

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA
SECRETARIA DE MINAS E METALURGIA

CPRM – Serviço Geológico do Brasil

PROGRAMA LEVANTAMENTOS GEOLÓGICOS BÁSICOS DO BRASIL

CAXIAS

FOLHA SB.23-X-B

Estados do Piauí e Maranhão

Organizado por
José Alcir Pereira Ribeiro
Felicíssimo Memo
Liano Silva Veríssimo

BRASÍLIA 2001

CAXIAS

FOLHA SB.23-X-B

Escala 1:250.000

PROGRAMA LEVANTAMENTOS GEOLÓGICOS BÁSICOS DO BRASIL

COORDENAÇÃO NACIONAL DO PROGRAMA

Inácio de Medeiros Delgado

COORDENAÇÃO TEMÁTICA

Nacional

Bases de Dados Nelson Custódio da Silva Filho
Geofísica Mário José Metelo
Geologia Estrutural Reginaldo Alves dos Santos
Geoquímica Carlos Alberto C. Lins e Gilberto José Machado
Metalogenia/Geologia Econômica Inácio de Medeiros Delgado
Petrologia Luiz Carlos da Silva
Sedimentologia Augusto José Pedreira
Sensoriamento Remoto Cidney Rodrigues Valente

Regional

Superintendência Regional de Recife e Residência de Fortaleza *

Coordenador Regional Antônio Maurílio Vasconcelos
Supervisor de Projetos Antônio Maurílio Vasconcelos
Geofísica José Farias de Oliveira
Geoquímica Sérgio João Frizzo
Petrologia/ Petrografia Iaponira de Oliveira Paiva
Sedimentologia José Alcir Pereira Ribeiro
Geologia Estrutural Francisco Wladimir Castro de Oliveira
Metalogenia Antônio Maurílio Vasconcelos
Sensoriamento Remoto Fernando da Silva Prado
Geoprocessamentos Francisco Edson M. Gomes

FOLHA CAXIAS (* à época da execução da Folha)

CRÉDITOS DE AUTORIA

Capítulo 1 Subitens 1.1 a 1.4.3	José Alcir Pereira Ribeiro e Felicíssimo Melo	Capítulo 6	José Alcir Pereira Ribeiro, Felicíssimo Melo e Liano Silva Veríssimo
Subitens 1.4.4 a 1.4.6	Francisco Tarcísio Braga de Andrade	Cartas: Geológica	José Alcir Pereira Ribeiro e Felicíssimo Melo
Capítulo 2 Subitens 2.1 a 2.5 Subitem 2.6	José Alcir Pereira Ribeiro José Alcir Pereira Ribeiro e Felicíssimo Melo	Cartograma Potencial Mineral/ Previsional	José Alcir Pereira Ribeiro e Felicíssimo Melo
		Hidrogeológica	Liano Silva Veríssimo
Capítulo 3	Francisco Edson Mendonça Gomes	Cadastramento	
Capítulo 4	José Ferreira de Sousa	Mineral:	José Alcir Pereira Ribeiro e Felicíssimo Melo
Capítulo 5	Liano Silva Veríssimo		

Revisão Final

José Alcir Pereira Ribeiro

PROGRAMA LEVANTAMENTOS GEOLÓGICOS BÁSICOS DO BRASIL
PROJETO ESPECIAL MAPAS DE RECURSOS MINERAIS, DE SOLO E DE
VEGETAÇÃO PARA A ÁREA DO PROGRAMA GRANDE CARAJÁS
SUBPROJETO RECURSOS MINERAIS

Executado pela CPRM – Serviço Geológico do Brasil
Superintendência Regional de Recife, Residência de Fortaleza

Coordenação Editorial a cargo da
Divisão de Editoração Geral – DIEDIG
Departamento de Apoio Técnico – DEPAT

RIBEIRO, José Alcir Pereira

Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. Caxias. Folha SB.23-X-B. Estado do Piauí e Maranhão /organizado por José Alcir Pereira Ribeiro, Felicíssimo Melo e Liano Silva Veríssimo – Escala 1:250.000. Brasília: CPRM, 2001.

