais, eles constituir-se-ão na única fonte de água doce barata para a região. Por conseguinte, utilizar racionalmente a água dos poços, bem como conservar e proteger os recursos hídricos subterrâneos e suas áreas de recarga, é medida de alto valor estratégico e deve situar-se no cerne das políticas voltadas a garantir um futuro blindado quanto às mais sombrias previsões das mudanças climáticas.

Resultados e Discussões

Vetores econômicos

Com respeito ao possível e provável desenvolvimento econômico do território maranhense, projeta-se para os próximos 20 anos um crescente estresse de seus componentes ambientais, interligado ao crescimento econômico, que, por seu turno, dependerá da economia nacional e mundial.

Conscientes de que as cenas mundiais, nesse período, serão dominadas pelo atendimento às necessidades básicas de grandes contingentes populacionais, sobretudo os mais pobres, e que isso venha a representar o cerne da estabilidade social, presume-se que o Brasil – e o Maranhão a reboque – terá papel crescente na produção de alimentos para o planeta, bem como de matérias-primas necessárias à melhoria da qualidade de vida.

Além dos eixos de desenvolvimento econômicos já apontados por estudos setoriais, há outras oportunidades relativas ao setor mineral, a exemplo de ouro, gesso e materiais de construção, que já são uma realidade pulsante. O contexto geológico é favorável a descobertas de gemas, minerais industriais e agrominerais (P, K, Ca, Mg) e pó de rocha. Políticas públicas voltadas para surgimento e fortalecimento de cooperativismo e arranjos produtivos locais podem se revelar eficientes no intuito de modificar a cena atual de desorganização, no que diz respeito à exploração dos minerais utilizados na construção civil, como: areias, cascalho, brita, rochas ornamentais e gemas. Ações conjuntas de órgãos do MME, como DNPM e CPRM/SGB, mais bem aparelhados e adequadamente orientados, deverão repercutir na forma de grandes melhorias, capazes de modificar o atual cenário futuro tendencial resultante da exploração desses recursos.

Também, há consenso de que o aprofundamento do conhecimento dos vários ambientes geológicos evidenciará novas oportunidades econômicas.

Mesmo se tendo em conta as restrições orçamentárias da administração pública, a importância dos investimentos em conhecimento geológico, aliados à concepção e implantação de políticas públicas voltadas ao setor mineral, deve situar-se no núcleo das prioridades com vistas ao desenvolvimento sustentável do Maranhão.

Vetores ambientais

Os cenários de crescimento econômico e o decorrente aumento do uso e ocupação do solo e subsolo alertam para o risco de perda da sustentabilidade ambiental. Eles apontam para a oportunidade de se implantarem projetos econômicos de qualidade, com respeito à conservação ambiental e à inclusão social, ou, ao contrário, embutem os riscos da degradação ambiental dos meios físico-biótico e social.

Os projetos econômicos dependem, em grande parte, de capitais econômicos exógenos. Contudo, tal assertiva não é verdadeira com respeito aos levantamentos científicos e ao bom planejamento estratégico e tático, cujos recursos situam-se na casa de dezenas de milhões de reais. Ademais, esses investimentos criarão milhares de empregos para os jovens egressos de universidades e cursos técnicos, além de incorporarem diversos segmentos de trabalhadores menos especializados; no conjunto, distribuem renda e acrescentam movimento à roda da economia.

Por outro lado, a falta de um bom planejamento em diversos níveis administrativos e a baixa governabilidade conduzirão a perdas financeiras da ordem de bilhões de reais e a perdas irreparáveis correspondentes a vidas humanas, por deterioração das condições de vida ou devidas a “acidentes naturais”.

Zoneografia dos impactos previsíveis (cenário tendencial)

A proposta de técnicas de cenarização consiste em preparar as sociedades para os acontecimentos alternativos, possíveis e prováveis, capazes de definir a cena final do período analisado. O cenário mais provável é elevado à categoria de cenário normativo, cabendo a ele propostas de ações que conduzam à melhoria da cena final, minimizando fraquezas e ameaças e fortalecendo as vantagens e potencialidades.

No que diz respeito ao escopo da geodiversidade, é possível, para melhor compreensão, dividir-se o estado do Maranhão em seis geossistemas, que se constituem em seis regiões estratégicas (Figura 13.14).

A melhor compreensão das relações entre temas como geologia, clima, solo, relevo e biota somente é possível por meio da abordagem proposta pela teoria que advoga que o geossistema é uma dimensão do espaço terrestre, onde os diversos componentes naturais se encontram em conexões sistêmicas uns com os outros, interagindo com a esfera cósmica e com a sociedade humana. As unidades assim identificadas vão ao encontro das visões de “unidades de paisagem” e espaço geográfico ou território usado propostas por Milton Santos (1977), em que o “espaço geográfico (sinônimo de ‘território utilizado’) seja compreendido como uma mediação entre o mundo e a sociedade nacional e local, e assumido como um conceito indispensável para a compreensão do funcionamento do mundo presente”. Desse modo evidencia-se uma excelente divisão espacial com vistas ao planejamento territorial, na medida em que difunde a compreensão das relações entre os diversos elementos constituintes do meio ambiente (físico, biótico), social e econômico.

Assim, os autores do presente capítulo, por esposarem essas visões, decidiram apresentar uma proposta de divisão territorial do estado do Maranhão segundo seus geossistemas, conforme ilustrado na Figura 13.14.

Faixa litorânea em três situações

- Região dos Lençóis Maranhenses

Caracterizada por um gigantesco campo de dunas (barcanas) eólicas de rara beleza cênica. Dentre as características ambientais mais marcantes, destacam-se a movimentação de grandes volumes de areia e a presença de aquíferos subsuperficiais aflorantes na forma de lagos. A melhor vocação desse território é o turismo, mas deve-se considerar que a região dos mangues e salgados,

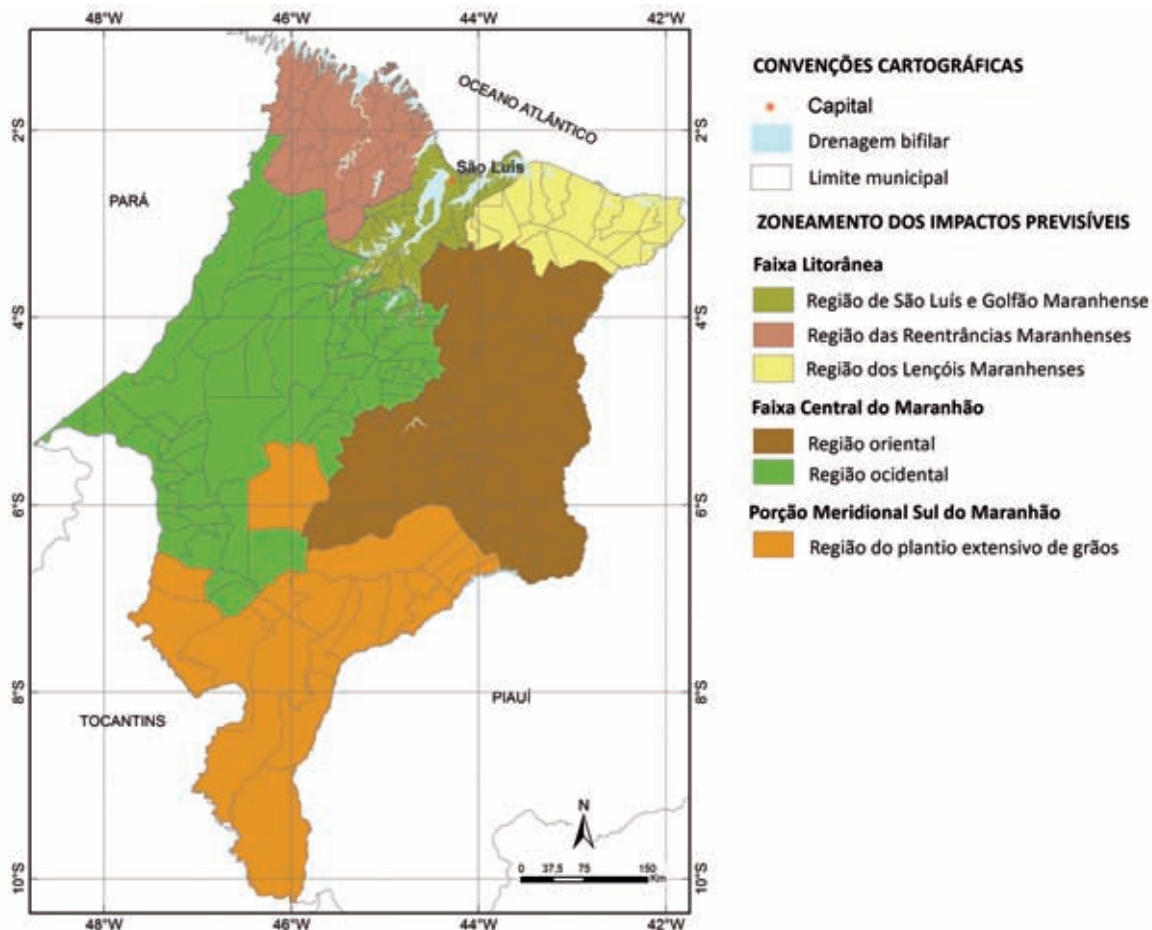


Figura 13.14 - Geossistemas e zonas de impactos diferenciados no estado do Maranhão.

à beira-mar, é objeto de grande interesse econômico, tanto por parte de populações tradicionais quanto por empreendimentos de carcinicultura e piscicultura. A dinâmica do litoral, caracterizada pela movimentação de blocos crustais quilométricos, conjugada às mudanças das correntes marinhas e ventos, é elemento de grande risco para instalações portuárias, viárias e assentamentos humanos. Estudos de zoneamento ambiental da região do delta do rio Parnaíba concluíram sobre a necessidade de estudos detalhados, em escala 1:25.000/1:50.000, no sentido de se adquirirem informações suficientes para formulação de bons planos diretores.

- Região de São Luís e Golfão Maranhense

Marcada por intensa taxa de ocupação e expansão humana, caracteriza-se pelo grande número de obras de infraestrutura logística voltadas para o trânsito de *commodities*, sobretudo minérios de ferro, para mercados internacionais. As cenas futuras apontam para progressivo incremento e diversificação das atividades industriais, tanto em consequência de políticas de verticalização das cadeias de bens primários quanto pela implantação de uma grande refinaria de petróleo, que deverá processar até 600.000 barris/dia.

Referente à sustentabilidade, os principais desafios são a conservação e o uso sustentável dos recursos hídricos, cuja demanda tende a aumentar exponencialmente. Por outro lado, projeta-se maior demanda por materiais de construção para as obras de infraestrutura e habitação. Nesse cenário, no que tange à exploração de ambos os recursos, a falta de planejamento redundará em elevados custos para sua obtenção, bem como se mostrará prejudicial à conservação das condições propícias ao desenvolvimento da indústria de turismo e lazer dos habitantes da região.

Atente-se para o fato de que as marés na costa maranhense, com amplitudes superiores a 7 m, conduzem ao aparecimento de grandes áreas submetidas a cheias sazonais. Essa situação deverá ser crítica se o uso da terra for feito de forma inadequada. Além disso, não se deve desconsiderar que a dinâmica costeira, no estuário do Golfão Maranhense, é profundamente afetada pela carga de sedimentos provenientes dos rios Grajaú, Itapecuru, Mearim e Pindaré.

- Região Noroeste ou das Reentrâncias Maranhenses

Possui singulares características geológicas, geomorfológicas e climáticas, além da presença de populações

tradicionais (quilombolas). A região costeira é caracterizada por paisagens deslumbrantes e de grande potencial turístico, como na foz do rio Preguiças. Igualmente, existe potencial para exploração de recursos pesqueiros e prática da aquicultura. O clima úmido, para o interior do continente, característico de condições amazônicas, favorece o manejo florestal e plantio de florestas artificiais. A ocorrência de terrenos geologicamente antigos preconiza a descoberta de novos depósitos de ouro.

Faixa Central do Maranhão

Esse amplo território, imprensado pelos territórios litorâneos, ao norte e sul maranhense, caracteriza-se por ocupar a porção alto-mediana das principais bacias hidrográficas, cujos talwegues correm diretamente para o mar. É uma região marcada pela heterogeneidade morfológica, pedológica e geológica. Apresenta temperatura e pluviosidade intermediárias; de leste para oeste, a cobertura vegetal transiciona de caatinga (muito restrita) e cerrado (subordinado) para florestas de babaçu e, finalmente, para floresta equatorial amazônica, já próximo ao limite com o estado do Pará. Sob a ótica da gestão territorial, distinguem-se:

- Região Oriental

A aptidão agrícola dos solos vai de regular a localmente boa (ao longo dos canais de drenagem). A ela se associa um clima mais seco, com baixos excedentes hídricos (0 a 400 mm). A cobertura vegetal predominante é a de florestas de babaçu, com áreas de cerrado subordinadas, além de pequenas manchas de caatinga, próximas à fronteira com o vizinho estado do Piauí.

O principal eixo de desenvolvimento econômico é constituído por pecuária extensiva e agricultura de pequeno a médio porte. O déficit hídrico é compensado pela existência de grande número de poços para captação de água subterrânea. Caracteristicamente, existem inúmeros projetos de assentamento rural.

As características geoambientais influenciarão nas políticas de apoio ao desenvolvimento econômico, sobremaneira quanto à disponibilidade dos recursos hídricos e à vulnerabilidade à erosão e a outros tipos de degradação do solo. Sobre os recursos minerais, há comprovado potencial para exploração de gipsita, calcário e rochas apropriadas à produção de pó de rocha, estratégico para remineralização dos solos, mas com restrições para a prática da agricultura.

- Região Ocidental

A principal característica desse território é a transição, de leste para oeste, de uma cobertura vegetal de florestas de babaçu para floresta amazônica, acompanhada pela respectiva mudança climática e pedológica. Há elevado contingente de áreas indígenas, como também de áreas pertencentes ao Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC). Sobre um divisor de águas, que reflete a existência de alto estrutural geológico, localizam-se as

cabeceiras dos rios Mearim, Grajaú, Pindaré e Alpercatas, que correm para norte, Balsas e uma série de afluentes do Tocantins, com direção NE-SW. Predomina a regular aptidão agrícola dos solos, mas existem grandes manchas com boa aptidão, inclusive terras-roxas. Contudo, as práticas agrícolas não são extensivas, em decorrência do modelado geomorfológico dos terrenos. As maiores vulnerabilidades ambientais provêm das características geotécnicas dos solos arenosos ou derivados de litótipos de grande variação físico-química, os quais são propícios ao desenvolvimento de erosão laminar.

Porção Meridional do Maranhão:

Plantio Extensivo de Grãos

A paisagem é dominada por chapadões, chapadas e *cuestas* abrigados por climas amenos, com estações bem definidas, onde se pratica a agricultura de grãos, sobretudo a soja. A presença de recursos minerais aplicáveis em correção e fertilização dos solos constitui-se em elemento de vantagem comparativa, ao que se somam os recursos hídricos superficiais e subterrâneos. Os riscos dizem respeito à suscetibilidade à erosão dos solos e conseqüente assoreamento das drenagens, com graves impactos sobre as águas superficiais. A potencialidade das águas subterrâneas é expressiva, mas não há dados disponíveis que permitam sua captação e utilização segura. Há de se considerar que as águas subterrâneas constituem um recurso não renovável (em tempos históricos) — no vale do Gurgueia (PI), por exemplo, há cerca de quatro décadas, o uso indiscriminado dos poços subterrâneos tem rebaixado o nível dinâmico a taxas de 1 m/ano — e que, sendo uma área de recarga de aquíferos, a prática da agricultura requer o manejo adequado de defensivos agrícolas e corretivos. Nos vales entalhados, o uso econômico mais provável é o desenvolvimento de sistemas agropecuários e florestais. Nesse cenário, junto à expansão dos centros urbanos, a projetada industrialização, por meio de polos de agroindústria, requererá um planejamento em nível de detalhe, associado a tecnologias industriais, habitacionais e de tratamento de rejeitos que impeça a contaminação dos rios.

Trilhando-se uma rota de desenvolvimento sustentável, a exemplo de outras regiões do país, deverão surgir oportunidades para o turismo temático, científico e de lazer.

CENÁRIOS DA GEODIVERSIDADE

Variáveis (Elementos) Determinantes

A economia do Maranhão estrutura-se em dois grandes eixos de dinamismo e modernização (MARANHÃO, 2006): (i) agronegócio, com destaque para a moderna produção da região sul (Balsas, Riachão, Tasso Fragoso, Alto Parnaíba, Fortaleza dos Nogueiras, Loreto, Simbaíba e São Raimundo das Mangabeiras), onde se expande a soja e a pecuária; (ii) complexo minerometalúrgico, con-

centrado no oeste (Açailândia, Imperatriz e Santa Inês) e no norte do estado, sobretudo no entorno de São Luís, com base em produção e beneficiamento de minérios de alumínio e ferro. O agronegócio beneficia-se da qualidade da logística para exportação (orientada para o mercado externo e interno), das condições climáticas e dos solos do cerrado; já o complexo minerometalúrgico, voltado para o mercado externo, baseia-se na vantagem locacional e na qualidade da infraestrutura ferroviária e energética. Merece menção, ainda, o potencial turístico, representado pela região litorânea do estado e pelos polos interioranos, com suas belezas naturais e grande riqueza cultural; igualmente, os recursos minerais e seus potenciais despontam como opções isoladas ou integradas a outros projetos industriais.

Em complemento, destaca-se a implantação de uma refinaria de petróleo premium, em Bacabal, prevendo-se 300.000 barris/dia para o início de sua operação, em 2016/2017, e 600.000 barris/dia, quando do aumento de sua capacidade. Um oleoduto complementar essa refinaria, interligando-a ao Complexo Portuário de São Luís, onde a PETROBRAS deverá construir novos atracadouros. Finalmente, as pesquisas de petróleo e gás, na plataforma marinha e nas bacias sedimentares interioranas, abrirão importantes perspectivas econômicas.

Infraestrutura

A infraestrutura encontra-se conectada a um conjunto multimodal de transportes que corresponde a: (i) Corredor Centro-Norte do Brasil Central; (ii) Corredor Norte/Nordeste, por meio da Hidrovia Araguaia-Tocantins e Ferrovia Norte-Sul; (iii) Corredor da Estrada de Ferro Carajás, integrado ao sistema rodoviário tradicional e ao sistema ferroviário da Companhia Ferroviária do Nordeste (CFN). O Maranhão articula-se, desse modo privilegiado, com extensas regiões do país, abrangendo, no todo ou em parte, os estados do Piauí, Pará, Tocantins, Mato Grosso e Bahia. Articula-se, ainda, com o exterior e o restante do país, via cabotagem, por meio do Complexo Portuário do Itaqui, constituído pelos portos comerciais de Itaqui e Ponta da Madeira e pelo terminal privativo da empresa Alumínio do Maranhão S/A (ALUMAR), que somam, em conjunto, aproximadamente 50% da movimentação das cargas portuárias das regiões Norte e Nordeste do Brasil.

Distritos industriais existentes

São Luís – DISAL: Oferece vários atrativos, como as excelentes condições portuárias, além da vizinhança das operações de embarque do minério oriundo de Carajás e do Complexo Alumar.

- Rosário: Indústrias de pequeno e médio porte.
- Imperatriz: Indústrias de pequeno e médio porte.
- Balsas: Agroindústrias.
- Caxias: Agroindústrias.

- João Lisboa: Agroindústrias.
- Grajaú: Indústrias de pequeno e médio porte.
- Porto Franco: Agroindústrias.

Distritos industriais projetados

- Açailândia: Minerometalúrgico e agroindustrial.
- Bacabal: Agroindústrias.
- Bacabeira: Indústria de grande porte (fundições, guiseiras, metalurgia, siderurgia etc.).
- Estreito: Agroindústrias.
- Timom: Agroindústrias.

Estudos Anteriores

Durante a última década, realizaram-se diversos estudos abordando a temática dos cenários para o estado do Maranhão, mencionando-se, por sua abrangência e relevância, os trabalhos patrocinados por ELETRONORTE (2008) e FIEMA (2009). Desses estudos, pinçaram-se como variáveis e elementos estruturadores:

- Grandes incertezas:
 - Educação
 - Indústria de transformação
 - Bioenergia (etanol, biocombustível)
 - Infraestrutura (Porto do Itaqui, ferrovias)
 - Questão fundiária
 - Atuação institucional e política dos atores
 - Meio ambiente (gestão ambiental)
- Incertezas pequenas ou de baixo impacto:
 - Saúde
 - Agricultura familiar e pesca de subsistência
 - Turismo
 - Comércio e serviços

Na Figura 13.15 é reproduzida a matriz morfológica elaborada a partir das incertezas críticas *versus* as hipóteses de evolução plausíveis, a partir da cena de partida (2007) até a cena final, em 2027, segundo os estudos patrocinados por ELETRONORTE (2006, 2008). Esse quadro geral fornece uma referência quanto à evolução dos diversos elementos econômicos estruturadores do território maranhense no decorrer do tempo.

Condicionantes

Zoneamento ecológico-econômico

No que tange ao zoneamento ecológico-econômico, a questão ambiental apresenta importante papel na configuração de antigos e novos territórios estaduais, destacando-se, dessa forma, os aspectos a seguir.

- O ZEE não se deve restringir à conjugação de potencialidades e fragilidades econômicas e ambientais, e, sim, atender a um projeto conceitual de socie-

Hipóteses Plausíveis	
Incertezas Críticas	
Educação	Projeto eficiente e eficaz com prioridade para formação técnica e empreendedora e qualificação profissional.
Indústria de transformação	Projeto apenas eficiente, em ritmo lento de inserção do sistema produtivo.
Bioenergia (etanol, biocombustível)	Projeto intenso, porém não alcança o ritmo do sistema econômico.
Infraestrutura (Complexo Portuário do Itaqui, ferrovias)	Projeto insuficiente para acelerar o resgate dessa dívida social.
Questão fundiária	Projeto de agregação de valor não avança.
Atuação institucional dos atores	Projeto de agregação de valor avança no seu ritmo histórico.
Meio ambiente e zoneamento econômico-ecológico	O processo de agregação de valor não avança.
Turismo	O estado não amplia a sua base produtiva para atender ao mercado internacional.
Ideia-Força	Mantém a atual base produtiva atendendo ao mercado interno.
	Ampliação moderada do Complexo Portuário do Itaqui, das ferrovias e rodovias do estado.
	Ampliação morosa do Complexo Portuário do Itaqui; ampliação lenta das ferrovias e rodovias do estado.
	Ampliação dos conflitos.
	Ampliação dos conflitos.
	Atuação conflituosa dos atores, sem elaboração de um projeto para o estado.
	Os conflitos de interesse entre os atores emperram o processo de realização do ZEE.
	Expansão lenta da atividade.
	Expansão moderada da atividade.
	Expansão acelerada da atividade.
	Maranhão sustentável
	Maranhão com crescimento concentrado
	Maranhão com crescimento moderado
	Maranhão estagnado

Figura 13.15 - Matriz morfológica dos cenários econômicos do estado do Maranhão. Fonte: Eletronorte (2008).

dade. Por conseguinte, deverá incorporar estudos de cenarização, visando a se constituir em peça que traduza um acordo ou pacto de intenções dos diversos grupos sociais.