1 CD-ROM

"Projeto Especial Mapas de Recursos Minerais, de Solos e de Vegetação para a Área do Programa Grande Carajás. Subprojeto Recursos Minerais".

"Executado pela CPRM – Serviço Geológico do Brasil, Superintendência Regional de Recife, Residência de Fortaleza".

1. Geologia – Maranhão. – Mapas. 2. Geologia – Piauí – Mapas. I. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. II. Título.

CDD. 558.12

SUMÁRIO

RESUMO	vii
ABSTRACT	ix
1 INTRODUÇÃO.	1
1.1 Localização e Acesso.	1
1.2 Aspectos Socioeconômicos	1
1.3 Metodologia	3
1.4 Aspectos Fisiográficos	4
1.4.1 Geomorfologia	4
1.4.2 Solos	6
1.4.3 Vegetação.	6
1.4.4 Pluviometria	8
1.4.5 Climatologia	8
1.4.6 Fluviometria	18
2 GEOLOGIA REGIONAL E ESTRATIGRAFIA.	23
2.1 Trabalhos Anteriores.	23
2.2 Panorama Geotectônico Regional.	24
2.3 Estratigrafia	28
2.3.1 Comentários Gerais	28
2.3.2 Paleozóico	30
2.3.2.1 Grupo Canindé	30
2.3.2.1.1 Formação Cabeças – Dc	30
2.3.2.1.2 Formação Longá – DCI	31
2.3.2.1.3 Formação Poti – Cpo	33
2.3.2.2 Grupo Balsas	37
2.3.2.2.1 Formação Piauí – Cpi	37
2.3.2.2.2 Formação Pedra de Fogo – Ppf	40
2.3.2.2.3 Formação Motuca – Pm	40

2.3.3 Mesozóico	43
2.3.3.1 Grupo Mearim	43
2.3.3.1.1 Formação Corda – Jc	43
2.3.3.1.2 Formação Sardinha (Rochas Intrusivas Básicas) – Ks	45
2.3.3.1.3 Formação Itapecuru – Ki	46
2.3.4 Cenozóico	47
2.3.4.1 Coberturas Detríticas e/ou Lateríticas Terciárias – Tc	47
2.3.4.2 Aluviões – QHa	48
3 GEOLOGIA ESTRUTURAL E TECTÔNICA	49
4 GEOLOGIA ECONÔMICA	53
4.1 Depósitos/Ocorrências Minerais.	53
4.1.1 Minerais Não-Metálicos Industriais	56
4.1.1.1 Calcários.	56
4.1.1.2 Argilas	58
4.1.1.3 Pedras de Revestimentos	59
4.1.1.4 Ametista e Quartzo	59
4.1.2 Mineral Metálico Industrial.	60
4.1.2.1 Pirita	60
4.1.3 Mineral Radioativo	60
4.1.4 Minerais sem Importância Econômica	60
5 HIDROGEOLOGIA	61
5.1 Considerações Preliminares.	61
5.2 A Carta Hidrogeológica	61
5.3 Características Hidrogeológicas	62
5.3.1 Aquífero Cabeças	62
5.3.2 Aquífero Longá	66
5.3.3 Sistema Aquífero Poti-Piauí	66
5.3.4 Aquífero Pedra de Fogo	66
5.3.5 Aquitardo Motuca	67
5.3.6 Aquífero Corda.	67
5.3.7 Formação Sardinha	67
5.3.8 Aquífero Itapecuru	67
5.3.9 Coberturas Detríticas e/ou Lateríticas	68
5.3.10 Aluviões.	68
5.4 Reservas de Água Subterrânea	68
5.4.1 Volume Hídrico Precipitado	68
5.4.2 Reservas Renováveis	69
5.4.3 Reservas Permanentes	69
5.5 Uso Atual e Condições de Exploração	69
5.6 Condições das Áreas de Exposição dos Sistemas Aquíferos	69
5.7 Vulnerabilidade Natural dos Aquíferos à Poluição	70
5.8 Qualidade das Águas Subterrâneas	71
5.8.1 Generalidades	71
5.8.2 Composição Química	71
5.8.3 Fácies Hidroquímicas	72
5.8.4 Potabilidade das Águas	73
5.8.5 Qualidade das Águas para Irrigação e Consumo Animal	73

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.	79
6.1 Conclusões	79
6.2 Recomendações.	80
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.	83

APÊNDICES

Súmula de Dados de Produção
Ilustrações Fotográficas

ANEXOS:

- Carta Geológica – Escala 1:250.000, com cartograma de Recursos Minerais
- Carta Hidrogeológica

RESUMO

A Folha Caxias (SB.23-X-B), escala 1:250.000, limitada pelos meridianos 42°00' e 43°30' WGr e pelos paralelos 4°00' e 5°00' S, abrange uma área de 18.400km². Pertence ao domínio da Bacia intracratônica do Parnaíba, congregando terrenos do Fanerozóico, constituídos essencialmente de rochas sedimentares.

Os trabalhos de mapeamento adotaram técnicas e conceitos utilizados na interpretação de sistemas deposicionais. A partir do cadastramento das ocorrências minerais, foram determinadas as unidades com maior interesse econômico. Os estudos hidrogeológicos individualizaram e definiram três zonas para captação de água subterrânea. Foram cadastrados 597 pontos de água. Esses levantamentos resultaram na preparação da carta geológica onde consta o cartograma contendo os recursos minerais da folha, e da carta hidrogeológica.

A sedimentação é predominantemente siliciclástica, constituída de arenitos quartzosos, intercalados com siltitos, argilitos e folhelhos, ocorrendo subordinadamente calcários e sillexitos. Foram cartografadas onze formações: Cabeças, Longá, Poti, Piauí, Pedra de Fogo e Motuca, do Paleozóico; Corda e Itapecuru, do Mesozóico; rochas intrusivas básicas datadas do Eo-Cretáceo; coberturas terciárias e depósitos aluvionares quaternários. Os sedimentos correspondem

a ciclos transgressivos-regressivos, com depósitos de origem continental, transicional e marinha e sedimentos de origem lagunar associados a bacias restritas, evaporíticas, depositados sob condições climáticas de extrema aridez.

As unidades estratigráficas dispõem-se subhorizontalmente com atitudes que mantêm a tendência regional dos mergulhos para noroeste. A trama estrutural, apesar de bastante simples, apresenta boa coerência geométrica quando transportada para um plano regional e confrontada com o arcabouço estrutural da bacia.

A análise metalogenética-previsional definiu as formações Piauí e Motuca como as unidades prioritárias para prospecção, devendo constar de programas governamentais voltados para o interesse econômico regional.

Cerca de 72% das águas (68 amostras) possuem boa potabilidade, enquadrando-se dentro dos padrões de qualidade de águas para abastecimento público. Em 28 amostras analisadas, 64% foram classificadas como águas bicarbonatas seguidas pelas cloretadas (28%). Quanto ao uso para irrigação, na sua maioria apresentam baixo a médio risco de salinidade, podendo ser usadas em muitos tipos de lavouras e solos. O mesmo se aplica ao uso para os animais.

ABSTRACT

The Caxias sheet (SB.23-X-B) at the scale 1:250,000 limited the geographic coordinates 42°00' - 43°30' WGr and 4°00' - 5°00' S encompasses an area of 18,400 sq.km. in the domain of the intracratonic Phanerozoic Parnaíba Basin formed by sedimentary terrains.

The geologic survey adopted an approach based into the interpretation of depositional systems. After the study of the mineral occurrences, were determined the units with higher economic potential. The hydrogeologic survey identified 3 zones defined within the hidrogeologics conditions. Were listed 597 water sources (drilling wells and dug wells). These data are presented as the geologic, where are the data with the mineral resources of the sheet and hydrogeologic charts.

The sedimentation is essentially siliciclastic, formed by quartz-sandstones, interbedded siltstones, claystones and shales; limestones and cherts are subordinated. Eleven formations had been mapped: Cabeças, Longá, Poti, Piauí, Pedra de Fogo and Motuca from Paleozoic; Corda and Itapecuru from Mesozoic and early Cretaceous intrusive

rocks; Tertiary covers and alluvial Quaternary deposits. The sedimentary rocks represent transgressive-regressive cycles with deposits of continental, transition and marine origin, as well as, lagunar sediments associated to local evaporitic basins, deposited in a highly arid environment.