- Os estudos de ZEE estadual permitem uma visão em escala regional, apropriada à concepção de planos e políticas macro, mas insuficientes para o planejamento regional e, menos ainda, para os projetos executivos.
- Destarte, são requeridos detalhamentos (escala maior), que subsidiem os estudos de impacto ambiental, no que concerne à conservação dos serviços ambientais, estabelecimento de alternativas locais, escolha de tecnologias, planos de monitoramento e ações preventivas, mitigatórias e corretivas. À medida que as escalas de detalhamento dos ZEEs evoluam, a metodologia aplicada deverá se revestir de outros vieses, como o da avaliação ambiental estratégica e estudos de impacto ambiental, sem perder de vista, naturalmente, os interesses da sociedade.
- Estudos capazes de apoiar projetos executivos devem compor a infraestrutura do estado; eles requerem investimentos voltados ao fortalecimento de recursos humanos e às estruturas capazes de coletar, armazenar e processar informações econômicas e ambientais; no conjunto, contribuem para a melhoria das condições de governabilidade.

Elementos Constantes: Perspectivas de Sociedade

Por seu turno, a Federação das Indústrias do Estado do Maranhão, em seu PDI 2020 (FIEMA, 2009, p. 39), conclui que o futuro mais provável do Maranhão deverá acompanhar o movimento do contexto mundial e nacional, uma vez que as variáveis externas tendem a influenciar o desempenho dos processos econômicos internos. De outra feita, admitindo-se que o estado, por suas vantagens comparativas, desenvolva-se acima da média nacional, concluiu-se ser o mais provável que se evolua para uma lenta e controlada melhoria geral da economia mundial e nacional, com reflexos na economia local, a partir de um período não muito longo (2009-2012) de contenção dos investimentos e demanda mundial de *commodities*, combinado com as restrições nacionais.

Fatores Emergentes

Conceituação: Na análise de futuros prováveis, denominam-se fatores emergentes aqueles condicionantes portadores de conteúdos capazes de ocasionar profundas mudanças nas tendências futuras; comumente implicam a ruptura de paradigmas que orientam o comportamento dos elementos sociais; grande é a vantagem das mentes prospectivas, quando identificam a “ponta” desses *icebergs*

antes dos “mortais comuns”. Essa vantagem comparativa é, disparadamente, inigualável a quaisquer outras que se conheça, porquanto permite a adoção de ações preventivas e proativas que se conectam diretamente com o futuro de maior probabilidade.

Aplicação ao tema: Com respeito a um desenvolvimento econômico, social e ambiental da região maranhense favorável, ao grande agronegócio interessam, especificamente, os recentes avanços na área de remineralização dos solos por meio da aplicação de pó de rocha, conhecida como rochagem. Nos últimos cinco anos, têm sido conduzidos diversos experimentos em escala comercial, para diversos cultivares, como soja, milho, pastagem, abacaxi etc., em diversas regiões do país, com resultados extremamente importantes quanto à:

- substituição (econômica) de matérias-primas importadas, como adubos químicos (NPK), tão onerosos para a balança de pagamentos do país, afora a questão da segurança nacional;
- melhoria das propriedades físicas dos solos;
- aumento da resistência às pragas das lavouras;
- processo ambientalmente desejável, na medida em que a resiliência dos elementos químicos adicionados aos solos é maior e não é lixiviada para as drenagens;
- dentre as mudanças físicas observadas, destacam-se a melhoria da permeabilidade do solo e o aprofundamento da camada viva (orgânica) pelo grande aumento da porção radicular dos cultivares, o que, por decorrência, leva ao aumento da capacidade de manutenção da umidade, que, por outro lado, aumenta a resiliência a períodos de estiagem;
- afora essas considerações, a rochagem, utilizando muito comumente matéria-prima que é um resíduo do processo de produção da brita, por exemplo, além de adicionar elemento de valorização à indústria mineral, agrega o benefício ambiental da melhor, embora custosa, eliminação de rejeitos, que se transformam em matéria-prima de primeira grandeza na agricultura;
- ganha também o elemento social, na medida em que se criam novas atividades econômicas e novos empregos que demandam mão de obra compatível com as possibilidades de inserção dos segmentos sociais que habitam o campo;
- tudo isso reforça a indicação de que se utilize a rochagem como elemento de cura ou mitigação no enfrentamento de situações representadas por solos frágeis a processos erosivos, como erosão laminar e arenização, situações tipificadas em diversos locais no sul do Maranhão e que encontram expressão máxima no município de Gilbués, já no sul do Piauí.
- por todos esses considerandos, a CPRM/SGB criou um grupo de trabalho, que, no último ano, vem se dedicando a estudar esse assunto como também re-

alizando investigações da geodiversidade nacional, com vistas a apoiar o uso do pó de rocha.

Mudança de paradigma: Até há pouco tempo, quando se pensava em agrominerais, buscava-se a descoberta de concentrações de Ca e Mg, por exemplo, na forma de calcários ou dolomitos, ou ainda de P, na forma de altas concentrações de fosfatos, ou ainda de sulfato, na forma de depósitos de gipsita. Isso está mudando. Os recentes resultados obtidos por experimentos nacionais estão a demonstrar que o uso de pó de rochas básicas, ultrabásicas, alcalinas e mesmo tipo ácidos, como alguns granitos e até xistos, pode remineralizar os solos, tanto com respeito aos seus elementos maiores, como Ca, Fe, Mg, K, quanto a importantes elementos, como P, Mn, B etc. Nesse contexto, as pedreiras utilizadas para produção de brita surgem como primeira prioridade para investigação; mas, também, conforme observações corroboradas por análises químicas realizadas no presente projeto, começa-se a cogitar de explorações econômicas de rochas sedimentares pouco consolidadas, cuja ambiência geológica lhes propiciou a acumulação desses elementos em porcentagens até agora consideradas “não econômicas”.

No caso da região meridional do Maranhão, caracterizada por grandes atividades agrícolas e pecuárias em grande escala, coincidentemente, existem grandes unidades geológicas da Bacia Sedimentar do Parnaíba, de idades paleozoica e mesozoica, cujas características geológicas as colocam como potencialmente produtoras de insumos para a rochagem, como prática capaz de impulsionar as atividades agropecuárias, não somente no que respeita ao desenvolvimento biológico das plantas, como também à sustentabilidade ambiental, assunto de tanto debate e controvérsias entre ambientalistas e economistas.

Elementos factuais

Elementos geológicos

A geodiversidade da porção meridional do Maranhão combina diversos elementos, que lhe conferem especial singularidade, no que respeita ao uso integrado dos recursos naturais:

- regime de chuvas com duas estações bem definidas;
- pluviosidade, que, conquanto não seja abundante, permite suprir a maior parte das necessidades dos plantios – aspecto passível de melhoria, conforme mudem as características físicas do solos, por meio de rochagem;
- presença de rios perenes, conquanto não muito caudalosos;
- modelado dos terrenos, onde se destacam chapadões arenosos, propícios à prática de agricultura intensiva;
- ocorrência de lentes carbonáticas nos níveis estratigráficos inferiores da Bacia Sedimentar do Parnaíba, aflorantes nas bordas das chapadas;

- ocorrência de extensas formações vulcânicas (basalto, diabásio) e formações sedimentares aflorantes pertencentes à Bacia Sedimentar do Parnaíba, cuja potencialidade geológica carece de investigações específicas. Ainda, geologicamente, não se pode descartar a hipótese de descoberta de condutos alcalinos especializados, como os constituídos por rochas ultrapotássicas (camafugitos), comuns nesse tipo de terreno.

Elementos provenientes de investigações e reconhecimentos recentes

Os diferentes levantamentos geológicos até então realizados na Bacia Sedimentar do Parnaíba foram unânimes em salientar o potencial geológico das formações sedimentares, com respeito a agrominerais, dolomitos, calcários, gipsita e fosfato, principalmente. Entretanto, ao lado desses ambientes geológicos devem ser considerados os extensos derrames de basaltos representados pelas formações Mosquito e Sardinha, essa última, sobretudo, ocorrente no vizinho estado do Piauí.





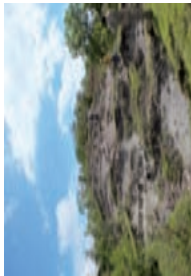
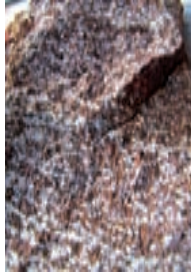
Com respeito a esses ambientes geologicamente favoráveis, nos trabalhos de campo do presente projeto, além das observações de campo, foram coletadas algumas amostras para análise, conforme ilustrado no Quadro 13.1, onde se observam os distintos quimismos e as condições de afloramento da Formação Pastos Bons e do Basalto Mosquito.

No que tange aos sedimentos da Formação Pastos Bons, ressalta-se que o registro sedimentar é ainda pouco conhecido e que a extensão e localização de suas potencialidades carecem de estudos complementares. As amostras coletadas nessa formação apresentaram composição química bastante promissora com vistas à rochagem, inclusive com a presença de carbonato e algum fósforo. A extensão geográfica, a variabilidade faciológica e o fato de que esses sedimentos, sendo pouco consolidados, constituem superfícies planas e elevadas, conferem-lhe característica favorável à exploração por meio de bancadas a céu aberto.

Com respeito aos basaltos, deve-se considerar que se conhece a existência de dois grandes pulsos magmáticos: um com idade entre 160-190 Ma (Formação Mosquito), que ocupa uma posição mais ocidental dentro da Bacia do Maranhão, e outro pulso magmático com 115-122 Ma (Formação Sardinha), na margem oriental dessa bacia. Essas duas províncias apresentam características geoquímicas distintas, o que permite prognosticar que a sua utilização como remineralizadores de solos venha a revelar resultados distintos. A salientar, dentre as diferenças, que a província oriental apresenta maiores conteúdos em Fe, Ti, Mn, Na, K e P e menores conteúdos em Mg (Tabela 13.1).

Destacam-se, ainda, as características composicionais das zeólitas que cimentam os arenitos da Formação Corda, intercalados com os basaltos da Formação Mosquito, apresentados por Rezende (2002) em sua dissertação de mestrado e reproduzidos nas tabelas 13.2 e 13.3.

Quadro 13.1 - Resultados analíticos de amostras coletadas nos trabalhos de campo do projeto levantamento da geodiversidade do estado do Maranhão.

Identificação das Amostras									
Amostra	TAF980		TAF981		TAF982		TAF983		
Âmbiência	Siltito esverdeado da formação Pastos Bons		Calcarenito fino da formação Pastos Bons		Sequência de pelitos na formação Pastos Bons		Basalto amigdaloidal com zeólitas e seladonita (baixo Ti)		
SiO ₂	60,18		68,07		65,37		49,79		
TiO ₂	0,87		1,86		0,17		1,73		
Al ₂ O ₃	16,39		15,63		5,72		13,83		
Fe ₂ O ₃	8,19		6,49		1,54		12,69		
MnO	0,03		0,08		0,06		0,2		
MgO	4,36		2,15		1,78		5,61		
CaO	0,63		0,33		10,42		9,5		
Na ₂ O	0,21		0,14		0,27		1,75		
K ₂ O	5,91		3,89		1,89		1,88		
P ₂ O ₅	0,02		0,28		0,05		0,15		
p.f.	5,75		4,8		8,48		5,31		
Soma	102,57		103,73		95,77		102,4		

Conquanto a ocorrência de zeólitas, ou melhor, a zeolitização de arenitos, por meio de processos supergenéticos em ambientes em que estejam associadas rochas vulcânicas e sedimentares, seja conhecida há bastante tempo, deve-se ressaltar a excelência das condições geológicas que caracterizam o sul do estado do Maranhão, explicitadas

por extensa ocorrência em superfície (Figura 13.16), cuja extensão em subsuperfície foi confirmada por prospecções minerais apoiadas por sondagem vertical. Ocorre que a economicidade que se buscou alcançar nessas pesquisas foi direcionada ao uso das zeólitas conquanto espécies minerais puras, o que é dificultado pelo fato de, por um lado,

Tabela 13.1 - Comparação entre o quimismo dos basaltos das formações Mosquito e Sardinha, com a localidade amostrada neste trabalho.

Elementos	Província Ocidental – Baixo Ti Formação Mosquito Idade: 160-190 Ma	Província Oriental – Alto Ti Formação Sardinha Idade: 115-122 Ma	Amostra TAF983 Formação Mosquito
SiO ₂	51,5-53,5%	49,20-53,00%	49,79%
TiO ₂	1,03-1,8%	2,5-4,14%	1,73%
Al ₂ O ₃	14-15%	12,8-14,5%	14,83
Fe ₂ O ₃	9,5-10,3%	12-13,8%	12,69%
MnO	0,14-0,18%	0,17-0,20%	0,2%
MgO	6,0-8,0%	4,2-5,3%	5,61%
CaO	9,3-11,6%	5,4-9,10%	9,5%
Na ₂ O	1,80-2,50%	2,5-4,0%	1,75%
K ₂ O	0,60-1,50%	1,5-2,5%	1,88%
P ₂ O ₅	0,14-0,19%	0,5%-1,0%	0,15%

Fonte: Fodor et al. (1990).

Tabela 13.2 - Composição química (% peso) e fórmulas de estilbitas à base de 72 átomos de oxigênio.

Elemento	Amostra NR-A-11			Amostra NR-A-16			Amostra NR-A-13			Valores de Referência			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
SiO ₂	60,47	60,78	59,24	61,95	61,68	61,42	59,10	58,74	59,90	51,97	53,77	58,34	56,85
Al ₂ O ₃	15,73	16,14	16,38	16,14	16,21	16,16	15,53	15,21	15,18	18,34	16,77	15,32	15,58
Fe ₂ O ₃	-	-	-	-	0,04	-	-	-	0,06	0,03	0,08	0,18	0,08
MgO	0,12	0,11	0,12	0,11	0,15	0,16	0,12	0,14	0,14	0,03	0,03	0,16	0,06
CaO	8,11	8,29	8,05	8,46	8,56	8,50	8,15	7,77	8,11	7,88	7,75	3,31	7,89
Na ₂ O	0,07	0,07	0,17	0,17	0,25	0,24	0,18	0,17	0,16	2,73	1,81	4,78	1,00
K ₂ O	0,98	1,02	1,29	0,66	0,34	0,53	0,52	0,54	0,59	0,22	0,07	0,88	0,03
H ₂ O	14,52	13,59	14,75	12,51	12,77	12,99	16,40	17,43	15,86	18,85	19,75	17,00	18,55
Total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,05	100,03	99,97	100,04
Si	27,48	27,38	27,13	27,49	27,43	27,41	27,44	27,56	27,62	25,34	26,26	27,47	27,14
Al	8,47	8,57	8,84	8,44	8,50	8,50	8,50	8,41	8,25	10,54	9,66	8,50	8,77
Fe	-	-	-	-	0,01	-	-	-	0,02	0,01	0,03	0,06	0,03
Mg	0,08	0,07	0,08	0,07	0,10	0,10	0,08	0,10	0,10	0,02	0,02	0,11	0,04
Ca	3,97	4,00	3,95	4,02	4,08	4,06	4,05	3,91	4,01	4,12	4,06	1,67	4,04
Na	0,01	0,06	0,14	0,14	0,22	0,20	0,16	0,15	0,14	2,58	1,71	4,34	0,93
K	0,57	0,58	0,75	0,37	0,19	0,30	0,31	0,32	0,34	0,14	0,04	0,53	0,02
H ₂ O	22,11	20,41	22,52	18,51	18,93	19,33	25,39	27,17	24,39	30,65	32,17	26,69	29,53
Erro (%)	-2,4	-2,4	-2,2	-2,9	-3,0	-3,6	-2,6	-0,7	-4,8	-4,0	-2,3	+1,3	-3,4

Fonte: Rsende (2002)

Tabela 13.3 - Composição química (% peso) e fórmulas de laumontita à base de 72 átomos de oxigênio.

Elemento	NR-A-11		NR-A-13		Valores de Referência			
	1	2	3	4	5	6	7	8
SiO ₂	51,11	50,88	49,54	52,84	51,41	52,04	50,63	51,86
Al ₂ O ₃	20,36	20,29	20,36	20,73	22,20	21,46	22,07	22,44
Fe ₂ O ₃	-	-	-	-	0,05	0,12	0,73	0,07
MgO	-	-	-	-	-	-	0,40	0,04
CaO	11,33	10,97	11,66	11,57	12,01	11,41	10,72	10,47
Na ₂ O	0,02	-	-	0,02	0,07	0,20	1,08	0,74
K ₂ O	0,57	0,77	0,12	0,75	0,12	0,66	0,45	0,97
H ₂ O	16,40	17,09	18,32	14,09	14,24	13,80	14,10	13,26
Total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,11	99,69	100,23	100,06
Si	16,27	16,31	16,11	16,34	15,91	16,12	15,73	15,93
Al	7,64	7,65	7,80	7,55	8,10	7,48	8,08	8,13
Fe	-	-	-	-	0,01	0,03	0,17	0,05
Mg	0,02	-	-	0,01	-	-	0,19	0,02
Ca	3,86	3,72	4,06	3,83	3,98	3,79	3,57	3,45
Na	0,23	0,31	0,05	0,29	0,04	0,12	0,65	0,44
K	0,57	0,77	0,12	0,75	0,05	0,26	0,18	0,38
H ₂ O	14,58	18,27	18,53	14,53	14,70	14,26	14,61	13,59
Erro (%)	-4,1	-1,3	-4,5	-5,1	+0,7	-1,1	-1,0	+5,5

Fonte: Rezende (2002).

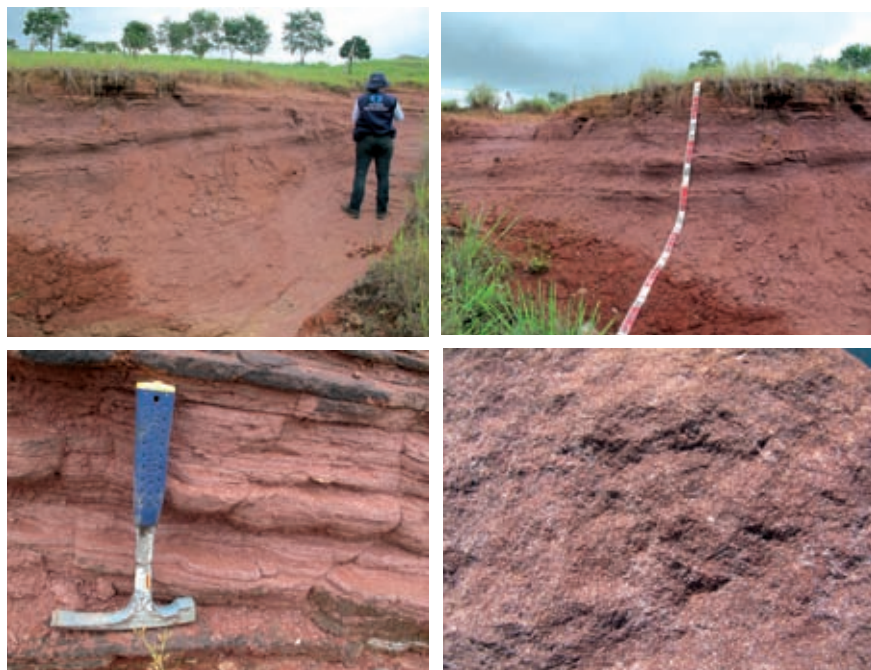


Figura 13.16 - Vista parcial de afloramento de arenitos da formação Corda zeolitizados.

estar-se lidando com um universo de mais de 200 espécies minerais e, de outro, que os nossos climas tropicais acabam gerando uma paragênese supergenética diversa, com respeito às zeólitas de outras regiões do mundo, onde se desenvolveram as pesquisas para o aproveitamento desses minerais. Ademais, no caso da rochagem, fatores referentes ao tipo de grade cristalina decorrentes de pequenas variações nos conteúdos químicos não deverão ter a mesma importância relativa (restrições), comparados aos usos que requerem pureza de espécie mineral.

Mudanças Incertas

Ainda que o desenvolvimento econômico mais provável venha a se pautar, fortemente, sob a ótica do atendimento às demandas externas

por *commodities* (nos próximos 20 ou 25 anos), convém que se façam os seguintes questionamentos:

- a) Os cenários pesquisados abrangem todas as facetas de um projeto de desenvolvimento sustentável?
- b) Como se dará a conservação dos serviços ambientais?
- c) Quais as estratégias para melhoria dos processos econômicos, com vistas à sustentabilidade ambiental (econômica, social e meio natural)?

Quanto aos questionamentos “a” e “b”, restam grandes incertezas no que tange à sustentabilidade ambiental (meio físico-biótico e socioeconômico). Há de se refletir sobre a alocação de recursos e esforços (políticas públicas), que consistem em investimento em:

- estudos de ZEE em mesoescala (1:250.000) e microescala (1:100.000/50.000);
- recursos humanos e reforço às instituições, que se deverão envolver em estudos socioeconômicos e ambientais, licenciamento ambiental e assessoria ao planejamento estratégico do estado e municípios;
- melhoria do conhecimento geocientífico.

Sobre o questionamento “c”, sua resposta dependerá de se saber como:

- aumentar a produtividade na agricultura e pecuária;
- proteger e expandir a indústria do turismo;
- garantir a sustentabilidade dos recursos hídricos e outros da geodiversidade necessários ao atendimento presente e futuro;
- melhorar o perfil ecológico da energia requerida;
- em que medida o conhecimento da geodiversidade poderá contribuir para um projeto de sociedade.

Hipóteses (Futuros Alternativos)

Incerteza crítica

Listam-se as seguintes “incertezas” críticas a serem confrontadas na matriz morfológica (Figura 13.18):

1 – Formulação e adoção de um plano estratégico estadual harmônico com o zoneamento ecológico-econômico e os cenários setoriais.

2 – Elaboração de zoneamentos ambientais em níveis de maior detalhamento e sua adoção nas políticas públicas e projetos produtivos.

3 – Adoção de medidas que promovam o desenvolvimento e a aplicação de modelos de sustentabilidade no uso e ocupação do território.

4 – Adoção de medidas que induzam ao uso de novas tecnologias, quanto à exploração e ao uso de recursos da geodiversidade, tais como os recursos hídricos superficiais e subterrâneos.

5 – Adoção de medidas que propiciem a incorporação de novas tecnologias, considerando-se as potencialidades e limitações da geodiversidade.

Os “cenários alternativos da geodiversidade”, no formato de matriz morfológica (Figura 13.17), sintetizam as considerações apresentadas.

A referida matriz corresponde a incertezas x hipóteses, buscando expressar o quanto as componentes de conhecimento e planejamento ambiental deverão ser detalhadas e agregadas aos cenários do desenvolvimento econômico, evitando-se trilhar caminhos insustentáveis.

É preciso reconhecer que, até o momento, apesar de inúmeras tentativas e ingentes esforços, no sentido de se reunirem os vieses econômico, social e ambiental, não se logrou atingir um estágio de alta eficiência. Contudo, longe de servir de desânimo, isso deve ser encarado como um marco diferencial a ser perseguido. Os territórios que melhor enfrentarem esse desafio construirão uma *vantagem comparativa* que os destacará no decorrer do presente século.

Em outra vertente das considerações, o desafio proposto, conquanto implique dispêndio financeiro, situa-se no campo das decisões “endógenas” e, conseqüentemente, os avanços a serem obtidos estarão na dependência da prioridade que lhes for atribuída. No caso de haver grande demanda mundial por alimentos, moradia e serviços básicos, o Maranhão, por suas vantagens comparativas, estará apto a atender a boa parte dessas necessidades.

Cabe ressaltar que não existe um futuro pronto e imutável e que compete ao homem garantir a sustentabilidade dos territórios, potencializando e protegendo seus recursos ambientais.

Na impossibilidade de se adotarem todas as medidas recomendadas, com vistas ao desenvolvimento sustentável, que se dê a maior prioridade possível à preservação dos recursos hídricos – deles depende a possibilidade de haver um futuro viável.

Planejamento Estratégico: Elementos de Análise

Conjugando todos os elementos de conhecimento da geodiversidade anteriormente tratados, destacam-se alguns fundamentos de uma estratégia geral que norteie o desenvolvimento sustentável do Maranhão.

O primeiro ponto a considerar e que deverá imprimir definição ao cenário mais provável para 20-25 anos, é o aumento de 100% na demanda mundial por alimentos, segundo a Food and Agriculture Organization of the United Nations/Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO). Tal previsão levou em conta o crescimento econômico das economias emergentes do planeta e a ascensão social dos imensos segmentos sociais mais pobres. Segundo essas previsões, o Brasil, por suas condicionantes locais, como o estoque de terras agricultáveis, clima e nível tecnológico, deverá contribuir com 40% dessa demanda.

Do ponto de vista estratégico, em nível nacional, o principal gargalo, hoje, é a logística de transporte até os portos de escoamento, que, regionalmente, encontra no Maranhão uma situação relativamente boa, se comparada a outras regiões do país.

Matriz Morfológica das Incertezas e Hipóteses quanto ao Futuro da Geodiversidade				
Incetezas Críticas	Hipóteses Plausíveis			
ZEE estadual conjugado com "cenários".	Atendido completamente.	Atendido parcialmente.	Não ou pouco atendido.	Uso e ocupação do território com base unicamente em planejamentos setoriais.
ZEE: avaliação de impactos em níveis locais.	Elaborado para todos os polos econômicos.	Elaborados efetivamente.	Pouco ou não elaborados.	Indisponível como ferramenta do planejamento territorial.
Uso e ocupação com base em modelos de sustentabilidade.	Fortemente embasados	Parcialmente embasados.	Pouco embasados.	Modelos indisponíveis.
Desenvolvimento e adoção de novas tecnologias para exploração dos recursos hídricos e solos.	Ampla.	Parcial.	Negligível.	Indisponíveis
Apropriação dos recursos ambientais e construção territorial baseada nas potencialidades e limitações da geodiversidade e da biodiversidade.	Ampla.	Parcial.	Eventual.	Políticas de uso e ocupação baseadas no que vier a acontecer
	↓	↓	↓	↓
Cenários Alternativos	Cenário A	Cenário B	Cenário C	Cenário D
	Desenvolvimento sustentável e geração de novos eixos de desenvolvimento.	Desenvolvimento medianamente sustentável com impactos setorizados.	Desenvolvimento econômico pouco sustentável, relevantes impactos sociais e ambientais negativos.	Desenvolvimento econômico forte mas absolutamente insustentável no médio prazo.

Figura 13.17 - Matriz morfológica das incertezas e hipóteses quanto ao futuro da geodiversidade no estado do Maranhão.

Também, deve-se ter em mente que o agronegócio moderno, tecnificado, baseia-se essencialmente em clima + água + corretivos dos solos e, nesse contexto, a disponibilização de agrominerais clássicos e as descobertas de outros tipos, que começam a ser evidenciados pelas pesquisas em agrogeologia, configuram-se como elementos fundamentais para a sustentabilidade desse eixo econômico.

A conservação dos recursos hídricos, conforme referenciada em diversos pontos deste capítulo, deve ser colocada no topo das prioridades estratégicas.

O papel da mineração para a formação de capital e produto interno bruto (PIB) é bastante conhecido há muito tempo e o estado do Maranhão apresenta potencial ainda não revelado por falta de conhecimento geológico adequado. A exploração dos materiais de construção, agrominerais e gemas oportuniza políticas públicas que promovam o associativismo e a formação de arranjos produtivos locais, buscando-se atender à demanda política por um desenvolvimento econômico incluyente.

As políticas para o setor mineral devem incentivar a verticalização das cadeias produtivas, de forma a agregar valor ao recurso geológico, além de promoverem a criação de emprego e distribuição da renda.

Por último, permeando todas as linhas de desenvolvimento, cabe mencionar o papel estratégico da educação e da pesquisa tecnológica afinadas com o plano estratégico geral. Se esse aspecto for descuidado, a cena final se caracterizará pelo baixo desenvolvimento social local, criando-se os melhores empregos e destinando-se os resultados econômicos mais expressivos para outras regiões, restando às populações locais os passivos ambientais e a baixa autonomia de decisão sobre seu futuro.

REFERÊNCIAS

ANA. Ministério do Meio Ambiente. **Bases de dados georreferenciadas**: bacias. 2006. Disponível em: <<http://www.ana.gov.br/bibliotecavirtual/solicitacaoBaseDados.asp>>. Acesso em: 20 abr. 2012.

ARAÚJO, P.P.; CHAVES, C.L.; SILVA, H.R. Vulnerabilidade das águas subterrâneas no estado do Maranhão, em SIG. Escala 1:2.000.000. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 46., 2012, Santos, SP. **Anais...** Santos, SP. SBG Núcleo São Paulo, 2012. 1 CD-ROM.

BANDEIRA, I.C.N.; DANTAS, M.E.; THEODOROVICZ, A.; SHINZATO, E. **Mapa geodiversidade do estado do Maranhão**. Teresina: CPRM, 2013.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Detalhamento da metodologia para execução do zoneamento ecológico-econômico pelos estados da Amazônia Legal**. Brasília, DF: MMA, SE/PR, 1997. 43 p.

BUARQUE, S.C. **Metodologia e técnicas de construção de cenários globais e regionais**. Brasília, DF: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, 2003. (Texto para Discussão, 939).

DESAFIOS para o gerenciamento sustentável das águas subterrâneas. **Notícias da ABC**, Rio de Janeiro, 9 ago. 2012. Disponível em: <http://www.abc.org.br/article.php?id_article=2157>. Acesso em: 16 ago. 2012.

ELETRONORTE. **Cenários macroeconômicos para a Amazônia 2005-2025**. Versão executiva. [Brasília, DF], 2006. Disponível em: <http://www.eln.gov.br/opencms/export/sites/eletronorte/publicacoes/publicacoes/Cenarios-Macroeconomicos-Ver_Portugues.pdf>. Acesso em: 29 jun. 2012.

ELETRONORTE. **Cenários macroeconômicos para o Maranhão 2007-2027**. [Brasília, DF], [2008?].

FIEMA. **Plano estratégico de desenvolvimento industrial do Maranhão 2009-2020**. FIEMA: São Luís, 2009.

FODOR, R.V.; SIAL, A.N.; MUKASA, S.B.; MCKEE, E.H. Petrology, isotope characteristics, and K-Ar ages of the Maranhão, northern Brazil, mesozoic basalt province. **Contributions to Mineralogy and Petrology**, n. 104, p. 555-567, 1990.

GODET, M. **Prospective et planification strategique**. Paris: CPE-Economica, 1985.

IBGE. **Atlas do Maranhão**. 1984. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/disseminação/catálogo>>. Acesso em: 29 jun. 2012.

LINDGREN, M.; BANDHOLD, H. **Scenario planning: the link between future and strategy**. [London]: Palgrave/MacMillan, 2003.

MARANHÃO. Governo do Estado. **Oportunidades de negócios no Maranhão**. São Luís: FIEMA/SINCT, 2006. Disponível em: <<http://fiema.interjornal.com.br/docs/>

>. Acesso em: 29 jun. 2012.

MARCIAL, E.C.; GRUMBACH, R.J.S. **Cenários prospectivos: como construir um futuro melhor**. 3. ed. Rio de Janeiro: FGV, 2003.

MARQUES, V.J.; SERFATY-MARQUES, S. Geosciences and sustainable land development in Amazônia. In: INTERNATIONAL GEOLOGICAL CONGRESS, 31., 2000, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: International Union of Geological Sciences, 2000.

MARQUES, V.J.; SERFATY-MARQUES, S. Uma visão geocientífica para o zoneamento ecológico-econômico. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 7., 2001, Belém. **Resumos Expandidos...** Belém: SBG-Núcleo Norte, 2001a.

MARQUES, V.J.; SERFATY-MARQUES, S. O zoneamento ecológico-econômico como ferramenta do planejamento e da gestão territorial. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 7., 2001, Belém. **Resumos Expandidos...** Belém: SBG-Núcleo Norte, 2001b.

PORTO, C. (Org.). **Quatro cenários para o Brasil: 2005-2007**. Rio de Janeiro: Garamond, 2005. 158 p.

REZENDE, N. das G.A. da M. **A zona zeolítica da formação Corda, bacia do Parnaíba**. 2002. 142 f. Dissertação (Mestrado em Geoquímica e Petrologia) – Universidade Federal do Pará, Belém, 2002.

RINGLAND, G. **Scenario planning: managing for the future**. Chichester, West Sussex: John Wiley and Sons, 1998.

SANTOS, M. Sociedade e espaço: a formação social como teoria e como método. **Boletim Paulista de Geografia**, São Paulo, n. 54, p. 81-100, jun. 1977.

SANTOS, M. **A natureza do espaço: técnica e tempo, razão e emoção**. São Paulo: Hucitec, 1996.

SOCHAVA, V.B. **O estudo de geossistemas**. São Paulo: Instituto de Geografia-USP, 1977. 51 p. (Métodos em Questão, 16).

SOCHAVA, V.B. **Por uma teoria de classificação de geossistemas da vida terrestre**. São Paulo: Instituto de Geografia-USP, 1978. 23 p. (Biogeografia, 14).

APÊNDICE I

UNIDADES GEOLÓGICO-AMBIENTAIS DO TERRITÓRIO BRASILEIRO

DESCRIÇÃO DO DOMÍNIO GEOLÓGICO-AMBIENTAL	CÓD. DOMÍNIO UNIGEO	CARACTERIZAÇÃO DA UNIDADE GEOLÓGICO-AMBIENTAL	CÓD. UNIGEO
DOMÍNIO DOS SEDIMENTOS CENOZOICOS INCONSOLIDADOS OU POUCO CONSOLIDADOS, DEPOSITADOS EM MEIO AQUOSO.	DC	Ambiente de planícies aluvionares recentes – Material inconsolidado e de espessura variável. Da base para o topo, é formado por cascalho, areia e argila.	DCa
		Ambiente de terraços aluvionares – Material inconsolidado a semiconsolidado, de espessura variável. Da base para o topo, é formado por cascalho, areia e argila.	DCta
		Ambiente fluviolacustre – Predomínio de sedimentos arenosos, intercalados com camadas argilosas, ocasionalmente com presença de turfa. Ex.: Fm. Içá.	DCfl
		Ambiente lagunar – Predomínio de sedimentos argilosos.	DCI
		Ambiente paludal – Predomínio de argilas orgânicas e camadas de turfa.	DCp
		Ambiente marinho costeiro – Predomínio de sedimentos arenosos.	DCmc
		Ambiente misto (Marinho/Continental) – Intercalações irregulares de sedimentos arenosos, argilosos, em geral ricos em matéria orgânica (mangues).	DCm
DOMÍNIO DOS SEDIMENTOS CENOZOICOS INCONSOLIDADOS DO TIPO COLUVIÃO E TÁLUS.	DCICT	Colúvio e tálus – Materiais inconsolidados, de granulometria e composição diversa proveniente do transporte gravitacional.	DCICT
DOMÍNIO DOS SEDIMENTOS INDIFERENCIADOS CENOZOICOS RELACIONADOS A RETRABALHAMENTO DE OUTRAS ROCHAS, GERALMENTE ASSOCIADOS A SUPERFÍCIES DE APLAINAMENTO. Obs.: Engloba as coberturas que existem na zona continental e representam uma fase de retrabalhamento de outras rochas que sofreram pequeno transporte em meio não aquoso ou pouco aquoso.	DCSR	Relacionado a sedimentos retrabalhados de outras rochas – Coberturas arenoconglomeráticas e/ou siltico-argilosas associadas a superfícies de aplainamento.	DCSR
DOMÍNIO DOS SEDIMENTOS CENOZOICOS PROVENIENTES DA ALTERAÇÃO DE ROCHA <i>IN SITU</i> COM GRAU DE ALTERAÇÃO VARIANDO DE SAPRÓLITO A SOLO RESIDUAL, EXCETO AS LATERITAS.	DCEL	Sedimentos eluviais.	DCEL
DOMÍNIO DOS SEDIMENTOS CENOZOICOS BIOCLÁSTICOS.	DCB	Plataforma continental – recifes.	DCBr
DOMÍNIO DOS SEDIMENTOS CENOZOICOS EÓLICOS.	DCE	Dunas móveis – Material arenoso inconsolidado.	DCEm

DESCRIÇÃO DO DOMÍNIO GEOLÓGICO-AMBIENTAL	CÓD. DOMÍNIO UNIGEO	CARACTERIZAÇÃO DA UNIDADE GEOLÓGICO-AMBIENTAL	CÓD. UNIGEO
DOMÍNIO DOS SEDIMENTOS CENOZOICOS EÓLICOS.	DCE	Dunas fixas – Material arenoso fixado pela vegetação.	DCEf
DOMÍNIO DOS SEDIMENTOS CENOZOICOS SEMICONSOLIDADOS FLUVIAIS.	DCF	Depósitos fluviais antigos – Intercalações de níveis arenosos, argilosos, siltosos e cascalhos semiconsolidados. Ex.: Formação Pariqueira-Açu.	DCFa
DOMÍNIO DAS COBERTURAS CENOZOICAS DETRITO-LATERÍTICAS.	DCDL	Depósitos detrito-lateríticos – Provenientes de processos de lateritização em rochas de composições diversas sem a presença de crosta.	DCDL
		Horizonte laterítico <i>in situ</i> – Proveniente de processos de lateritização em rochas de composições diversas formando crosta. Ex.: Crostas ferruginosas.	DCDLi
DOMÍNIO DAS COBERTURAS CENOZOICAS DETRITO-CARBONÁTICAS.	DCDC	Depósitos detrito-carbonáticos – Provenientes de processos de lateritização em rochas carbonáticas. Ex.: Formação Caatinga.	DCDC
DOMÍNIO DOS SEDIMENTOS CENOZOICOS E/OU MESOZOICOS POUCO A MODERADAMENTE CONSOLIDADOS, ASSOCIADOS A PEQUENAS BACIAS CONTINENTAIS DO TIPO <i>RIFT</i> .	DCMR	Predomínio de sedimentos arenosos. Ex.: Sedimentos associados a pequenas bacias continentais do tipo <i>rift</i> , como as bacias de Curitiba, São Paulo, Taubaté, Resende, dentre outras.	DCMRa
		Predomínio dos sedimentos siltico-argilosos.	DCMRsa
		Calcários com intercalações siltico-argilas. Ex.: Formação Tremembé.	DCMRcsa
DOMÍNIO DOS SEDIMENTOS CENOZOICOS POUCO A MODERADAMENTE CONSOLIDADOS, ASSOCIADOS A TABULEIROS.	DCT	Alternância irregular entre camadas de sedimentos de composição diversa (arenito, siltito, argilito e cascalho). Ex.: Formação Barreiras.	DCT
DOMÍNIO DOS SEDIMENTOS CENOZOICOS E/OU MESOZOICOS POUCO A MODERADAMENTE CONSOLIDADOS, ASSOCIADOS A PROFUNDAS E EXTENSAS BACIAS CONTINENTAIS.	DCM	Predomínio de sedimentos arenoargilosos e/ou siltico-argilosos de deposição continental lacustrina deltaica, ocasionalmente com presença de linhito. Ex.: Formação Solimões.	DCMIld
		Predomínio de sedimentos arenosos de deposição continental, lacustre, fluvial ou eólica – arenitos. Ex.: Formação Urucuí.	DCMa
DOMÍNIO DAS SEQUÊNCIAS SEDIMENTARES MESOZOICAS CLASTOCARBONÁTICAS CONSOLIDADAS EM BACIAS DE MARGENS CONTINENTAIS (<i>RIFT</i>).	DSM	Predomínio de calcário e sedimentos siltico-argilosos.	DSMc
		Predomínio de sedimentos quartzoarenosos e conglomeráticos, com intercalações de sedimentos siltico-argilosos e/ou calcíferos.	DSMqcg
		Predomínio de sedimentos siltico-argilosos, com alternância de sedimentos arenosos e conglomeráticos.	DSMsa

DESCRIÇÃO DO DOMÍNIO GEOLÓGICO-AMBIENTAL	CÓD. DOMÍNIO UNIGEO	CARACTERIZAÇÃO DA UNIDADE GEOLÓGICO-AMBIENTAL	CÓD. UNIGEO
DOMÍNIO DAS SEQUÊNCIAS SEDIMENTARES MESOZOICAS CLASTOCARBONÁTICAS CONSOLIDADAS EM BACIAS DE MARGENS CONTINENTAIS (<i>RIFT</i>).	DSM	Intercalações de sedimentos siltico-argilosos e quartzarenosos.	DSMsaq
		Intercalação de sedimentos siltico-argilosos e camadas de carvão.	DSMscv
DOMÍNIO DAS COBERTURAS SEDIMENTARES MESOZOICAS (CRETÁCEAS), POUCA A MODERADAMENTE CONSOLIDADAS Ex.: Grupo Bauru (formações Vale do Rio do Peixe, Marília, Rio Paraná, São José do Rio Preto) e Grupo Caiuá (formações Santo Anastácio e Goio-Erê).	DSMC	Predomínio de sedimentos quartzarenosos finos, com cimentação carbonática e intercalações subordinadas siltico-argilosas (ambientes deposicionais: eólico e/ou eólico/fluvial). Ex.: Formações Goio-Erê, Araçatuba, Presidente Prudente.	DSMCef
		Predomínio de sedimentos quartzarenosos finos (ambiente deposicional eólico). Ex.: Formações Vale do Rio do Peixe, Rio Paraná e São José do Rio Preto.	DSMCe
DOMÍNIO DAS COBERTURAS SEDIMENTARES E VULCANOSSEDIMENTARES MESOZOICAS E PALEOZOICAS, POUCA A MODERADAMENTE CONSOLIDADAS, ASSOCIADAS A GRANDES E PROFUNDAS BACIAS SEDIMENTARES DO TIPO SINÉCLISE (AMBIENTES DEPOSICIONAIS: CONTINENTAL, MARINHO, DESÉRTICO, GLACIAL E VULCÂNICO).	DSVMP	Predomínio de sedimentos arenosos malselecionados.	DSVMPa
		Predomínio de espessos pacotes de arenitos de deposição eólica. Ex.: Arenito Botucatu.	DSVMPae
		Predomínio de espessos pacotes de arenitos de deposição mista (eólica e fluvial). Ex.: Fm. Rio do Peixe, Fm. Caiuá.	DSVMPaef
		Predomínio de arenitos e conglomerados.	DSVMPacg
		Predomínio de arenitos a arenitos caulíníticos. Ex.: Fm. Alter do Chão.	DSVMPac
		Intercalações de sedimentos arenosos, siltico-argilosos e folhelhos. Ex: Formação Itararé.	DSVMPasaf
		Predomínio de sedimentos siltico-argilosos com intercalações arenosas.	DSVMPsaa
		Predomínio de arenitos vulcanoclásticos (tufo cineríticos).	DSVMPav
		Predomínio de sedimentos siltico-argilosos e arenosos, contendo camadas de carvão.	DSVMPsaacv
		Intercalações de paraconglomerados (tilitos) e folhelhos.	DSVMPcgf

DESCRIÇÃO DO DOMÍNIO GEOLÓGICO-AMBIENTAL	CÓD. DOMÍNIO UNIGEO	CARACTERIZAÇÃO DA UNIDADE GEOLÓGICO-AMBIENTAL	CÓD. UNIGEO
<p>DOMÍNIO DAS COBERTURAS SEDIMENTARES E VULCANOSSEDIMENTARES MESOZOICAS E PALEOZOICAS, POUCA A MODERADAMENTE CONSOLIDADAS, ASSOCIADAS A GRANDES E PROFUNDAS BACIAS SEDIMENTARES DO TIPO SINÉCLISE (AMBIENTES DEPOSICIONAIS: CONTINENTAL, MARINHO, DESÉRTICO, GLACIAL E VULCÂNICO).</p>	<p>DSVMP</p>	<p>Predomínio de sedimentos síltico-argilosos e calcários com intercalações arenosas subordinadas.</p>	<p>DSVMPsaca</p>
		<p>Intercalações irregulares de sedimentos arenosos, síltico-argilosos e calcários.</p>	<p>DSVMPasac</p>
		<p>Intercalações irregulares de sedimentos arenosos e síltico-argilosos com finas camadas de evaporitos e calcários.</p>	<p>DSVMPasaec</p>
		<p>Predomínio de rochas calcárias intercaladas com finas camadas síltico-argilosas.</p>	<p>DSVMPcsa</p>
		<p>Arenitos, conglomerados, tilitos e folhelhos. Ex.: Grupo Curuá.</p>	<p>DSVMPactf</p>
		<p>Arenitos, conglomerados, siltitos, folhelhos e calcário. Ex.: Grupo Alto Tapajós.</p>	<p>DSVMPacsfc</p>
		<p>Predomínio de sedimentos síltico-argilosos intercalados de folhelhos betuminosos e calcários. Ex.: Formação Irati.</p>	<p>DSVMPsabc</p>
		<p>Predomínio de arenitos e intercalações de pelitos. Ex.: Formação Utiariti.</p>	<p>DSVMPap</p>
<p>DOMÍNIO DO VULCANISMO FISSURAL DO TIPO PLATÔ</p> <p>Ex.: Basaltos das bacias do Paraná e Maranhão, Diques Básicos; Basalto Penetecaua, Kumdku do Mesozoico; Formação Seringa, de idade mesoproterozoica.</p>	<p>DVM</p>	<p>Predomínio de rochas básicas intrusivas.</p>	<p>DVMgd</p>
		<p>Predomínio de rochas básicas extrusivas (basaltos).</p>	<p>DVMb</p>
		<p>Predomínio de basalto com <i>intertraps</i> subordinados de arenito.</p>	<p>DVMba</p>
		<p>Predomínio de rochas ácidas (riolitos e/ou riodacitos).</p>	<p>DVMrrd</p>
		<p>Predomínio de rochas intermediárias (dacitos, andesitos e/ou basaltos andesíticos).</p>	<p>DVMdaba</p>
<p>DOMÍNIO DOS COMPLEXOS ALCALINOS INTRUSIVOS E EXTRUSIVOS, DIFERENCIADOS DO PALEÓGENO, MESOZOICO E PROTEROZOICO.</p> <p>Ex.: Alcalinas do Lineamento de Cabo Frio, Lajes.</p>	<p>DCA</p>	<p>Indeterminado.</p>	<p>DCAin</p>