The stratigraphic units are subhorizontal with NW trending dips. The structural fabric, although very simple, presents good geometric coherence in regional terms copared with the structural frame of the basin.

The metalogenetic-previsional analysis determined Piauí and Motuca formations as the best units for prospecting, so that they must be considered by governamental programs with the aim of regional economic development.

About 72% of the water samples (68) have good potability, being within the limits of the quality standards of water for human utilization. In 28 samples, 64% are bicarbonat and 28% are cloretads. Regarding their use for irrigation, most of them present low to medium salinity, so, may be used for several types of cultures and soils, and for animal use.

1

INTRODUÇÃO

1.1 Localização e Acesso

A Folha Caxias (SB.23-X-B) na escala 1:250.000, cobrindo uma área de 18.400km², está localizada no Nordeste do Brasil, situada a noroeste do estado do Piauí e nordeste do estado do Maranhão (figura 1.1). A tabela 1.1 mostra a sua codificação dentro do sistema CIM (Carta Internacional ao Milionésimo) e seus limites.

Tabela 1.1 – Dados cartográficos da área mapeada.

Folha	Código CIM	Limites	
		N-S	E-W
Caxias	SB.23-X-B	4°00'-5°00'	42°00'-43°30'

O acesso à área a partir da cidade de Teresina pode ser feito através das rodovias federais BR- 343 e BR-316, que, cortando a área nos seus extremos sudeste e sudoeste, possibilitam a ligação por rodovias estaduais pavimentadas às principais cidades da região. A rede viária entre os sítios e distritos populacionais é complementada através de estradas e caminhos secundários interligados, alguns em precário estado de conservação, praticamente intransitáveis na estação invernososa.

A rede ferroviária federal Teresina - São Luís, de via única, cobre pequeno percurso da folha, alcançando somente o extremo-sudoeste.

O rio Parnaíba, principal curso d'água da região, corta a área em sua porção central no sentido norte-sul. Permite a comunicação, através de barcos e balsas de pequeno calado, entre as populações ribeirinhas dos estados do Piauí e do Maranhão. Os demais cursos de água da região fazem parte das bacias hidrográficas dos rios Itapecuru e Munim e seus afluentes.

As cidades de Campo Maior, José de Freitas, Barras e Batalha, no estado do Piauí; Caxias e Coelho Neto no estado do Maranhão, são os principais núcleos urbanos da folha. Todas dispõem de campo de pouso de pequena capacidade operacional.

1.2 Aspectos Socioeconômicos

As cidades de Caxias (MA) e Campo Maior (PI) constituem os principais pólos de desenvolvimento econômico da região, com uma população aproximada de 185.000 e 80.000 habitantes, respectivamente. Destacam-se ainda, além das cidades acima mencionadas, os municípios de União e Miguel