DESCRIÇÃO DO DOMÍNIO GEOLÓGICO-AMBIENTAL	CÓD. DOMÍNIO UNIGEO	CARACTERIZAÇÃO DA UNIDADE GEOLÓGICO-AMBIENTAL	CÓD. UNIGEO
DOMÍNIO DOS COMPLEXOS ALCALINOS INTRUSIVOS E EXTRUSIVOS, DIFERENCIADOS DO PALEÓGENO, MESOZOICO E PROTEROZOICO. Ex.: Alcalinas do Lineamento de Cabo Frio, Lajes.	DCA	Tufo, brecha e demais materiais piroclásticos.	DCAtbr
		Série subalcalina (monzonitos, quartzomonzonitos, mangeritos etc.).	DCAsbalc
		Série alcalina saturada e alcalina subsaturada (sienito, quartzossienitos, traquitos, nefelina sienito, sodalita sienito etc.).	DCAalc
		Gabro, anortosito, carbonatito, dique de lamprófito.	DCAganc
		Série alcalina saturada e/ou subsaturada, com rochas básicas e/ou ultrabásicas associadas.	DCAalcubu
DOMÍNIO DAS SEQUÊNCIAS SEDIMENTARES E VULCANOSSEDIMENTARES DO EOPALEOZOICO, ASSOCIADAS A RIFTS, NÃO OU POUCO DEFORMADAS E METAMORFIZADAS. Ex.: Grupo Camaquã, Fm. Campo Alegre	DSVE	Predomínio de rochas sedimentares.	DSVEs
		Sequência vulcanossedimentar.	DSVEvs
		Predomínio de vulcânicas.	DSVEv
DOMÍNIO DAS SEQUÊNCIAS SEDIMENTARES PROTEROZOICAS DO TIPO MOLASSA, NÃO OU POUCO DEFORMADAS E METAMORFIZADAS Ex.: Formação Camarinha	DSPM	Predomínio de metaconglomerados intercalados de metarenitos arcoseanos, metarcóseos e metassiltitos.	DSPMcgas
DOMÍNIO DAS COBERTURAS SEDIMENTARES PROTEROZOICAS, NÃO OU MUITO POUCO DOBRADAS E METAMORFIZADAS. CARACTERIZADAS POR UM EMPILHAMENTO DE CAMADAS HORIZONTALIZADAS E SUB-HORIZONTALIZADAS DE VÁRIAS ESPESSURAS, DE SEDIMENTOS CLASTOQUÍMICOS DE VÁRIAS COMPOSIÇÕES E ASSOCIADOS AOS MAIS DIFERENTES AMBIENTES TECTONODEPOSICIONAIS. Ex.: Fms. Palmeiral, Aguapeí, Dardanelos, Prosperança, Ricardo Franco, Roraima, Beneficente, Jacadigo e Cuiabá.	DSP1	Indiferenciado	DSP1in
		Predomínio de sedimentos arenosos e conglomeráticos, com intercalações subordinadas de sedimentos siltico-argilosos.	DSP1acgsa
		Intercalações irregulares de sedimentos arenosos, siltico-argilosos e formações ferríferas e manganêsíferas.	DSP1asafmg
		Predomínio de sedimentos siltico-argilosos, com intercalações subordinadas de arenitos e metarenito feldspático.	DSP1saagr
		Rochas calcárias com intercalações subordinadas de sedimentos siltico-argilosos e arenosos.	DSP1csaa

DESCRIÇÃO DO DOMÍNIO GEOLÓGICO-AMBIENTAL	CÓD. DOMÍNIO UNIGEO	CARACTERIZAÇÃO DA UNIDADE GEOLÓGICO-AMBIENTAL	CÓD. UNIGEO
<p>DOMÍNIO DAS COBERTURAS SEDIMENTARES PROTEROZOICAS, NÃO OU MUITO POUCO DOBRADAS E METAMORFIZADAS. CARACTERIZADAS POR UM EMPILHAMENTO DE CAMADAS HORIZONTALIZADAS E SUB-HORIZONTALIZADAS DE VÁRIAS ESPESSURAS, DE SEDIMENTOS CLASTOQUÍMICOS DE VÁRIAS COMPOSIÇÕES E ASSOCIADOS AOS MAIS DIFERENTES AMBIENTES TECTONODEPOSICIONAIS.</p> <p>Ex.: Fms. Palmeiral, Aguapeí, Dardanelos, Prosperança, Ricardo Franco, Roraima, Beneficente, Jacadigo e Cuiabá.</p>	DSP1	Diamictitos, metarenitos feldspáticos, sedimentos arenosos e siltico-argilosos.	DSP1dgrsa
		Predomínio de sedimentos siltico-argilosos com intercalações subordinadas de rochas calcárias.	DSP1sac
		Predomínio de sedimentos siltico-argilosos, com intercalações de arenitos. Ex.: Formação Suapi e Supergrupo Roraima.	DSP1saa
<p>DOMÍNIO DAS SEQUÊNCIAS VULCÂNICAS OU VULCANOSSEDIMENTARES PROTEROZOICAS, NÃO OU POUCO DOBRADAS E METAMORFIZADAS</p> <p>Ex.: Formações Uatumã, Uailã, Iriri, Surumu, Iricomé e Cachoeira da Ilha.</p>	DSVP1	Predomínio de vulcanismo ácido a intermediário.	DSVP1va
		Predomínio de vulcanismo básico.	DSVP1vb
		Sequência vulcanossedimentar.	DSVP1vs
		Vulcanismo ácido a intermediário e intercalações de sedimentos arenosos e siltico-argilosos, podendo conter formações ferríferas e/ou manganêsíferas.	DSVP1vaa
		Predomínio de ortoconglomerados.	DSVP1ocg
		Predomínio de sedimentos arenosos e conglomerados, com intercalações de sedimentos siltico-argilosos. Ex.: Bacias de Campo Alegre e de Itajaí; Orógeno Pelotas.	DSVP1sacg
<p>DOMÍNIO DAS SEQUÊNCIAS SEDIMENTARES PROTEROZOICAS DOBRADAS, METAMORFIZADAS DE BAIXO A ALTO GRAU</p>	DSP2	Metarenitos, quartzitos e metaconglomerados.	DSP2mqmtc
		Predomínio de metarenitos e quartzitos, com intercalações irregulares de metassedimentos siltico-argilosos e formações ferríferas ou manganêsíferas.	DSP2mqsafmg
		Intercalações irregulares de metassedimentos arenosos e siltico-argilosos.	DSP2msa
		Predomínio de metassedimentos siltico-argilosos, com intercalações de metarenitos feldspáticos.	DSP2sag
		Predomínio de metassedimentos siltico-argilosos, representados por xistos, com intercalações de metassedimentos arenosos, metacalcários e calssilicáticas.	DSP2mxaccal

DESCRIÇÃO DO DOMÍNIO GEOLÓGICO-AMBIENTAL	CÓD. DOMÍNIO UNIGEO	CARACTERIZAÇÃO DA UNIDADE GEOLÓGICO-AMBIENTAL	CÓD. UNIGEO
DOMÍNIO DAS SEQUÊNCIAS SEDIMENTARES PROTEROZOICAS DOBRADAS, METAMORFIZADAS DE BAIXO A ALTO GRAU	DSP2	Predomínio de metassedimentos siltico-argilosos, representados por xistos, com níveis de quartzitos (milinotizados ou não).	DSP2xq
		Intercalações irregulares de metassedimentos arenosos, metacalcários, calcossilicáticas e xistos calcíferos.	DSP2mcx
		Predomínio de metacalcários, com intercalações subordinadas de metassedimentos siltico-argilosos e arenosos.	DSP2mcsaa
		Predomínio de sedimentos siltico-argilosos com intercalações subordinadas de arenitos.	DSP2saa
		Predomínio de quartzitos.	DSP2q
		Predomínio de metassedimentos siltico-argilosos, representados por xistos.	DSP2x
		Metagrauvas e metaconglomerados predominantes.	DSP2mgccg
		Metavulcânicas ácidas a intermediárias xistificadas, intercaladas com sedimentos psamíticos e pelíticos.	DSP2mvx
		Predomínio de metadiamicctos e filitos, localmente com lentes de quartzitos.	DSP2mdmf
DOMÍNIO DAS SEQUÊNCIAS VULCANOSSEDIMENTARES PROTEROZOICAS DOBRADAS METAMORFIZADAS DE BAIXO A ALTO GRAU.	DSVP2	Indiferenciado.	DSVP2in
		Predomínio de quartzitos.	DSVP2q
		Predomínio de metassedimentos siltico-argilosos, representados por xistos.	DSVP2x
		Predomínio de rochas metacalcárias, com intercalações de finas camadas de metassedimentos siltico-argilosos.	DSVP2csa
		Metacherts, metavulcânicas, formações ferríferas e/ou formações manganíferas, metacalcários, metassedimentos arenosos e siltico-argilosos.	DSVP2vfc

DESCRIÇÃO DO DOMÍNIO GEOLÓGICO-AMBIENTAL	CÓD. DOMÍNIO UNIGEO	CARACTERIZAÇÃO DA UNIDADE GEOLÓGICO-AMBIENTAL	CÓD. UNIGEO
DOMÍNIO DAS SEQUÊNCIAS VULCANOSSEDIMENTARES PROTEROZOICAS DOBRADAS METAMORFIZADAS DE BAIXO A ALTO GRAU.	DSVP2	Metarenitos feldspáticos, metarenitos, tufos e metavulcânicas básicas a intermediárias.	DSVP2gratv
		Metassedimentos síltico-argilosos e vulcânicas ácidas.	DSVP2mva
		Predomínio de rochas metabásicas e metaultramáficas.	DSVP2bu
		Metacherts, metarenitos, metapelitos, vulcânicas básicas, formações ferríferas e formações manganésíferas.	DSVP2af
		Metarenitos, metachert, metavulcânicas ácidas a intermediárias, formações ferríferas e/ou manganésíferas.	DSVP2avf
		Predomínio de vulcânicas ácidas.	DSVP2va
		Predomínio de metapelitos, com intercalações de rochas metabásicas e/ou metaultramáficas.	DSVP2pbu
		Metacherts, metarenitos e/ou metapelitos.	DSVP2cap
		Predomínio de metaconglomerados milonitizados, intercalados com metavulcânicas.	DSVP2mcv
		Metassedimentos pelíticos intercalados com metavulcânicas.	DSVP2msmv
		Metapelitos, metacarbonatos e quartzitos intercalados com metavulcânicas.	DSVP2pcqv
		Metavulcânicas, metacalcários, metacherts, metassedimentos arenosos, calcissilicáticas, xistos e ultramafitos.	DSVP2vscu
Predomínio de metarenitos e quartzitos com intercalações irregulares de metassedimentos síltico-argilosos e formações ferríferas ou manganésíferas.	DSVP2mqsafmg		
DOMÍNIO DAS SEQUÊNCIAS VULCANOSSEDIMENTARES TIPO <i>GREENSTONE BELT</i> , ARQUEANO ATÉ O MESOPROTEROZOICO. Ex.: Crixás, Araci, Rio das Velhas, Natividade e Rio Maria.	DGB	Sequência vulcânica komatiítica associada a talco-xistos, anfíbolitos, <i>cherts</i> , formações ferríferas e metaultrabasitas.	DGBko

DESCRIÇÃO DO DOMÍNIO GEOLÓGICO-AMBIENTAL	CÓD. DOMÍNIO UNIGEO	CARACTERIZAÇÃO DA UNIDADE GEOLÓGICO-AMBIENTAL	CÓD. UNIGEO
DOMÍNIO DAS SEQUÊNCIAS VULCANOSSEDIMENTARES TIPO <i>GREENSTONE BELT</i> , ARQUEANO ATÉ O MESOPROTEROZOICO. Ex.: Crixás, Araci, Rio das Velhas, Natividade e Rio Maria.	DGB	Predomínio de sequência sedimentar.	DGBss
		Sequência vulcanossedimentar, com alta participação de metavulcânicas ácidas e intermediárias.	DGBvai
		Sequência vulcanossedimentar.	DGBvs
DOMÍNIO DOS CORPOS MÁFICO-ULTRAMÁFICOS (SUÍTES KOMATIÍTICAS, SUÍTES TOLEÍTICAS, COMPLEXOS BANDADOS). Ex.: Cana Brava, Barro Alto e Niquelândia. Básicas e Ultrabásicas Alcalinas e Vulcanismo Associado.	DCMU	Série máfico-ultramáfica (dunito, peridotito etc.).	DCMUmu
		Série básica e ultrabásica (gabro, anortosito etc.).	DCMUbu
		Vulcânicas básicas.	DCMUvb
		Metamáficas, anfíbolitos e gnaisses calcissilicáticos.	DCMUmg
DOMÍNIO DOS CORPOS BÁSICOS SOB A FORMA DE SOLEIRAS E DIQUES DE IDADES VARIADAS, NÃO METAMORFIZADOS	DCBSD	Corpos básicos na forma de diques e <i>sills</i> . Ex.: Corpo de Diabásio Avanavero e Taiano.	DCBSDds
DOMÍNIO DOS COMPLEXOS GRANITOIDES NÃO DEFORMADOS.	DCGR1	Associações charnockíticas. Ex.: Piroxênio granitoides etc. Minerais diagnósticos: hiperstênio, diopsídio.	DCGR1ch
		Séries graníticas peralcalinas. Ex.: Granitos alcalinos a riebeckita e arfvedsonita.	DCGR1palc
		Séries graníticas alcalinas. Ex.: Alcalifeldspato granitos, sienogranitos, monzogranitos, quartzomonzonitos, monzonitos, quartzossienitos, sienitos, quartzo-alcalissienitos, alcalissienitos etc. Alguns minerais diagnósticos: fluorita, alanita.	DCGR1alc
DOMÍNIO DOS COMPLEXOS GRANITOIDES NÃO DEFORMADOS.	DCGR1	Séries graníticas subalcalinas: calcialcalinas (baixo, médio e alto-K) e toleíticas. Ex.: Sienogranitos, monzogranitos, granodioritos, tonalitos, dioritos, quartzomonzonitos, monzonitos etc. Alguns minerais diagnósticos: hornblenda, biotita, titanita, epidoto.	DCGR1salc
		Granitoides peraluminosos. Ex.: Sienogranitos, monzogranitos, granodioritos etc. Minerais diagnósticos: muscovita, granada, cordierita, silimanita, monazita, xenotima.	DCGR1pal

DESCRIÇÃO DO DOMÍNIO GEOLÓGICO-AMBIENTAL	CÓD. DOMÍNIO UNIGEO	CARACTERIZAÇÃO DA UNIDADE GEOLÓGICO-AMBIENTAL	CÓD. UNIGEO
DOMÍNIO DOS COMPLEXOS GRANITOIDES NÃO DEFORMADOS.	DCGR1	Série shoshonítica. Ex.: Gabrodiorito a quartzomonzonito etc. Minerais diagnósticos: augita, diopsídio e/ou hiperstênio, anfibólio e plagioclásio.	DCGR1sho
		Indeterminado.	DCGR1in
DOMÍNIO DOS COMPLEXOS GRANITOIDES DEFORMADOS.	DCGR2	Associações charnoquíticas. Ex.: Piroxênio granitoides etc. Minerais diagnósticos: hiperstênio, diopsídio.	DCGR2ch
		Séries graníticas peralcalinas. Ex.: Granitos alcalinos a riebequita e arfvedsonita.	DCGR2palc
		Séries graníticas alcalinas. Ex.: Alcalifeldspato granitos, sienogranitos, monzogranitos, quartzomonzonitos, monzonitos, quartzossienitos, sienitos, quartzo-alcalissienitos, alcalissienitos etc. Alguns minerais diagnósticos: fluorita, alanita.	DCGR2alc
		Séries graníticas subalcalinas: calcalcalinas (baixo, médio e alto-K) e toleíticas. Ex.: Sienogranitos, monzogranitos, granodioritos, tonalitos, quartzomonzodioritos, dioritos quartzomonzonitos, monzonitos etc. Alguns minerais diagnósticos: hornblenda, biotita, titanita, epidoto.	DCGR2salc
		Granitoides peraluminosos. Ex.: Sienogranitos, monzogranitos, granodioritos etc. Minerais diagnósticos: muscovita, granada, cordierita, silimanita, monazita, xenotima.	DCGR2pal
		Série shoshonítica. Ex.: Gabrodiorito a quartzomonzonito etc. Minerais diagnósticos: augita, diopsídio e/ou hiperstênio, anfibólio e plagioclásio.	DCGR2sho
		Indeterminado.	DCGR2in
DOMÍNIO DOS COMPLEXOS GRANITOIDES INTENSAMENTE DEFORMADOS: ORTOGNAISSES	DCGR3	Associações charnoquíticas. Ex.: Piroxênio granitoides etc. Minerais diagnósticos: hiperstênio, diopsídio.	DCGR3ch
		Séries graníticas peralcalinas. Ex.: Granitos alcalinos a riebequita e arfvedsonita.	DCGR3palc
		Séries graníticas alcalinas. Ex.: Alcalifeldspato granitos, sienogranitos, monzogranitos, quartzomonzonitos, monzonitos, quartzossienitos, sienitos, quartzo-alcalissienitos, alcalissienitos etc. Alguns minerais diagnósticos: fluorita, alanita.	DCGR3alc

DESCRIÇÃO DO DOMÍNIO GEOLÓGICO-AMBIENTAL	CÓD. DOMÍNIO UNIGEO	CARACTERIZAÇÃO DA UNIDADE GEOLÓGICO-AMBIENTAL	CÓD. UNIGEO
DOMÍNIO DOS COMPLEXOS GRANITOIDES INTENSAMENTE DEFORMADOS: ORTOGNAISSES	DCGR3	Séries graníticas subalcalinas: calcialcalinas (baixo, médio e alto-K) e toleíticas. Ex.: Sienogranitos, monzogranitos, granodioritos, tonalitos, dioritos, quartzomonzonitos, monzonitos etc. Alguns minerais diagnósticos: hornblenda, biotita, titanita, epidoto.	DCGR3salc
		Granitoides peraluminosos. Ex.: Sienogranitos, monzogranitos, granodioritos etc. Minerais diagnósticos: muscovita, granada, cordierita, silimanita, monazita, xenotima.	DCGR3pal
		Série Shoshonítica. Ex: Gabrodiorito a quartzomonzonito etc. Minerais diagnósticos: augita, diopsídio e/ou hiperstênio, anfibólio e plagioclásio.	DCGR3sho
		Indeterminado.	DCGR3in
DOMÍNIO DOS COMPLEXOS GNÁISSICO-MIGMATÍTICOS E GRANULÍTICOS.	DCGMGL	Predominam migmatitos ortoderivados.	DCGMGLmo
		Predominam migmatitos paraderivados.	DCGMGLmp
		Predomínio de gnaisses paraderivados. Podem conter porções migmatíticas.	DCGMGLgnp
		Migmatitos indiferenciados.	DCGMGLmgi
		Gnaisse-granulito paraderivado. Podem conter porções migmatíticas.	DCGMGLglp
		Predomínio de paragnaisses com elevada incidência de cobertura detrito-laterítica.	DCGMGLdl
		Gnaisses granulíticos ortoderivados. Podem conter porções migmatíticas.	DCGMGLglo
		Granulitos indiferenciados.	DCGMGLgli

DESCRIÇÃO DO DOMÍNIO GEOLÓGICO-AMBIENTAL	CÓD. DOMÍNIO UNIGEO	CARACTERIZAÇÃO DA UNIDADE GEOLÓGICO-AMBIENTAL	CÓD. UNIGEO
DOMÍNIO DOS COMPLEXOS GNÁISSICO-MIGMATÍTICOS E GRANULÍTICOS.	DCGMGL	Predomínio de gnaisses ortoderivados. Podem conter porções migmatíticas.	DCGMGLgno
		Gnaisses indiferenciados.	DCGMGLgni
		Metacarbonatos.	DCGMGLcar
		Anfibolitos.	DCGMGLaf
		Gnaisses, migmatitos e/ou granulitos, com alta incidência de corpos de metamáficas e/ou metaultramáficas.	DCGMGLmu
		Gnaisses, migmatitos e/ou granulitos, associados a rochas metamáficas e/ou metaultramáficas, incluindo formações ferríferas bandadas.	DCGMGLmufb
		Predomínio de quartzito.	DCGMGLqt

APÊNDICE **II**

BIBLIOTECA DE RELEVO DO TERRITÓRIO BRASILEIRO

Marcelo Eduardo Dantas (marcelo.dantas@cprm.gov.br)

CPRM – Serviço Geológico do Brasil

A ANÁLISE DE PADRÕES DE RELEVO COMO UM INSTRUMENTO APLICADO AO MAPEAMENTO DA GEODIVERSIDADE

Ab'Saber, em seu artigo "Um conceito de geomorfologia a serviço das pesquisas sobre o quaternário" [*Geomorfologia*, São Paulo, n. 18, 1969], já propunha uma análise dinâmica da Geomorfologia aplicada aos estudos ambientais, com base na pesquisa de três fatores interligados: identificação de uma **compartimentação morfológica dos terrenos**; levantamento da **estrutura superficial das paisagens** e estudo da **fisiologia da paisagem** (Figura II.1).

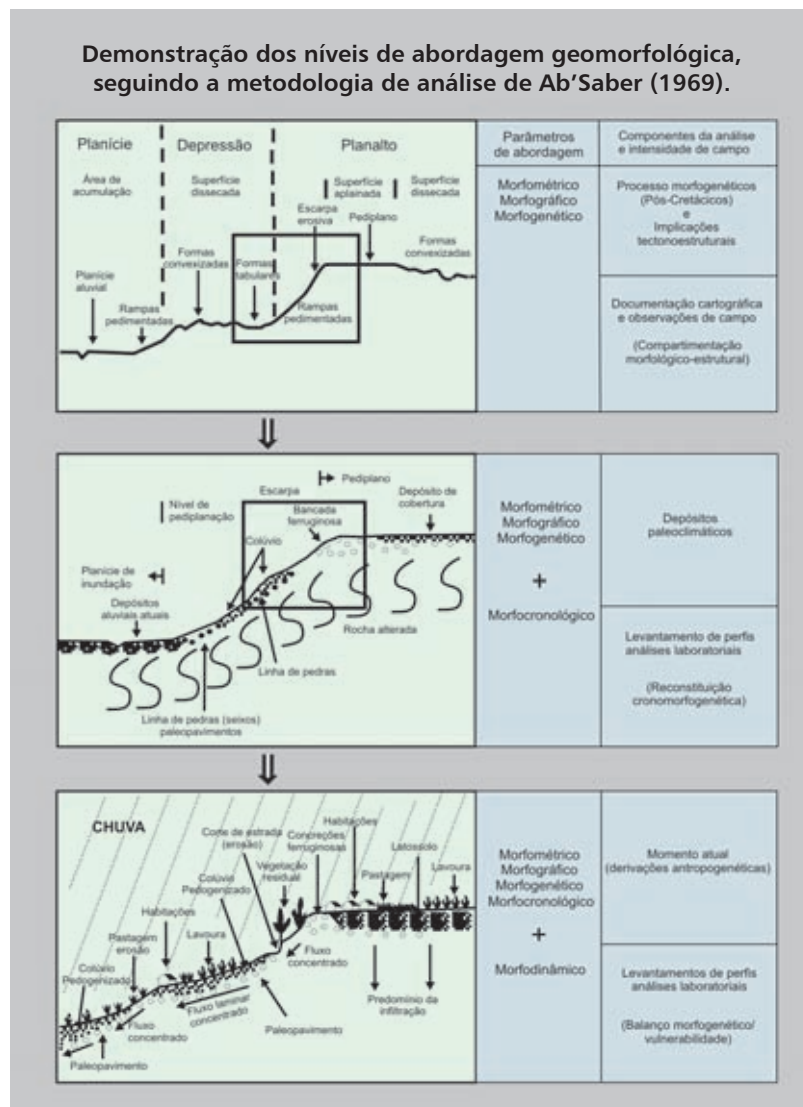
A **compartimentação morfológica dos terrenos** é obtida a partir da avaliação empírica dos diversos conjuntos de formas e padrões de relevo posicionados em diferentes níveis topográficos, por meio de observações de campo e análise de sensores remotos (fotografias aéreas, imagens de satélite e Modelo Digital de Terreno (MDT)). Essa avaliação é diretamente aplicada aos estudos de ordenamento do uso do solo e planejamento territorial,

constituindo-se em uma primeira e fundamental contribuição da Geomorfologia.

A **estrutura superficial das paisagens** consiste no estudo dos mantos de alteração *in situ* (formações superficiais autóctones) e coberturas inconsolidadas (formações superficiais alóctones) que jazem sob a superfície dos terrenos. É de grande relevância para a compreensão da gênese e evolução das formas de relevo e, em aliança com a compartimentação morfológica dos terrenos, constitui-se em importante ferramenta para se avaliar o grau de fragilidade natural dos terrenos frente aos processos erosivodepositivos.

A **fisiologia da paisagem**, por sua vez, consiste na análise integrada das diversas variáveis ambientais em sua interface com a Geomorfologia. Ou seja, a influência de condicionantes litológico-estruturais, padrões climáticos e tipos de solos na configuração física das paisagens. Com essa terceira avaliação objetiva-se, também, compreender a ação dos processos erosivodepositivos atuais, incluindo todos os impactos decorrentes da ação antropogênica sobre a paisagem natural. Dessa forma, embute-se na análise geomorfológica o estudo da morfodinâmica, privilegiando-se a análise de processos.

A Biblioteca de Padrões de Relevo do Território Brasileiro foi elaborada para atender à compartimentação geológico-geomorfológica proposta pela metodologia de mapeamento da geodiversidade do território brasileiro em escalas de análise reduzidas (1:500.000 a 1:2.500.000). Nesse sentido, sua abordagem restringe-se a avaliar o primeiro dos pressupostos elencados por Ab'Saber: a compartimentação morfológica dos terrenos. Portanto, a compartimentação de relevo efetuada nos mapeamentos de geodiversidade elaborados pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais/Serviço Geológico do Brasil (CPRM/SGB) não representa um mapeamento geomorfológico, tendo em vista que não são considerados os aspectos de gênese, evolução e morfodinâmica. Com a Biblioteca de Padrões de Relevo do Território Brasileiro, a CPRM/SGB tem como objetivo precípuo inserir informações de relevo-paisagem-geomorfologia, em uma análise integrada do meio físico aplicada ao planejamento territorial, empreendida nos mapeamentos de geodiversidade. O mapeamento de padrões de relevo representa, em linhas gerais, o 3º táxon hierárquico da metodologia de mapeamento geomorfológico proposta por Ross (1990). Em todos os Sistemas de Informação Geográfica (SIGs) de Geodiversidade desenvolvidos pela CPRM/SGB, o mapa de padrões de relevo correspon-



dente pode ser visualizado, bastando acessar, na shape, o campo de atributos "COD_REL".

REFERÊNCIAS:

AB'SABER, A.N. (1969). Um conceito de geomorfologia a serviço das pesquisas sobre o Quaternário. (Geomorfologia, 18). FFCHL, USP São Paulo, 23p.
 ROSS, J. L. S. (1990). Geomorfologia ambiente e planejamento. Ed. Contexto. São Paulo. 85p.

I – DOMÍNIO DAS UNIDADES AGRADACIONAIS

R1a – Planícies Fluviais ou Fluvialacustres (planícies de inundação, baixadas inundáveis e abaciamentos)

Relevo de agradação. Zona de acumulação atual.

Superfícies sub-horizontais, constituídas de depósitos arenoargilosos a argiloarenosos, apresentando gradientes extremamente suaves e convergentes em direção aos cursos d'água principais. Terrenos imperfeitamente drenados nas planícies de inundação, sendo periodicamente inundáveis; bem drenados nos terraços. Os abaciamentos (ou suaves depressões em solos arenosos) em áreas planas ou em

baixos interflúvios, denominados Áreas de Acumulação Inundáveis (Aai), frequentes na Amazônia, estão inseridos nessa unidade.

Amplitude de relevo: zero.

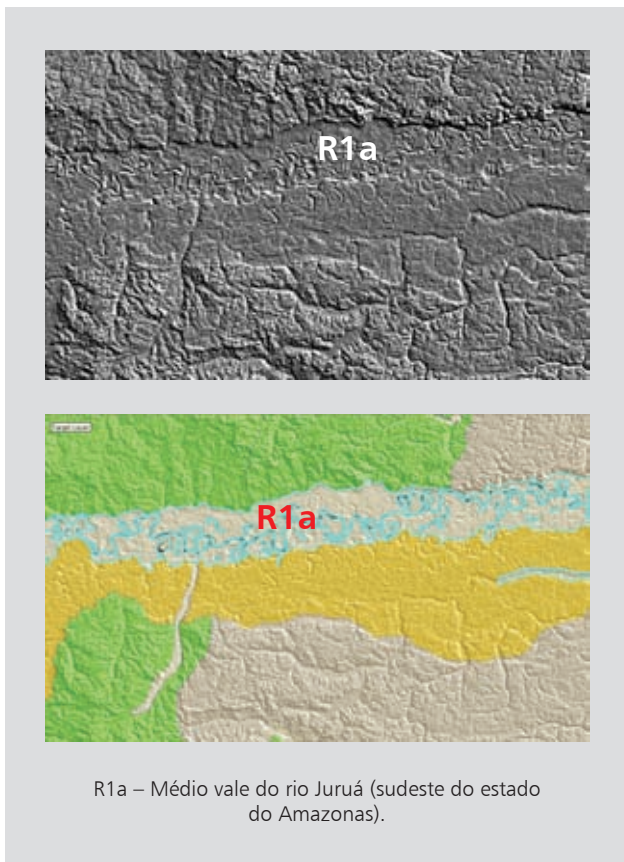
Inclinação das vertentes: 0°-3°.



R1a – Planície fluvial do alto curso do rio São João (Rio de Janeiro). Zona de Baixada Litorânea.



R1a – Planície fluvial da bacia do rio Paquequer (Rio de Janeiro). Zona montanhosa.



R1a – Médio vale do rio Juruá (sudeste do estado do Amazonas).

R1b1 – Terraços Fluviais (paleoplanícies de inundação em fundos de vales)

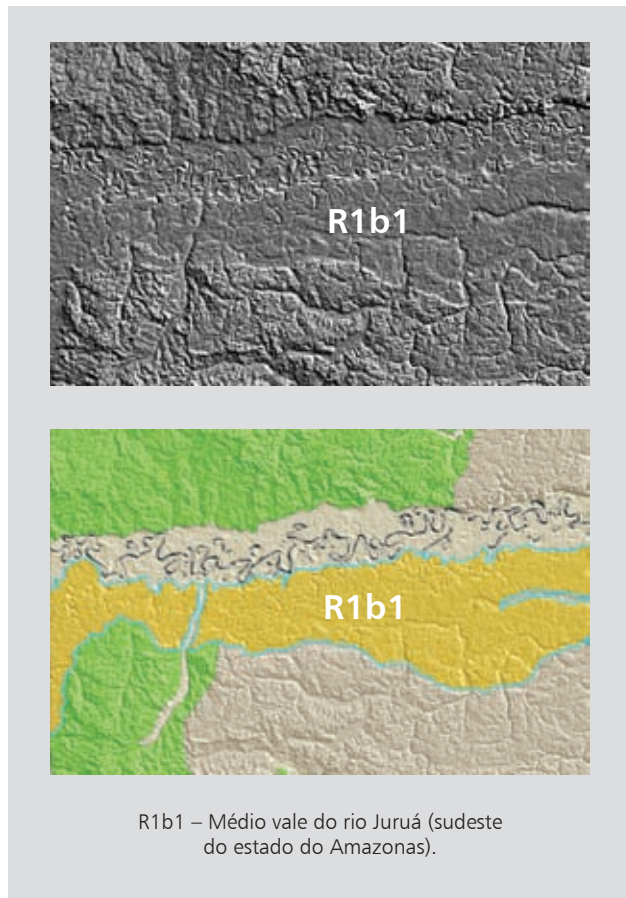
Relevo de agradação. Zona de acumulação subatual.

Superfícies bem drenadas, de relevo plano a levemente ondulado, constituído de depósitos arenosos a argilosos de origem fluvial. Consistem de paleoplanícies de inundação que se encontram em nível mais elevado que o das várzeas atuais e acima do nível das cheias sazonais. Devido à reduzida escala de mapeamento, essa unidade só pôde

ser mapeada em vales de grandes dimensões, em especial, nos rios amazônicos.

Amplitude de relevo: 2 a 20 m.

Inclinação das vertentes: 0°-3° (localmente, ressaltam-se rebordos abruptos no contato com a planície fluvial).



R1b1 – Planície e terraço fluviais do médio curso do rio Barreiro de Baixo (médio vale do rio Paraíba do Sul – SP/RJ).

R1b2 – Terraços Lagunares (paleoplanícies de inundação no rebordo de lagoas costeiras)

Relevo de agradação. Zona de acumulação subatual.

Superfícies bem drenadas, de relevo plano a levemente ondulado constituído de depósitos arenosos a argilosos de origem lagunar. Consistem de paleoplanícies de inundação que se encontram em nível mais elevado que o das planícies lagunares ou fluviolagunares atuais e acima do nível das cheias sazonais. Essa unidade encontra-se restrita ao estado do Rio Grande do Sul, mais especificamente na borda continental da Laguna dos Patos.

Amplitude de relevo: 2 a 20 m.

Inclinação das vertentes: 0°-3° (localmente, ressaltam-se rebordos abruptos no contato com a planície lagunar).

R1b3 – Terraços Marinhos (paleoplanícies marinhas   retaguarda dos atuais cordões arenosos)

Relevo de agradação. Zona de acumulação subatual.

Superfícies sub-horizontais, constituídas de depósitos arenosos, apresentando microrrelevo ondulado, geradas por processos de sedimentação marinha e/ou eólica. Terrenos bem drenados e não inundáveis.

Amplitude de relevo: até 20 m.

Inclinação das vertentes: 0°-5°.

R1c – Vertentes recobertas por depósitos de encosta (leques aluviais, rampas de colúvio e de tálus)

Relevo de agradação. Zona de acumulação atual.

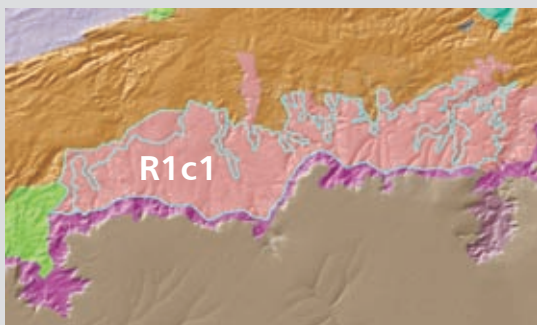
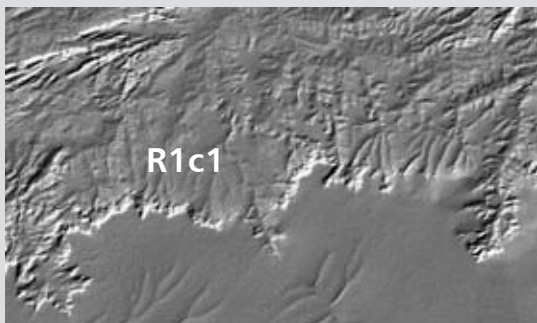
Os cones de tálus consistem de superfícies deposicionais fortemente inclinadas, constituídas por depósitos de encosta, de matriz arenoargilosa a argiloarenosa, rica em blocos, muito malselecionados. Ocorrem, de forma disseminada, nos sopés das vertentes íngremes de terrenos montanhosos. Apresentam baixa capacidade de suporte.

As rampas de colúvio consistem de superfícies deposicionais inclinadas, constituídas por depósitos de encosta arenoargilosos a argiloarenosos, malselecionados, em interdigitação com depósitos praticamente planos das planícies aluviais. Ocorrem, de forma disseminada, nas baixas encostas de ambientes colinosos ou de morros.

Amplitude de relevo: variável, dependendo da extensão do depósito na encosta.

Inclinação das vertentes: 5°-20° (associados às rampas de colúvio).

Inclinação das vertentes: 20°-45° (associados aos cones de tálus).



R1c – Planície borda norte da Chapada do Araripe (Ceará).

R1c2 – Leques Aluviais

Relevo de agradação. Zona de acumulação atual ou subatual.

Os leques aluviais consistem de superfícies deposicionais inclinadas, constituídas por depósitos aluvionares de enxurrada, espreados em forma de leque em uma morfologia ligeiramente convexa em planta. São depósitos malselecionados, variando entre areia fina e seixos subangulosos a subarredondados, gerados no sopé de escarpas montanhosas ou cordilheiras. Em sua porção proximal, os leques aluviais caracterizam-se por superfícies fortemente inclinadas e dissecadas por canais efêmeros que drenam a cordilheira. Em sua porção distal, os leques aluviais caracterizam-se por superfícies muito suavemente inclinadas, com deposição de sedimentos finos, em processo de coalescência com as planícies aluviais ou fluviolacustres, reproduzindo um ambiente *playa-bajada* de clima árido.

Amplitude de relevo: 2 a 10 m.

Inclinação das vertentes: 0°-3° (exceto nas porções proximais dos leques).

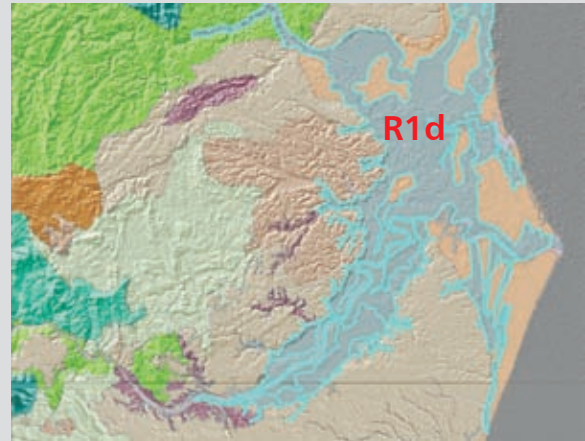
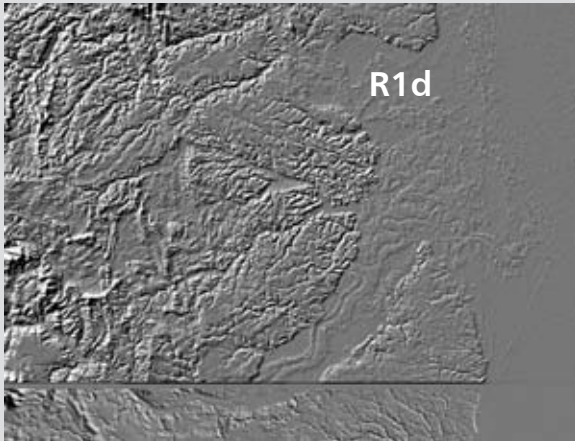
R1d – Planícies Fluviomarinhas (mangues e brejos)

Relevo de agradação. Zona de acumulação atual.

Superfícies planas, de interface com os sistemas deposicionais continentais e marinhos, constituídas de depósitos argiloarenosos a argilosos. Terrenos muito maldrenados, prolongadamente inundáveis, com padrão de canais bastante meandantes e divagantes, sob influência de refluxo



R1c – Rampas de colúvio que se espriam a partir da borda oeste do platô sinclinal (Moeda – Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais).



R1d – Delta do rio Jequitinhonha (Bahia).



R1d – Ampla superfície embrejada de uma planície lagunar costeira (litoral norte do estado da Bahia, município de Conde).



R1d – Planície fluviomarinha do baixo curso do rio Cunhaú, originalmente ocupado por mangues e atualmente desfigurado para implantação de tanques de carcinicultura (litoral sul-oriental do estado do Rio Grande do Norte).

de marés; ou resultantes da colmatção de paleolagunas. Baixa capacidade de suporte dos terrenos.

Amplitude de relevo: zero.

Inclinação das vertentes: plano (0°).

R1e – Planícies Costeiras (terraços marinhos e cordões arenosos)

Relevo de agradação. Zona de acumulação atual.

Superfícies sub-horizontais, constituídas de depósitos arenosos, apresentando microrrelevo ondulado, geradas por processos de sedimentação marinha e/ou eólica. Terrenos bem drenados e não inundáveis.

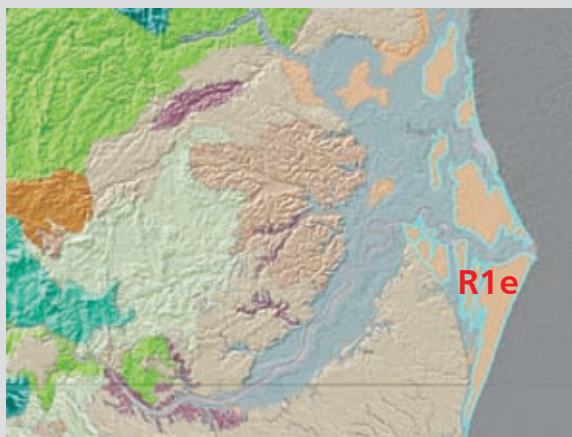
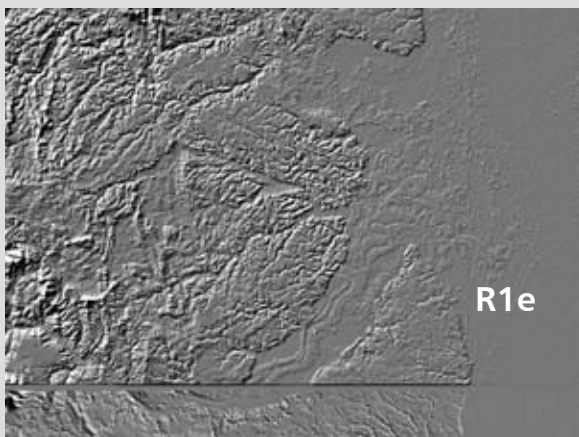
Amplitude de relevo: até 20 m.

Inclinação das vertentes: 0°-5°.

R1f1 – Campos de Dunas (dunas fixas; dunas móveis)

Relevo de agradação. Zona de acumulação atual ou subatual.

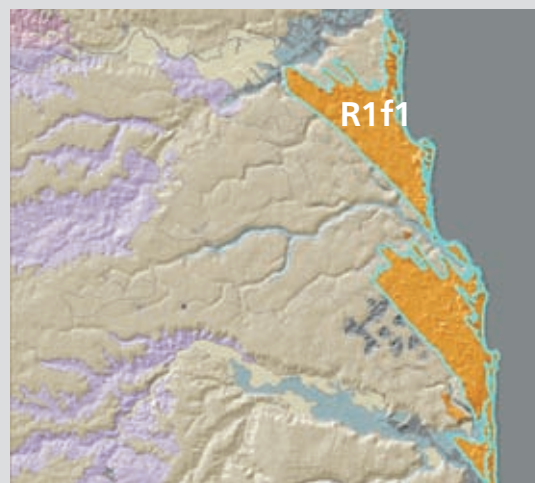
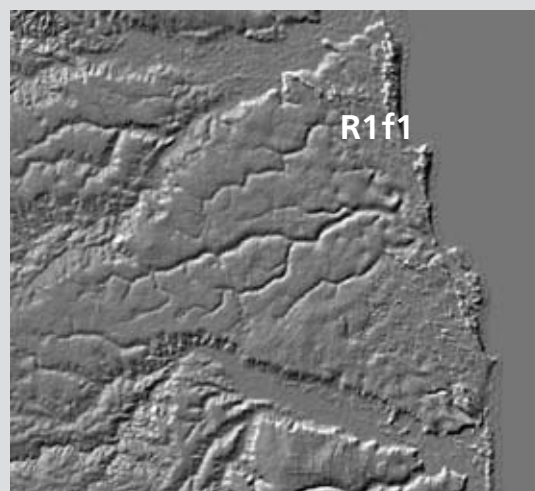
Superfícies de relevo ondulado constituído de depósitos arenoquartzosos, bem selecionados, depositados por ação eólica longitudinalmente à linha de costa. Por vezes, encontram-se desprovidos de vegetação e apresentam expressiva mobilidade (dunas móveis); ora encontram-se recobertos por vegetação pioneira (dunas fixas).