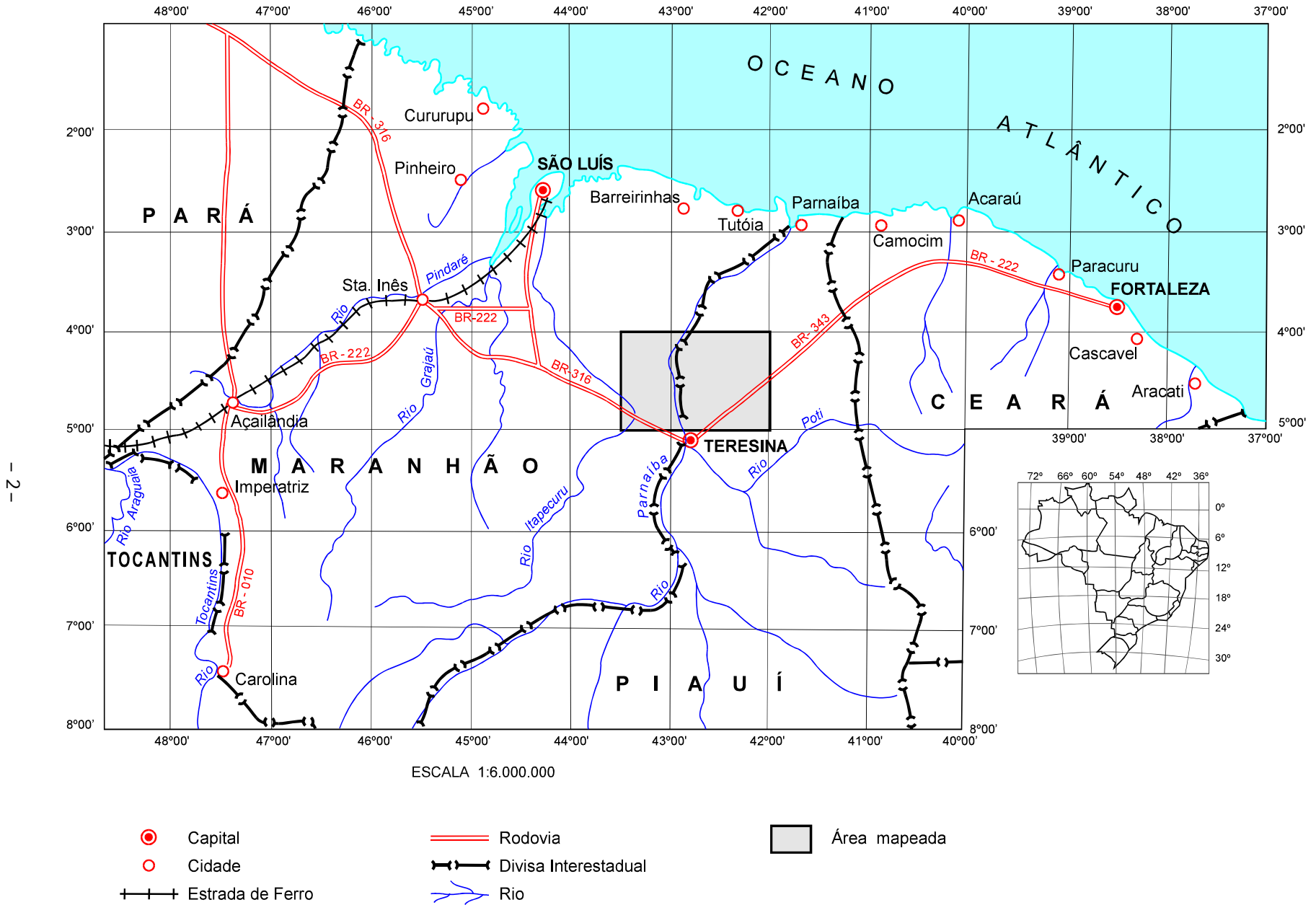


Figura 1.1 – Mapa de localização.

Alves (PI) e alguns núcleos populacionais distribuídos em pequenos distritos. Todos são servidos de escolas públicas de 1º e 2º grau, sendo o ensino de 3º grau ministrado pela Universidade Estadual do Maranhão, em Caxias. Em Campo Maior, há uma Escola Agrícola destinada à formação de técnicos de nível médio.

As principais cidades são servidas por bancos federais, estaduais e particulares, existindo postos de serviços de entidades bancárias federais nos municípios menores.

Em geral dispõem de água canalizada, energia elétrica (gerada nas hidrelétricas de Boa Esperança e Tucuruí, integrantes do Sistema ELETROBRÁS/ELETRONORTE); agências da Empresa Brasileira de Correios e Telégrafos (EBCT) e rede telefônica integrante do Sistema DDD-DDI, gerenciadas pela TELEPISA (Telecomunicações do Piauí S/A) e TELMA (Telecomunicações do Maranhão). Todos os locais captam sinais de televisão através de sistemas repetidores da Empresa Brasileira de Telecomunicações – EMBRATEL. A cidade de Caxias possui uma emissora de televisão (TV Paraíso) com autonomia na programação local.