R1e – Planície do delta do rio Jequitinhonha (Bahia).



R1e – Sucessão de feixes de cordões arenosos em linha de costa progradante (Parque Nacional de Jurubatiba – Macaé, Rio de Janeiro).



R1f1 – Litoral oriental do estado do Rio Grande do Norte.



R1e – Planície costeira com empilhamento de cordões arenosos e depósitos fluviolagunares (litoral norte do estado da Bahia).



R1f1 – Campos de dunas junto à linha de costa, sobrepondo falésias do grupo Barreiras (município de Baía Formosa, litoral sul do estado do Rio Grande do Norte).



R1f1 – Campo de dunas transversais na restinga de Massambaba (Arraial do Cabo, Rio de Janeiro).

Amplitude de relevo: até 40 m.

Inclinação das vertentes: 3°-30°.

R1f2 – Campos de Loess

Relevo de agradação. Zona de acumulação atual ou subatual.

Superfícies de relevo plano a suave ondulado constituído de depósitos silticos ou siltico-argilosos, bem sele-

cionados, constituídos de sedimentos finos em suspensão depositados por ação eólica em zonas peridesérticas ou submetidos a paleoclimas áridos ao longo de períodos glaciais pleistocênicos. Apresentam solos com alta suscetibilidade à erosão.

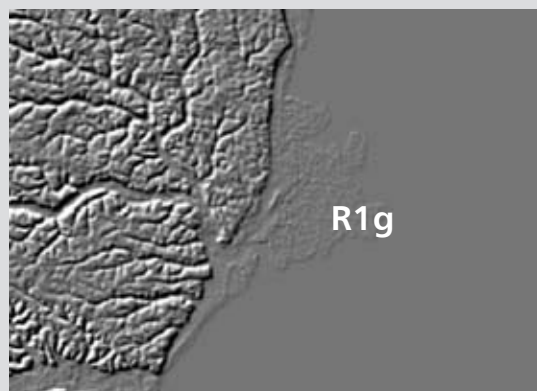
Amplitude de relevo: 0 a 20 m.

Inclinação das vertentes: 0°-5°.

R1g – Recifes

Relevo de agradação. Zona de acumulação atual.

Os recifes situam-se na plataforma continental interna em posição de linha de arrebentação ou *off-shore*, podendo ser distinguidos dois tipos principais: RECIFES DE PRAIA, que consistem de antigos cordões arenosos (*beach-rocks*), sob forma de ilhas-barreiras paralelas à linha de costa, que foram consolidados por cimentação ferruginosa e/ou carbonática; RECIFES DE BANCOS DE CORAIS, que consistem de bancos de recifes ou formações peculiares denominadas “chapeirões”, submersos ou



R1g – Santa Cruz Cabralia (sul do estado da Bahia).

parcialmente emersos durante os períodos de maré baixa. Estes são produzidos por acumulação carbonática, devido à atividade biogênica (corais).

Amplitude de relevo: zero.

Inclinação das vertentes: plano (0°).

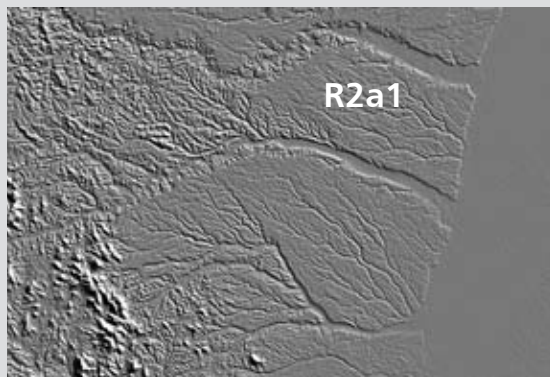
II – DOMÍNIO DAS UNIDADES DENUDACIONAIS EM ROCHAS SEDIMENTARES POUCO LITIFICADAS

R2a1 – Tabuleiros

Relevo de degradação em rochas sedimentares.

Formas de relevo suavemente dissecadas, com extensas superfícies de gradientes extremamente suaves, com topos planos e alongados e vertentes retilíneas nos vales encaixados em forma de “U”, resultantes de dissecação fluvial recente.

Predomínio de processos de pedogênese (formação de solos espessos e bem drenados, em geral, com baixa a mo-



R2a1 – Porto Seguro (sul do estado da Bahia).



R2a1 – Tabuleiros pouco dissecados da bacia de Macacu (Venda das Pedras, Itaboraí, Rio de Janeiro).



R2a1 – Plantação de eucaliptos em terrenos planos de tabuleiros não dissecados do grupo Barreiras (município de Esplanada, norte do estado da Bahia).

derada suscetibilidade à erosão). Ocorrências esporádicas, restritas a processos de erosão laminar ou linear acelerada (sulcos e ravinas).

Amplitude de relevo: 20 a 50 m.

Inclinação das vertentes: topo plano: 0°-3° (localmente, ressaltam-se vertentes acentuadas: 10°-25°).

R2a2 – Tabuleiros Dissecados

Relevo de degradação em rochas sedimentares.

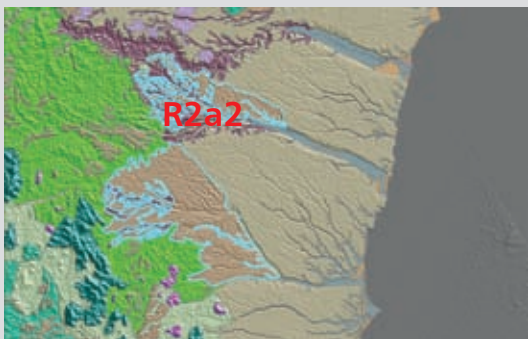
Formas de relevo tabulares, dissecadas por uma rede de canais com alta densidade de drenagem, apresentando relevo movimentado de colinas com topos tabulares ou alongados e vertentes retilíneas e declivosas nos vales encaixados, resultantes da dissecação fluvial recente.

Predomínio de processos de pedogênese (formação de solos espessos e bem drenados, em geral, com baixa a

moderada suscetibilidade à erosão). Ocorrência de processos de erosão laminar ou linear acelerada (sulcos e ravinas).

Amplitude de relevo: 20 a 50 m.

Inclinação das vertentes: topos planos restritos: 0°-3° (localmente, ressaltam-se vertentes acentuadas: 10°-25°).



R2a2 – Porto Seguro (sul do estado da Bahia).



R2a2 – Tabuleiros dissecados, intensamente erodidos por processos de voçorocamento junto à rodovia Linha Verde (litoral norte do estado da Bahia).



R2a2 – Tabuleiros dissecados em amplos vales em forma de “U”, em típica morfologia derivada do grupo Barreiras (bacia do rio Guaxindiba, São Francisco do Itabapoana, Rio de Janeiro).

III – DOMÍNIO DAS UNIDADES DENUDACIONAIS EM ROCHAS SEDIMENTARES LITIFICADAS

R2b1 – Baixos Platôs

Relevo de degradação em rochas sedimentares.

Superfícies ligeiramente mais elevadas que os terrenos adjacentes, pouco dissecadas em formas tabulares. Sistema de drenagem principal com fraco entalhamento.

Predomínio de processos de pedogênese (formação de solos espessos e bem drenados, em geral, com baixa a moderada suscetibilidade à erosão). Eventual atuação de processos de laterização. Caracterizam-se por superfícies planas de modestas altitudes em antigas bacias sedimentares, como os patamares mais baixos da Bacia do Parnaíba (Piauí) ou a Chapada do Apodi, na Bacia Potiguar (Rio Grande do Norte).

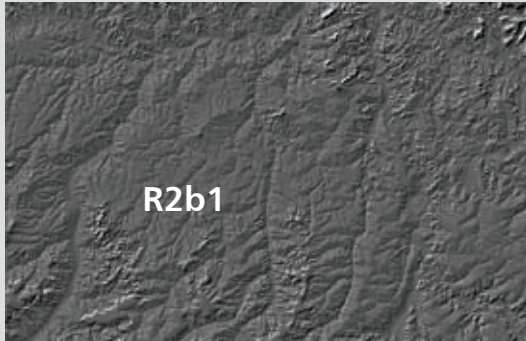
Amplitude de relevo: 0 a 20 m.

Inclinação das vertentes: topo plano a suavemente ondulado: 2°-5°.

R2b2 – Baixos Platôs Dissecados

Relevo de degradação em rochas sedimentares.

Superfícies ligeiramente mais elevadas que os terrenos adjacentes, francamente dissecadas em forma de colinas tabulares. Sistema de drenagem constituído por uma rede de canais com alta densidade de drenagem, que gera um relevo dissecado em vertentes retilíneas e



R2b1



R2b1

R2b1 – Centro-sul do estado do Piauí.



R2b1

R2b1 – Baixos platôs não dissecados da bacia do Parnaíba (estrada Floriano-Picos, próximo a Oeiras, Piauí).

declivosas nos vales encaixados, resultantes da dissecação fluvial recente. Deposição de planícies aluviais restritas em vales fechados.

Equilíbrio entre processos de pedogênese e morfogênese (formação de solos espessos e bem drenados, com moderada suscetibilidade à erosão). Eventual atuação de processos de laterização. Ocorrências esporádicas, restritas a processos de erosão laminar ou linear acelerada (ravinas e

voçorocas). Situação típica encontrada nos baixos platôs embasados pela Formação Alter do Chão, ao norte de Manaus.

Amplitude de relevo: 20 a 50 m.

Inclinação das vertentes: topo plano a suavemente ondulado: 2°-5°, excetuando-se os eixos dos vales fluviais, onde se registram vertentes com declividades mais acentuadas (10°-25°).



R2b2



R2b2

R2b2 – Interflúvio entre os rios Uatumã e Nhamundá (nordeste do estado do Amazonas).



R2b2

R2b2 – Baixos platôs dissecados em forma de colinas tabulares sobre arenitos imaturos da formação Alter do Chão (Presidente Figueiredo, Amazonas).

R2b3 – Planaltos

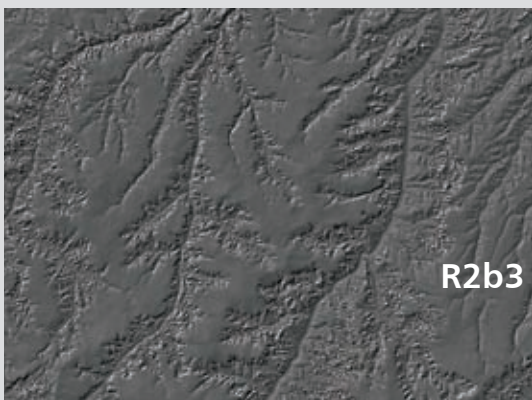
Relevo de degradação predominantemente em rochas sedimentares, mas também sobre rochas cristalinas.

Superfícies mais elevadas que os terrenos adjacentes, pouco dissecadas em formas tabulares ou colinas muito amplas. Sistema de drenagem principal com fraco entalhamento e deposição de planícies aluviais restritas ou em vales fechados.

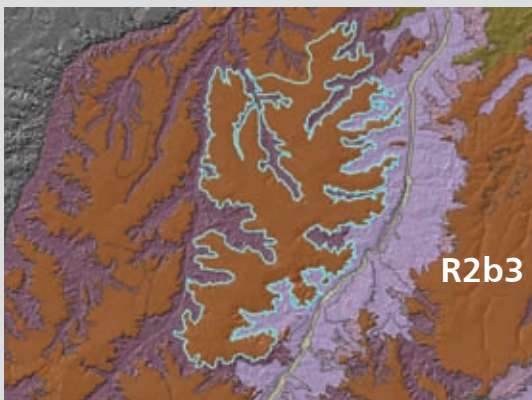
Predomínio de processos de pedogênese (formação de solos espessos e bem drenados, em geral, com baixa a moderada suscetibilidade à erosão). Eventual atuação de processos de laterização. Ocorrências esporádicas, restritas a processos de erosão laminar ou linear acelerada (ravinas e voçorocas).

Amplitude de relevo: 20 a 50 m.

Inclinação das vertentes: topo plano a suavemente ondulado: 2°-5°, excetuando-se os eixos dos vales fluviais.

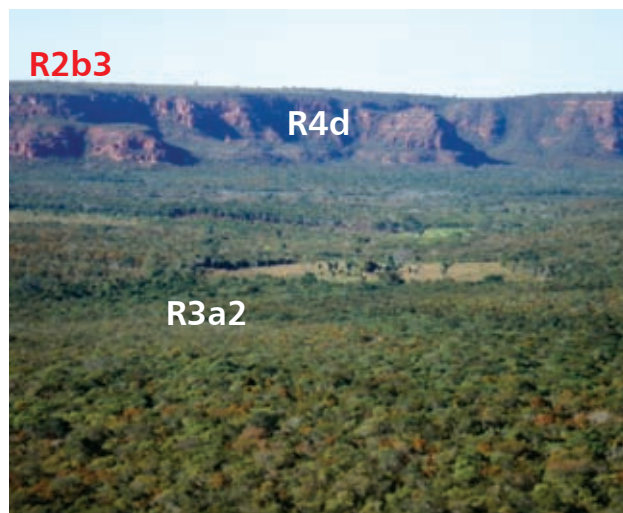


R2b3



R2b3

R2b3 – Planalto de Uruçuí (sul do estado do Piauí).



R2b3 – Escarpa erosiva do planalto de Uruçuí (bacia do Parnaíba, sudoeste do estado do Piauí).



R2b3

R2b3 – Topo do planalto da serra dos Martins, sustentado por cornijas de arenitos ferruginosos da formação homônima (sudoeste do estado do Rio Grande do Norte).

R2c – Chapadas e Platôs

Relevo de degradação em rochas sedimentares.

Superfícies tabulares alçadas, ou relevos soerguidos, planos ou aplainados, não ou incipientemente pouco dissecados. Os rebordos dessas superfícies, posicionados em cotas elevadas, são delimitados, em geral, por vertentes íngremes a escarpadas. Representam algumas das principais ocorrências das superfícies cimeiras do território brasileiro.

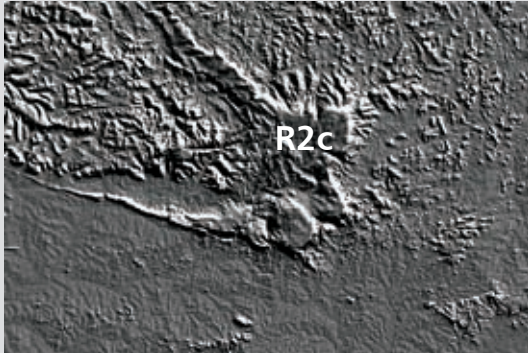
Franco predomínio de processos de pedogênese (formação de solos espessos e bem drenados, em geral, com baixa a moderada suscetibilidade à erosão).

Processos de morfogênese significativos nos rebordos das escarpas erosivas, via recuo lateral das vertentes. Freqüente atuação de processos de laterização. Ocorrências

esporádicas, restritas a processos de erosão laminar ou linear acelerada (ravinas e voçorocas).

Amplitude de relevo: 0 a 20 m.

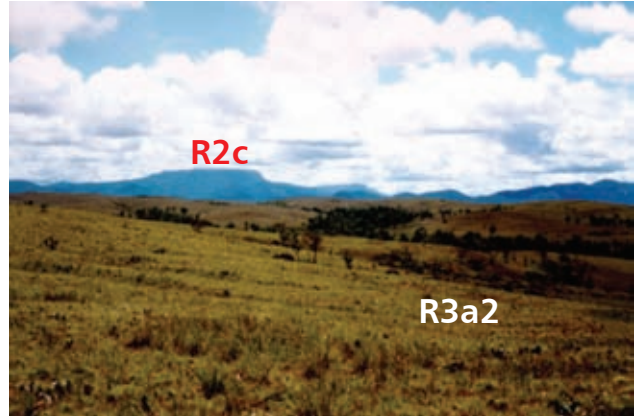
Inclinação das vertentes: topo plano, excetuando-se os eixos dos vales fluviais.



R2c – Borda Leste da Chapada dos Pacaás Novos (região central do estado de Rondônia).



R2c – Topo da Chapada dos Guimarães e relevo ruiforme junto a seu escarpamento.



R2c – “Tepuy” isolado da “serra” do Tepequém, uma forma em chapada sustentada por arenitos conglomeráticos do supergrupo Roraima.

IV – DOMÍNIO DOS RELEVOS DE APLAINAMENTO

R3a1 – Superfícies Aplainadas Conservadas

Relevo de aplainamento.

Superfícies planas a levemente onduladas, promovidas pelo arrasamento geral dos terrenos, representando, em linhas gerais, grandes extensões das depressões interplanaálticas do território brasileiro.

Amplitude de relevo: 0 a 10 m.

Inclinação das vertentes: 0°-5°.

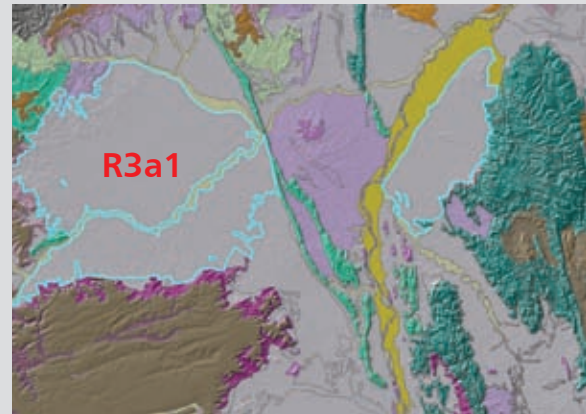
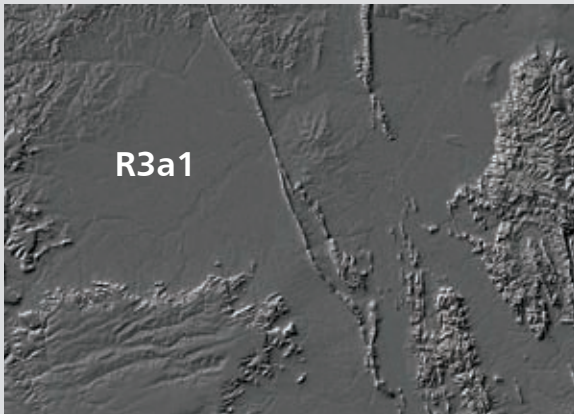
No bioma da floresta amazônica: franco predomínio de processos de pedogênese (formação de solos espessos e bem drenados, em geral, com baixa suscetibilidade à erosão). Eventual atuação de processos de laterização.

Nos biomas de cerrado e caatinga: equilíbrio entre processos de pedogênese e morfogênese (a despeito das baixas declividades, prevalece o desenvolvimento de solos rasos e pedregosos e os processos de erosão laminar são significativos).

R3a2 – Superfícies Aplainadas Retocadas ou Degradadas

Relevo de aplainamento.

Superfícies suavemente onduladas, promovidas pelo arrasamento geral dos terrenos e posterior retomada erosiva proporcionada pela incisão suave de uma rede de drenagem incipiente. Inserem-se, também, no contexto das grandes depressões interplanálticas do território brasileiro.



R3a1 – Médio vale do rio São Francisco (estado da Bahia).

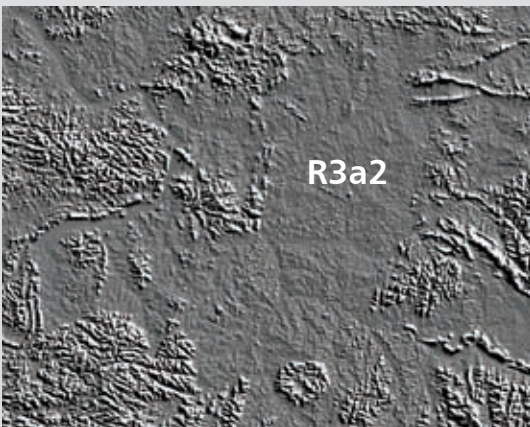
Amplitude de relevo: 10 a 30 m.

Inclinação das vertentes: 0°-5°.



R3a1 – Extensa superfície aplainada, delimitada por esparsas cristas de quartzitos (Canudos, norte do estado da Bahia).

Caracteriza-se por extenso e monótono relevo suave ondulado sem, contudo, caracterizar ambiente colinoso, devido a suas amplitudes de relevo muito baixas e longas rampas de muito baixa declividade.



R3a2 – Médio vale do rio Xingu (estado do Pará).



R3a2 – Extensa superfície aplainada da depressão sertaneja (sudeste do estado do Rio Grande do Norte).

R3b – *Inselbergs* e outros relevos residuais (cristas isoladas, morros residuais, pontões, monolitos)

Relevo de aplainamento.

Relevos residuais isolados destacados na paisagem aplainada, remanescentes do arrasamento geral dos terrenos.

Amplitude de relevo: 50 a 500 m.

Inclinação das vertentes: 25°-45°, com ocorrência de paredões rochosos subverticais (60°-90°).



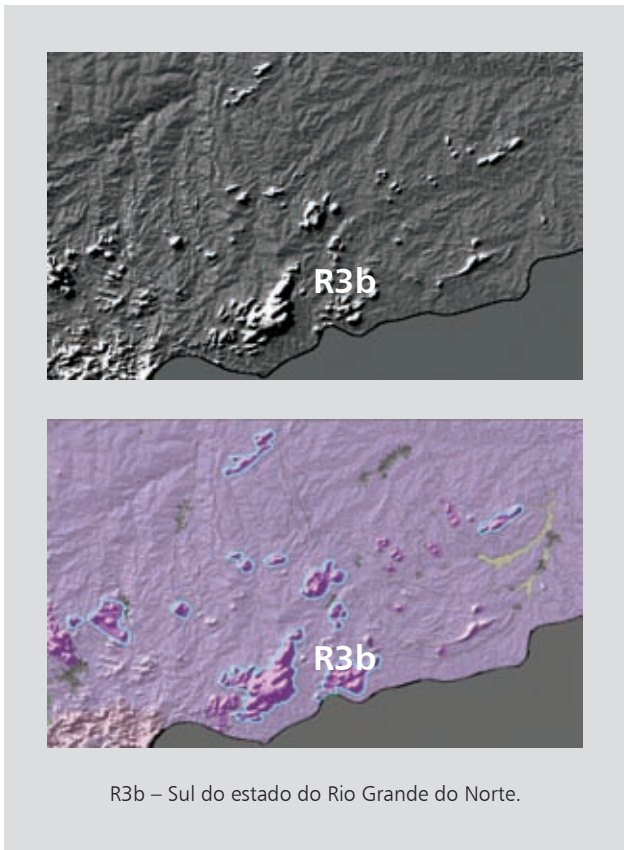
R3b – Neck vulcânico do pico do Cabugi (estado do Rio Grande do Norte).

V – DOMÍNIO DAS UNIDADES DENUDACIONAIS EM ROCHAS CRISTALINAS OU SEDIMENTARES

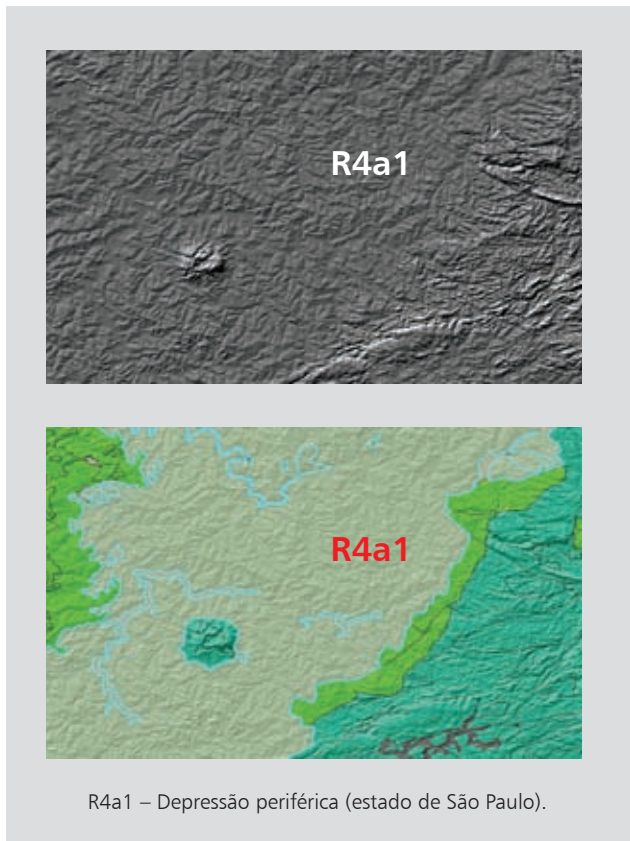
R4a1 – Domínio de Colinas Amplas e Suaves

Relevo de degradação em qualquer litologia, predominando rochas sedimentares.

Relevo de colinas pouco dissecadas, com vertentes convexas e topos amplos, de morfologia tabular ou alongada. Sistema de drenagem principal com deposição de planícies aluviais relativamente amplas.



R3b – Sul do estado do Rio Grande do Norte.



R4a1 – Depressão periférica (estado de São Paulo).



R3b – Agrupamentos de *inselbergs* alinhados em cristas de rochas quartzíticas delineadas em zona de cisalhamento (estrada Senhor do Bonfim-Juazeiro, estado da Bahia).



R4a1 – Colinas amplas e suaves modeladas sobre granulitos (cercanias de Anápolis, Goiás).



R4a1 – Relevo suave colinoso (município de Araruama, região dos Lagos, Rio de Janeiro).

Predomínio de processos de pedogênese (formação de solos espessos e bem drenados, em geral, com baixa a moderada suscetibilidade à erosão). Ocorrências esporádicas, restritas a processos de erosão laminar ou linear acelerada (ravinas e voçorocas). Geração de rampas de colúvios nas baixas vertentes.

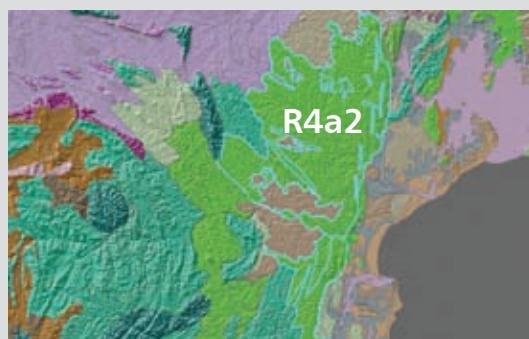
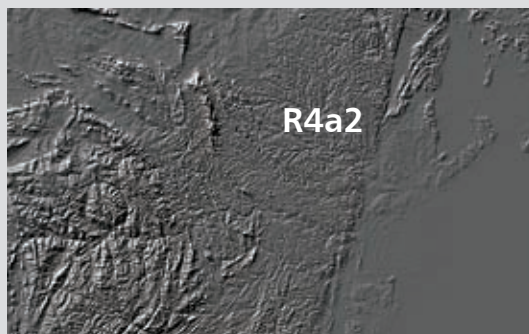
Amplitude de relevo: 20 a 50 m.

Inclinação das vertentes: 3°-10°.

R4a2 – Domínio de Colinas Dissecadas e de Morros Baixos

Relevo de degradação em qualquer litologia.

Relevo de colinas dissecadas, com vertentes convexo-côncavas e topos arredondados ou aguçados. Sistema de drenagem principal com deposição de planícies aluviais restritas ou em vales fechados.



R4a2 – Leste do estado da Bahia.



R4a2 – Típico relevo de mar-de-morros no médio vale do rio Paraíba do Sul (topo da serra da Concórdia, Valença, Rio de Janeiro).



R4a2 – Colinas e morros intensamente dissecados sobre metassiltitos (município de Padre Bernardo, Goiás).

Equilíbrio entre processos de pedogênese e morfogênese (formação de solos espessos e bem drenados, em geral, com moderada suscetibilidade à erosão). Atuação frequente de processos de erosão laminar e ocorrência esporádica de processos de erosão linear acelerada (sulcos, ravinas e voçorocas). Geração de rampas de colúvios nas baixas vertentes.

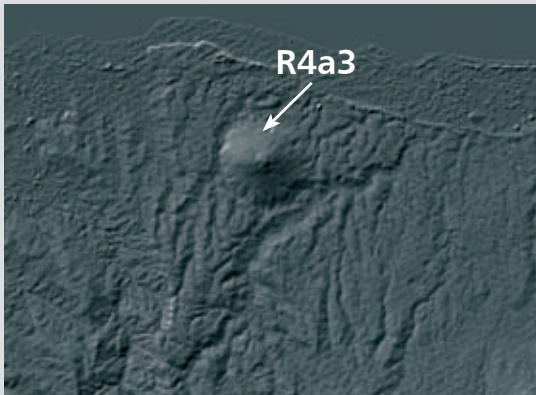
Amplitude de relevo: 30 a 80 m.

Inclinação das vertentes: 5°-20°.

R4a3 – Domos em estrutura elevada

Relevo de degradação em qualquer litologia.

Relevo de amplas e suaves elevações em forma de meia esfera, com modelado de extensas vertentes convexas e topos planos a levemente arredondados. Em geral, essa morfologia deriva de rochas intrusivas que arqueiam a superfície do terreno, podendo gerar estruturas dobradas do tipo braquianticlinais. Apresenta padrão de drenagem radial



R4a3 – Domo de Guimarães (estado do Rio Grande do Norte).



R4a3 – Domo de Guimarães, arqueando as rochas sedimentares da bacia Potiguar (estado do Rio Grande do Norte).

e centrífugo. Sistema de drenagem principal em processo inicial de entalhamento, sem deposição de planícies aluviais.

Predomínio de processos de pedogênese (formação de solos espessos e bem drenados, em geral, com baixa a moderada suscetibilidade à erosão). Ocorrências esporádicas, restritas a processos de erosão laminar ou linear acelerada (ravinas e voçorocas).

Amplitude de relevo: 50 a 200 m.

Inclinação das vertentes: 3°-10°.

R4b – Domínio de Morros e de Serras Baixas

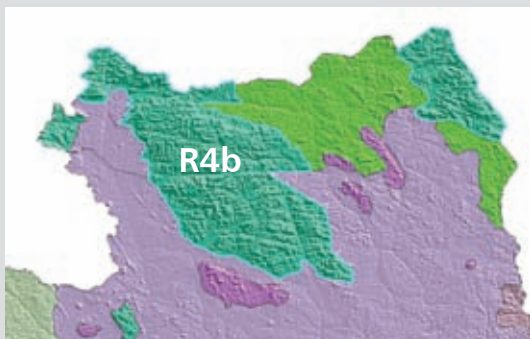
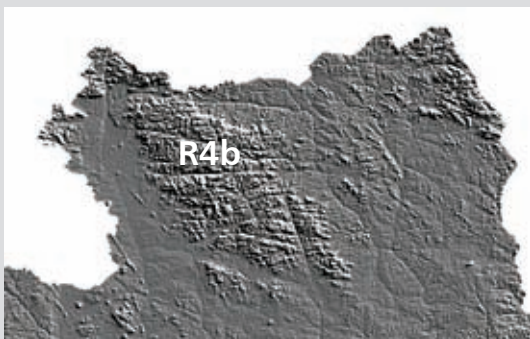
Relevo de degradação em qualquer litologia.

Relevo de morros convexo-côncavos dissecados e topos arredondados ou aguçados. Também se insere nessa unidade o relevo de morros de topo tabular, característico das chapadas intensamente dissecadas e desfeitas em conjunto de morros de topo plano. Sistema de drenagem principal com restritas planícies aluviais.

Predomínio de processos de morfogênese (formação de solos pouco espessos em terrenos declivosos, em geral, com moderada a alta suscetibilidade à erosão). Atuação frequente de processos de erosão laminar e linear acelerada (sulcos e ravinas) e ocorrência esporádica de processos de movimentos de massa. Geração de colúvios e, subordinadamente, depósitos de tálus nas baixas vertentes.

Amplitude de relevo: 80 a 200 m, podendo apresentar desnivelamentos de até 300 m.

Inclinação das vertentes: 15°-35°.



R4b – Serra do Tumucumaque (norte do estado do Pará).



R4b – Relevo de morros elevados no planalto da região serrana do estado do Rio de Janeiro.



R4b – Relevo fortemente dissecado em morros sulcados e alinhados a norte do planalto do Distrito Federal.

R4c – Domínio Montanhoso (alinhamentos serranos, maciços montanhosos, front de *cuestas* e *hogback*)

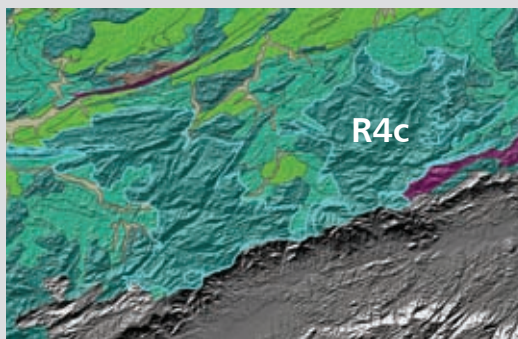
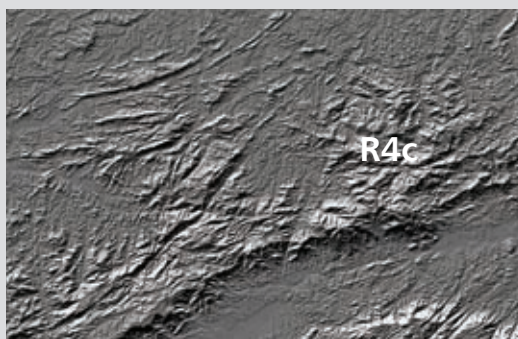
Relevo de degradação em qualquer litologia.

Relevo montanhoso, muito acidentado. Vertentes predominantemente retilíneas a côncavas, escarpadas e topos de cristas alinhadas, aguçados ou levemente arredondados, com sedimentação de colúvios e depósitos de tálus. Sistema de drenagem principal em franco processo de entalhamento.

Franco predomínio de processos de morfogênese (formação de solos rasos em terrenos muito acidentados, em geral, com alta suscetibilidade à erosão). Atuação frequente de processos de erosão laminar e de movimentos de massa. Geração de depósitos de tálus e de colúvios nas baixas vertentes.

Amplitude de relevo: acima de 300 m, podendo apresentar, localmente, desnivelamentos inferiores a 200 m.

Inclinação das vertentes: 25°-45°, com ocorrência de paredões rochosos subverticais (60°-90°).



R4c – Sul do estado de Minas Gerais.



R4c – Relevo montanhoso do maciço do Caraça, modelado em quartzitos (Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais).



R4c – Vale estrutural do rio Araras; reverso da serra do Mar (Petrópolis, Rio de Janeiro).

R4d – Escarpas Serranas

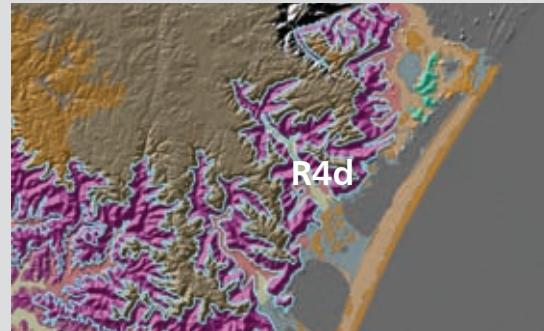
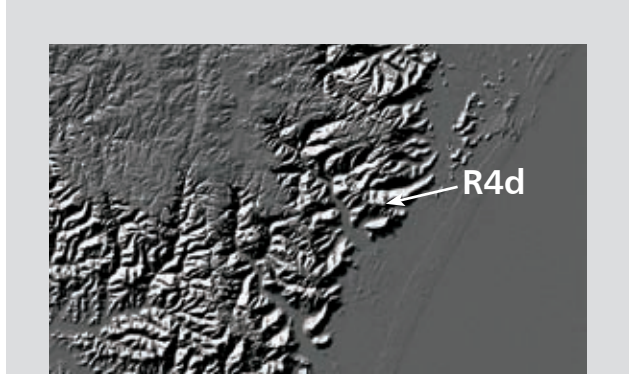
Relevo de degradação em qualquer litologia.

Relevo montanhoso, muito acidentado. Vertentes predominantemente retilíneas a côncavas, escarpadas e topos de cristas alinhadas, aguçados ou levemente arredondados, com sedimentação de colúvios e depósitos de tálus. Sistema de drenagem principal em franco processo de entalhamento. Representam um relevo de transição entre duas superfícies distintas alçadas a diferentes cotas altimétricas.

Franco predomínio de processos de morfogênese (formação de solos rasos em terrenos muito acidentados, em geral, com alta suscetibilidade à erosão). Atuação frequente de processos de erosão laminar e de movimentos de massa. Geração de depósitos de tálus e de colúvios nas baixas vertentes.

Amplitude de relevo: acima de 300 m.

Inclinação das vertentes: 25°-45°, com ocorrência de paredões rochosos subverticais (60°-90°).



R4d – Escarpa da serra Geral (nordeste do estado do Rio Grande do Sul).



R4d – Aspecto imponente da serra Geral, francamente entalhada por uma densa rede de drenagem, gerando uma escarpa festonada com mais de 1.000 m de desnivelamento.



R4d – Escarpa da serra de Miguel Inácio, cuja dissecação está controlada por rochas metassedimentares do grupo Paranoá (cercanias do Distrito Federal).

R4e – Degraus Estruturais e Rebordos Erosivos

Relevo de degradação em qualquer litologia.

Relevo acidentado, constituído por vertentes predominantemente retilíneas a côncavas, declivosas e topos levemente arredondados, com sedimentação de colúvios e depósitos de tálus. Sistema de drenagem principal em franco processo de entalhamento. Representam relevo de transição entre duas superfícies distintas alçadas a diferentes cotas altimétricas.

Franco predomínio de processos de morfogênese (formação de solos rasos, em geral, com alta suscetibilidade à erosão). Atuação frequente de processos de erosão laminar e de movimentos de massa. Geração de depósitos de tálus e de colúvios nas baixas vertentes.

Amplitude de relevo: 50 a 200 m.

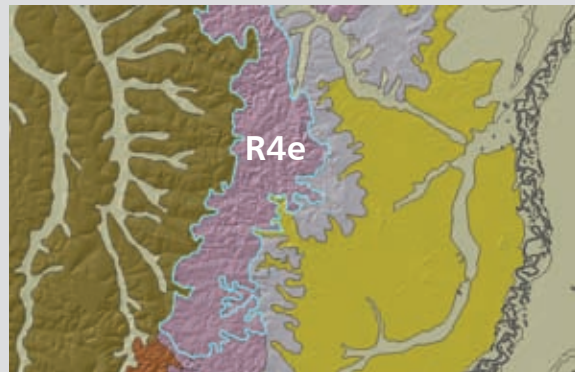
Inclinação das vertentes: 10°-25°, com ocorrência de vertentes muito declivosas (acima de 45°).

R4f – Vales Encaixados

Relevo de degradação predominantemente em rochas sedimentares, mas também sobre rochas cristalinas.

Relevo acidentado, constituído por vertentes predominantemente retilíneas a côncavas, fortemente sulcadas, declivosas, com sedimentação de colúvios e depósitos de tálus. Sistema de drenagem principal em franco processo de entalhamento. Consistem em feições de relevo fortemente entalhadas pela incisão vertical da drenagem, formando vales encaixados e incisos sobre planaltos e chapadas, estes, em geral, pouco dissecados. Assim como as escarpas e os rebordos erosivos, os vales encaixados apresentam quebras de relevo abruptas em contraste com o relevo plano adjacente. Em geral, essas formas de relevo indicam uma retomada erosiva recente em processo de reajuste ao nível de base regional.

Franco predomínio de processos de morfogênese (formação de solos rasos, em geral, com alta suscetibilidade à erosão). Atuação frequente de processos de erosão laminar e de movimentos de massa. Geração de depósitos de tálus e de colúvios nas baixas vertentes.



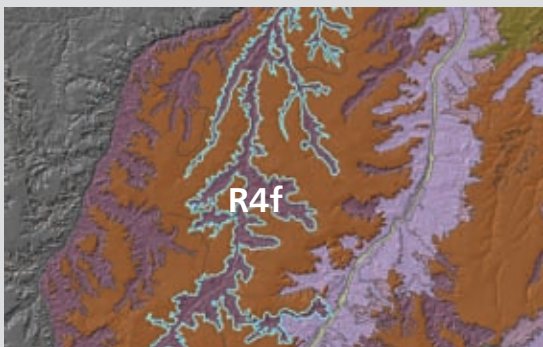
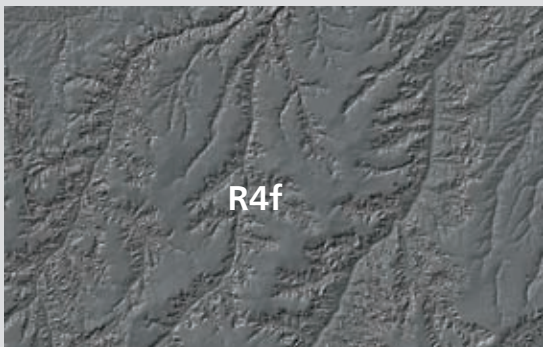
R4e – Degrau escarpado da serra do Roncador (leste do estado de Mato Grosso).



R4e – Degrau estrutural do flanco oeste do planalto de morro do Chapéu (Chapada Diamantina, Bahia).



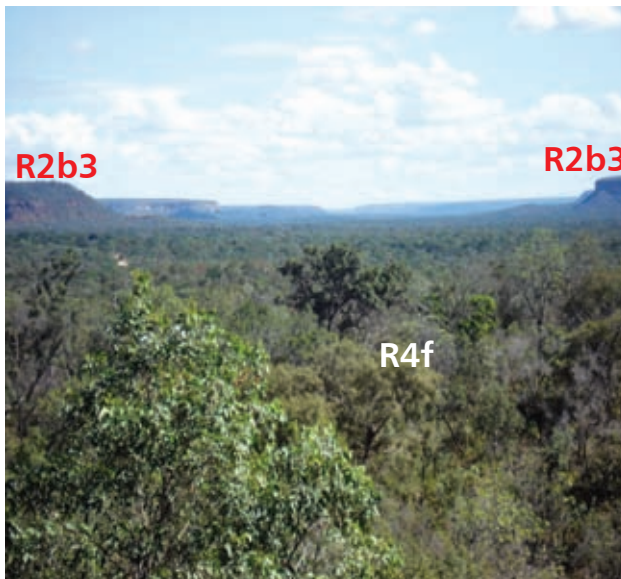
R4e – Degrau estrutural no contato da bacia do Parnaíba com o embasamento cristalino no sul do Piauí.



R4f – Planalto de Uruçuí e vale do Gurgueia (sul do estado do Piauí).

Amplitude de relevo: 100 a 300 m.

Inclinação das vertentes: 10°-25°, com ocorrência de vertentes muito declivosas (acima de 45°).



R4f – Vale amplo e encaixado de tributário do rio Gurgueia no planalto de Uruçuí (sudoeste do estado do Piauí).

NOTA SOBRE OS AUTORES

ADSON BRITO MONTEIRO – Geólogo (1989) e mestre (2000) em Geociências pela Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). Ingressou na Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais/Serviço Geológico do Brasil (CPRM/SGB) em 2007, onde exerce o cargo de Pesquisador em Geociências na área de Hidrogeologia. Participou dos projetos Borda Sudeste da Bacia Sedimentar do Parnaíba e Mapa Hidrogeológico do Brasil ao Milionésimo (folhas SB.23 Teresina e SC.23 Rio São Francisco) entre 2007 e 2011 na Residência de Teresina (RETE). Lotado atualmente na Superintendência Regional do Recife (SUREG-RE), integra a equipe de Cartografia Hidrogeológica, para desenvolvimento do Mapa Hidrogeológico da Amazônia Legal.

ANTONIO THEODOROVICZ – Geólogo formado (1977) pela Universidade Federal do Paraná (UFPR) e especialização (1990) em Geologia Ambiental (CPRM). Ingressou na CPRM/SGB – Residência de Porto Velho (REPO) em 1978. Desde 1982 atua na Superintendência Regional de São Paulo (SUREG-SP). Executou e chefiou vários projetos de Mapeamento Geológico, Prospecção Mineral e Metalogenia em diversas escalas nas regiões Amazônica, Sul e Sudeste. De 1990 até 2012 atuou como supervisor/executor de vários estudos geoambientais, para os quais concebeu uma metodologia própria, adaptada e aplicada também na geração dos mapas Geodiversidade do Brasil e estaduais. Ministra, ainda, treinamento de campo para caracterização do meio físico para fins de planejamento e gestão ambiental para equipes da CPRM/SGB e de países da América do Sul. Atualmente, é coordenador regional do Projeto Geoparques da CPRM/SGB, Conselheiro da Comissão de Monumentos Geológicos do Estado de São Paulo, Membro do Conselho Gestor do Geoparque Estadual Bodoquena-Pantanal e atua no Projeto Ação Emergencial para Delimitação de Áreas em Alto e Muito Alto Risco a Enchentes e Movimentos de Massa.

CESAR LISBOA CHAVES – Geólogo (2001) e mestre (2003) em Geologia e Geoquímica pela Universidade Federal do Pará (2003). Ingressou na CPRM/SGB em 2007, como Pesquisador em Geociências, na Superintendência Regional de Belém (SUREG-BE). Atualmente, é supervisor na área de Geologia e Recursos Minerais e coordenador do Projeto Geologia do Médio Tapajós. Tem experiência na área de Geoprocessamento e Mapeamento Geológico Básico no Cráton Amazônico.

CLAUDIO DAMASCENO DE SOUZA – Graduado (2004) em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Piauí (UFPI) e mestre (2007) em Engenharia de Recursos Hídricos pela Universidade Federal do Ceará (UFC). Atualmente, é doutorando em Recursos Hídricos na UFC. Ingressou na CPRM/SGB em 2009, no cargo de Pesquisador em Geociências (Engenheiro Hidrólogo), na Residência de Teresina (RETE), onde chefiou o Projeto da Rede Hidrometeorológica Nacional. Atualmente, integra a equipe do Projeto Sistema de Alerta Hidrológico na Bacia do Parnaíba.

DJALENA MARQUES DE MELO – Graduada (2001) em Engenharia Civil pela Universidade Federal da Paraíba (UFPB) e mestre (2004) em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental pela Universidade Federal de Campina Grande (UFCG). Ingressou na CPRM/SGB em 2010, no cargo de Pesquisadora em Geociências (Engenheira Hidróloga), na Residência de Teresina (RETE). Atua no Projeto Disponibilidade Hídrica do Brasil – Estudos de Regionalização nas Bacias Hidrográficas Brasileiras. Tem experiência em Engenharia Civil, com ênfase em Hidrologia, atuando, principalmente, nos temas: Otimização de Recursos Hídricos e Operação de Reservatórios.

EDGAR SHINZATO – Graduado (1990) em Engenharia Agrônoma pela Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ) e mestre (1998) em Produção Vegetal (Pedologia, Meio Ambiente e Geoprocessamento) pela Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UENF). Ingressou na CPRM/SGB em 1994. Atualmente, é coordenador executivo do Departamento de Gestão Territorial (DEGET) no Escritório Rio de Janeiro. Desenvolveu diversas atividades em projetos do Programa GATE/CPRM, como estudos e mapeamentos de solos, capacidade de uso das terras, aptidão agrícola e uso e cobertura vegetal. Foi coordenador de Geoprocessamento dos Estudos do Trem de Alta Velocidade (TAV) e do Projeto Setorização de Riscos Remanescentes de Nova Friburgo (RJ). É membro do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos, Núcleo Regional de Estudo (RJ), e do Comitê Assessor Externo da Embrapa Solos.

ELEM CRISTINA DOS SANTOS LOPES – Geóloga (2003) e mestre (2005) em Geologia e Geoquímica pela Universidade Federal do Pará (UFPA). Ingressou na CPRM/SGB (SUREG-BE) em 2007, como Pesquisadora em Geociências, principalmente, no estudo de rochas sedimentares.

ELIANE PETERSOHN – Geóloga (2003) e mestre (2006) em Geologia Exploratória pela Universidade Federal do Paraná (UFPR). Ingressou na Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) em 2006, onde, desde então, atua na Superintendência de Definição de Blocos. Atualmente, é a superintendente da área e responsável pela seleção e condução dos estudos geológicos das bacias sedimentares para as rodadas de licitações da ANP; estudos geológicos do pré-sal; gestão do Plano Plurianual de Estudos de Geologia e Geofísica da ANP, que visa à aquisição de dados nas bacias de fronteira exploratória.

EVANDRO KLEIN – Geólogo (1984) pela Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS), mestre (1999) em Geociências pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) e doutor (2004) em Geologia e Geoquímica pela UFPA e Université Jean Monnet UJM), Saint-Étienne (França). Ingressou na CPRM/SGB (SUREG-BE) em 1994. Atua em Mapeamento Geológico Básico em terrenos do Cráton Amazônico, Cráton São Luís e Cinturão Gurupi, bem como desenvolve trabalhos em evolução crustal de terrenos pré-cambrianos e metalogênese do ouro, com ênfase em fluidos hidrotermais e isótopos estáveis e radiogênicos.

FRANCISCO LAGES CORREIA FILHO – Geólogo (1971) pela Universidade de Brasília (UnB), especialização (1995) em Tecnologia Hidrogeológica Aplicada pela Universidade Federal de Pernambuco (UFPE) e pós-graduação *lato sensu* (2001) em Gerenciamento de Recursos Hídricos e Meio Ambiente pela Universidade Federal do Piauí (UFPI). Ingressou na CPRM/SGB em 1972, no cargo de geólogo. Sua experiência profissional está baseada nas áreas de Mapeamento Geológico, Prospecção Mineral e Recursos Hídricos, executando, chefiando e coordenando vários projetos nessas áreas na CPRM/SGB. Atualmente, exerce a função de Superintendente Regional da CPRM no Piauí.

HELDER RIBEIRO DA SILVA – Graduado (2000) em Geologia pela Universidade Federal do Pará (UFPA). Ingressou na CPRM/SGB em 2007. Atualmente, é Pesquisador em Geociências na Superintendência Regional de Belém da CPRM/SGB. Com experiência na área de Geociências, atua, principalmente, nos seguintes temas: Mapeamento Regional, Pesquisa Mineral, Geoprocessamento.

IRIS CELESTE NASCIMENTO BANDEIRA – Geóloga (2006) e mestre (2008) em Geologia e Geoquímica pela Universidade Federal do Pará (UFPA). Atuou na área ambiental, como técnica em gestão de Meio Ambiente, na Secretaria de Estado de Meio Ambiente do Pará (SEMA). Ingressou na CPRM/SBG em 2010, onde tem atuado na área de Gestão Territorial, coordenando e executando o Projeto Geodiversidade do Maranhão. Desenvolve, ainda, atividades no Projeto Ação Emergencial de Setorização de Áreas de Alto e Muito alto Potencial de Deslizamentos e Enchentes.

JEAN RICARDO DA SILVA DO NASCIMENTO – Graduado (1997) em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Piauí (UFPI), mestre (2001) em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (IPH/UFRGS) e doutorando no IPH/UFRGS. Ingressou na CPRM/SGB (Residência de Teresina – RETE) em 2007, no cargo de Pesquisador em Geociências. Tem experiência na área de Engenharia Civil, com ênfase em Gestão e Planejamento e Saneamento Ambiental.

JENNIFER FORTES CAVALCANTE RENK – Bacharelada em Geografia pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). Nesse período, foi bolsista no Núcleo de Estudos do Quaternário e Tecnógeno (NEQUAT/UFRJ) de Iniciação Científica PIBIC/CNPq pelo projeto “A Recuperação de Rios no Médio Vale do Rio Paraíba do Sul: Bases Geomorfológicas para uma Construção Ambiental”, onde desenvolveu análise de condicionantes de retenção e evasão sedimentar, mapas de feições geomorfológicas e de compartimentação topográfica. Voluntária na WWF-Brasil (Exposição Água para a Vida, Água para Todos) e no Projeto Rondon (Operação Centro-Norte Retorno no Município de Prainha-PA), na área de ecoturismo e desenvolvimento sustentável. Estagiária na CPRM/SGB (DEGET), no Escritório Rio de Janeiro, participa de atividades dos projetos Geomorfologia das Bacias dos Rios Guapi-Macacu e Caceribu e do Programa Geodiversidade do Brasil.

JOÃO ALBERTO OLIVEIRA DINIZ – Geólogo (1981) e mestre em Geociências (1987) pela Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). Ingressou na CPRM/SGB no ano de 2007, assumindo o cargo de Supervisor da área de Hidrologia e Gestão Territorial da SUREG-RE em 2009. Atualmente, é assistente do Departamento de Hidrologia e Gestão Territorial da CPRM, atuando nacionalmente nas áreas de Cartografia Hidrogeológica e Estudos e Pesquisas Hidrogeológicas.

JULIANA RIBEIRO VIEIRA – Geóloga (2002) pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ). Ingressou, em 2005, na ANP, onde, desde então, atua na Superintendência de Definição de Blocos (SDB). Atualmente, é superintendente adjunta da área (SDB), sendo responsável pela seleção e condução dos estudos geológicos das bacias sedimentares para as rodadas de licitações da ANP; estudos geológicos do pré-sal; gestão do Plano Plurianual de Estudos de Geologia e Geofísica da ANP, que visa à aquisição de dados nas bacias de fronteira exploratória.

LÍVIA VARGAS DE SOUZA – Licenciada (2011) e Bacharelada em Geografia pela Universidade Federal Fluminense (UFF). Professora da Rede Estadual de Educação do Rio de Janeiro. Nesse período, foi bolsista de Iniciação Científica PIBIC/UFF e CNPq do Núcleo de Pesquisa sobre Regionalização e Globalização (NUREG/UFF) e da FAPERJ, desenvolvendo o Projeto Revelando o Estado do Rio de Janeiro através das suas Paisagens. Colaboradora do projeto de extensão da UFF de produção de material didático, produzindo o Atlas Escolar de Niterói. Estagiária da CPRM/SGB, no DEGET (Escritório Rio de Janeiro), participa de atividades dos projetos Banco de Fotos, Geomorfologia das Bacias dos Rios Guapi-Macacu e Caceribu e do Programa Geodiversidade do Brasil.

MARCELO EDUARDO DANTAS – Graduado (1992) em Geografia pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), com os títulos de licenciado em Geografia e Geógrafo. Mestre (1995) em Geomorfologia e Geoecologia pela UFRJ. Nesse período, integrou a equipe de pesquisadores do Laboratório de Geo-Hidroecologia (GEOHECO/UFRJ), tendo atuado na investigação de temas como: Controles Litoestruturais na Evolução do Relevo; Sedimentação Fluvial; Impacto das Atividades Humanas sobre as Paisagens Naturais no Médio Vale do Rio Paraíba do Sul. Em 1997, ingressou na CPRM/SGB, atuando como geomorfólogo até a presente data. Desenvolveu atividades profissionais em projetos na área de Geomorfologia, Diagnósticos Geoambientais e Mapeamentos da Geodiversidade, em atuação integrada com a equipe de geólogos do Programa GATE/CPRM. Dentre os trabalhos mais relevantes, destacam-se: Mapa Geomorfológico e Diagnóstico Geoambiental do Estado do Rio de Janeiro; Mapa Geomorfológico do ZEE RIDE Brasília; Estudo Geomorfológico Aplicado à Recomposição Ambiental da Bacia Carbonífera de Criciúma; Análise da Morfodinâmica Fluvial Aplicada ao Estudo de Implantação das UHes de Santo Antônio e Jirau (Rio Madeira-Rondônia). Atua, desde 2002, como professor-assistente do curso de Geografia do Centro Universitário Augusto Motta (UNISUAM). Atualmente, é coordenador nacional de Geomorfologia do Projeto Geodiversidade do Brasil (CPRM/SGB). Membro efetivo da União da Geomorfologia Brasileira (UGB) desde 2007.

MARIA ADELAIDE MANSINI MAIA – Graduada (1996) em Geologia pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ) e mestre (2013) em Ciências (Geologia) pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). Ingressou na Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais/Serviço Geológico do Brasil (CPRM/SGB) em 1997, onde exerce o cargo de Pesquisador em Geociências na área de Gestão Territorial (DEGET). Atuou, de 1997 a 2009, na Superintendência Regional de Manaus da CPRM/SGB, nos projetos de gestão territorial, destacando-se o Mapa da Geodiversidade do Estado do Amazonas e os Zoneamentos Ecológico-Econômicos (ZEEs) do Vale do Rio Madeira, da porção central do estado de Roraima e do Distrito Agropecuário da Zona Franca de Manaus. Participou do mapeamento geológico-geotécnico do traçado do Trem de Alta Velocidade (TAV) e de mapeamento de área de risco geológico no município de Teresópolis (RJ). Atualmente, lotada no Escritório Rio de Janeiro da CPRM/SGB, desenvolve atividades ligadas à coordenação executiva do DEGET, notadamente no Programa Geologia do Brasil - Levantamento da Geodiversidade. É coautora nos livros “Geodiversidade do Brasil” e “Geodiversidade do Estado do Amazonas” e autora de diversos trabalhos científicos.

MARIA ANGÉLICA BARRETO RAMOS – Graduada (1989) em geologia pela UnB e mestre (1993) em Geociências pela Universidade Federal da Bahia (UFBA). Ingressou na CPRM/SGB em 1994, onde atuou em mapeamento geológico no Projeto Aracaju ao Milionésimo. Em 1999, no Departamento de Gestão Territorial (DEGET), participou dos projetos Acajutiba-Aporá-Rio Real e Porto Seguro-Santa Cruz Cabralia. Em 2001, na Divisão de Avaliação de Recursos Minerais, integrou a equipe de coordenação do Projeto GIS do Brasil e de Banco de Dados da CPRM/SGB. A partir de 2006, passou a atuar na coordenação de Geoprocessamento do Projeto Geodiversidade do Brasil no DEGET. Especialista em Modelagem Espacial de Dados em Geociências, ministra cursos e treinamentos em ferramentas de SIG aplicadas a projetos da CPRM/SGB. É autora de 33 trabalhos individuais e coautora nos livros “Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil”, “Geodiversidade do Brasil” e “Geodiversidade do Estado da Bahia”, dentre outros (13). Foi presidenta da Associação Baiana de Geólogos no período de 2005-2007 e vice-presidente de 2008 a 2009.

MARINA ABELHA – Formada (2008) em Geologia e mestre (2010) em Geologia pela UFRJ. Ingressou na ANP – Superintendência de Definição de Blocos (SDB) em 2008.

PAULO PONTES ARAÚJO – Bacharel (1974) em Geologia e mestre (2001) em Hidrogeologia pela UFPA, e doutor (2011) em Ciências (Hidrogeologia Ambiental) pela Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA). Professor convidado do Instituto de Geociências da UFPA. Pesquisador em Geociências na SUREG-BE da CPRM/SGB de 1976 a 1996. Lotado na Divisão de Gestão Territorial da Amazônia (DIGEAM-BE) desde 1997. Linhas de atuação: Cartografia Hidrogeológica, Monitoramento de Águas Subterrâneas, Contaminação de Aquíferos, Hidroquímica e Avaliação da Vulnerabilidade das Águas Subterrâneas à Poluição.

PEDRO AUGUSTO DOS SANTOS PFALTZGRAFF – Graduado (1984) em Geologia pela UERJ, mestre (1994) na área de Geologia de Engenharia e Geologia Ambiental pela UFRJ e doutor (2007) em Geologia Ambiental pela UFPE. Trabalhou, entre 1984 e 1988, em obras de barragens e projetos de sondagem geotécnica na empresa Enge Rio – Engenharia e Consultoria S.A. Entre os anos de 1985-1994, trabalhou como geólogo autônomo. Ingressou na CPRM/SGB em 1994, no cargo de Pesquisador em Geociências, no Escritório Rio de Janeiro, já tendo, também, exercido a função de coordenador regional (NE) de geodiversidade. Atua em diversos projetos de Geologia de Engenharia, Geologia Ambiental e Geotecnia e Levantamento e Mapeamento de Riscos Geológicos.

RAFAEL ROLIM DE SOUSA – Geólogo formado (2006) pela Universidade Federal do Ceará (UFC). Atua desde 2007 na Residência de Fortaleza da CPRM/SGB, no setor de Água Subterrânea. Possui experiência em Geoprocessamento e Cartografia Hidrogeológica. Participa do Projeto Mapa Hidrogeológico do Brasil. Participou também dos projetos Geoquímica Multiuso no Estado do Ceará, Rede Integrada de Monitoramento de Águas Subterrâneas (RIMAS), Pesquisa Hidrogeológica em Bacias Sedimentares no Nordeste Brasileiro e do Sistema de Informações de Águas Subterrâneas (SIAGAS).

SHEILA GATINHO TEIXEIRA – Formada (2004) em Geologia, mestre (2006) e doutora (2011) em Geologia pela UFPA, na subárea de Sensoriamento Remoto. Atuou de 2008 a 2010 na Superintendência Regional de Manaus da CPRM/SGB, nos projetos Geodiversidade do Estado do Amazonas e Dinâmica Fluvial do Sistema Negro-Solimões-Amazonas. Desde 2010 está lotada na SUREG-BE, onde desenvolveu os projetos Geodiversidade do Estado do Pará e Amapá, além do Projeto Geologia e Recursos Minerais do Estado do Maranhão. Atualmente, desenvolve os projetos Geodiversidade da Região de Fronteira Brasil-Guiana, Informe Mineral do Estado do Amapá e Ação Emergencial e Setorização de Riscos.

SUELY SERFATY-MARQUES – Graduada (1975) em Geologia pela UFPA e especialização (1991) em Petrologia e Engenharia do Meio Ambiente (CIEG-GATE/ATIBAIA-SP/CPRM). Atua na CPRM/SGB desde 1989, onde exerce a função de assistente da chefia da Divisão de Gestão Territorial da Amazônia. Nos primeiros 15 anos de carreira, dedicou-se à análise petrográfica e a estudos de petrologia e mineralogia, tendo atuado nos estados do Pará e Goiás, em diversas instituições públicas e órgãos geocientíficos, como: RADAMBRASIL, SUDAM, IDESP (POLAMAZÔNIA), UFPA/FADESP, NUCLEBRÁS, DNPM e CPRM. A partir de 1991, voltou seu enfoque para a área ambiental, sendo que, de 1992 a 1997, empreendeu trabalhos sobre abastecimento hídrico e gestão municipal. Desde 1997 vem se envolvendo com o Zoneamento Ecológico-Econômico (ZEE) da Amazônia (Organização dos Estados Americanos – OEA), especialmente nas faixas de fronteira com os países da Pan-Amazônia, onde atuou como assistente da coordenação brasileira nos projetos de cooperação com a Venezuela, Colômbia, Peru e Bolívia. Ao longo de toda sua carreira, esteve à frente na revisão de textos técnicos multitemáticos e potencialização das informações geocientíficas. Cursa a Faculdade de Letras: licenciatura plena em Português-Inglês e suas literaturas.

VALTER JOSÉ MARQUES – Graduado (1966) em Geologia pela UFRGS e especialização em Petrologia (1979), pela Universidade de São Paulo (USP), e em Engenharia do Meio Ambiente (1991) pela UFRJ. Nos primeiros 25 anos de carreira, dedicou-se ao ensino universitário, na UnB e ao mapeamento geológico na CPRM/SGB, entremendo um período em empresas privadas (Mineração Morro Agudo e Camargo Correa), onde atuou em prospecção mineral em todo o território nacional. Desde 1979, quando retornou à CPRM/SGB, exerceu diversas funções e ocupou diversos cargos, dentre os quais o de chefe do Departamento de Geologia da CPRM/SGB e o de Superintendente de Recursos Minerais. Nos últimos 18 anos, vem se dedicando à gestão territorial, com destaque para o Zoneamento Ecológico-Econômico (ZEE), sobretudo na Amazônia e nas faixas de fronteira com os países vizinhos, atuando como coordenador técnico de diversos projetos binacionais. Nos últimos 10 anos, vem desenvolvendo estudos quanto à avaliação da geodiversidade para o desenvolvimento regional, utilizando técnicas de *cenários prospectivos*.

VITÓRIO ORLANDI FILHO – Geólogo (1967) formado pela UFRGS e especialização em Sensoriamento Remoto e Fotointerpretação no Panamá e Estados Unidos. De 1970 a 2007, exerceu suas atividades junto à CPRM/SGB, onde desenvolveu projetos ligados a Mapeamento Geológico Regional, Prospecção Mineral e Gestão Territorial. Em 2006, participou da elaboração do Mapa Geodiversidade do Brasil (CPRM/SGB).



GEODIVERSIDADE DO ESTADO DO MARANHÃO

PROGRAMA GEOLOGIA DO BRASIL
LEVANTAMENTO DA GEODIVERSIDADE

Geodiversidade do Estado do Maranhão é um produto concebido para oferecer aos diversos segmentos da sociedade maranhense uma tradução do atual conhecimento geocientífico da região, com vistas ao planejamento, aplicação, gestão e uso adequado do território. Destina-se a um público-alvo variado, desde empresas de mineração, passando pela comunidade acadêmica, gestores públicos estaduais e municipais, sociedade civil e ONGs.

Dotado de uma linguagem voltada para múltiplos usuários, o mapa compartimenta o território maranhense em unidades geológico-ambientais, destacando suas limitações e potencialidades frente a agricultura, obras civis, utilização dos recursos hídricos, fontes poluidoras, potencial mineral e geoturístico.

Nesse sentido, com foco em fatores estratégicos para a região, são destacadas Áreas de Relevante Interesse Mineral (ARIM), Potenciais Hidrogeológico e Geoturístico, Riscos Geológicos aos Futuros Empreendimentos, dentre outros temas do meio físico, representando rico acervo de dados e informações atualizadas e constituindo valioso subsídio para a tomada de decisão sobre o uso racional e sustentável do território nacional.

Geodiversidade é o estudo do meio físico constituído por ambientes diversos e rochas variadas que, submetidos a fenômenos naturais e processos geológicos, dão origem às paisagens, ao relevo, outras rochas e minerais, águas, fósseis, solos, clima e outros depósitos superficiais que propiciam o desenvolvimento da vida na Terra, tendo como valores intrínsecos a cultura, o estético, o econômico, o científico, o educativo e o turístico, parâmetros necessários à preservação responsável e ao desenvolvimento sustentável.



SEDE

SGAN – Quadra 603 • Conj. J • Parte A – 1º andar
Brasília – DF • 70830-030
Fone: 61 3326-9500 • 61 3322-4305
Fax: 61 3225-3985

Escritório Rio de Janeiro – ERI

Av. Pasteur, 404 – Urca
Rio de Janeiro – RJ • 22290-255
Fone: 21 2295-5337 • 21 2295-5382
Fax: 21 2542-3647

Presidência

Fone: 21 2295-5337 • 61 3322-5838
Fax: 21 2542-3647 • 61 3225-3985

Diretoria de Hidrologia e Gestão Territorial

Fone: 61 3223-1059 • 21 2295-8248
Fax: 61 3323-6600 • 21 2295-5804

Departamento de Gestão Territorial

Fone: 21 2295-6147 • Fax: 21 2295-8094

Diretoria de Relações Institucionais e Desenvolvimento

Fone: 21 2295-5837 • 61 3223-1166/1059
Fax: 21 2295-5947 • 61 3323-6600

Residência de Teresina

Rua Goiás, 312 – Sul
Teresina – PI – Brasil • 64001-570
Fone: 86 3222-4153 • Fax: 86 3222-6651

Assessoria de Comunicação

Fone: 61 3321-2949 • 61 3321-2949
asscomdf@cprm.gov.br

Divisão de Marketing e Divulgação

Fone: 31 3878-0372 • Fax: 31 3878-0382
marketing@cprm.gov.br

Ouvidoria

Fone: 21 2295-4697 • Fax: 21 2295-0495
ouvidoria@cprm.gov.br

Serviço de Atendimento ao Usuário – SEUS

Fone: 21 2295-5997 • Fax: 21 2295-5897
seus@cprm.gov.br

www.cprm.gov.br
2013

PAC PROGRAMA DE
ACELERAÇÃO DO
CRESCIMENTO