A rede hospitalar inclui hospitais-maternidades e postos de saúde conveniados com o INAMPS e FUNRURAL, além de clínicas médicas e odontológicas particulares.

A rede hoteleira resume-se a pequenos hotéis e pensões com razoáveis condições para permanência.

Recentemente foram emancipados os municípios de Aldeias Altas, Afonso Cunha e Duque Bacelar (MA) e Cabeceiras (PI), passando a sediar alguns órgãos voltados para a assistência e acompanhamento da população local.

Na porção noroeste da folha ocorrem freqüentes desmatamentos ocasionados por queimadas, gerando verdadeiras “crateras” desfigurando a paisagem natural, em contraste com a exuberante vegetação desenvolvida regionalmente.

A economia da região é, basicamente, centrada no binômio agricultura-pecuária, sobressaindo-se: a extração do coco babaçu, de grande importância econômico-financeira, e o gado bovino. A cidade de Coelho Neto contém extensas áreas de cultivo de cana-de-açúcar, bambu e eucalipto que têm como finalidade fornecer matéria-prima para beneficiamento industrial de celulose na fabricação de papel, desenvolvida na área pela empresa Itapecuru Industrial, do Grupo João Santos. Em Campo Maior encontra-se instalado um frigorífico industrial que abastece a região com espécimes bovinos se-

leccionados. A cidade de União dispõe de uma usina para beneficiamento de arroz e óleo de babaçu.

No setor mineral, apenas as argilas recebem beneficiamento adequado. Algumas cidades possuem olarias de pequeno e médio porte com produção de tijolos, telhas e lajotas, que são comercializados regionalmente. A extração de calcário na cidade de José de Freitas e no distrito de Aarão Reis é feita de forma rudimentar. O produto é destinado à agricultura e para a fabricação de cal.

1.3 Metodologia

Os trabalhos foram executados em quatro etapas sucessivas:

- 1) aquisição, compilação e análise bibliográfica;
- 2) levantamento e integração de dados geológicos existentes na área, com posterior reinterpretação, assinalados através de imagens de sensoriamento remoto e de mosaico semi-controlado de Radar;
- 3) fase de campo para a realização do mapeamento geológico, do cadastramento de recursos minerais e do levantamento hidrogeológico de campo;
- 4) consolidação dos dados, seguindo-se a confecção dos mapas finais e a elaboração do texto explicativo.

Os procedimentos adotados para a elaboração da cartografia hidrogeológica foram aqueles referentes aos “Mapas Hidrogeológicos - definição e legenda”, (*in*: Leal, 1993) e os mesmos já aplicados em trabalhos anteriores (ex.: Araújo, 1989, 1990 e Verissimo, 1993).

Os trabalhos relacionados à geofísica consistiram basicamente na interpretação qualitativa das informações constantes nos mapas magnetométrico e gravimétrico fornecidos pela Petrobras, elaborados a partir de levantamentos executados na Bacia do Parnaíba; estão representados no mapa geológico como alinhamentos gravimétricos e magnéticos nas respectivas unidades.

Na parte referente à análise das unidades litoestratigráficas mapeadas, utilizou-se a técnica que consiste na “leitura” e correlação das fácies sedimentares e das seqüências litogenéticas analisadas. Para cada afloramento visitado procedia-se à análise detalhada das estruturas sedimentares (geometria, textura, estratificação, paleocorrentes), seguindo-se à interpretação dos processos e do ambiente deposicional. O tratamento dos dados não permitiu estabelecer associação de litofácies para todas as unidades mapeadas. Apenas as relações mútuas entre as unidades do Carbonífero po-

dem ser visualizadas nos quadros 2.2 e 2.3. Foram mantidas, na coluna estratigráfica e no mapa geológico apresentados, as denominações formais e consagradas na literatura geológica.

Todo o acervo de dados foi devidamente analisado pela equipe executora do projeto, que contou com a colaboração de consultores internos e externos, especializados, elaborando-se finalmente, as cartas geológica e hidrogeológica, juntamente com o texto explicativo. No cartograma que teve como suporte o mapa geológico, se acham integradas e hierarquizadas as áreas mineralizadas, prioritárias para prospecção mineral. Os dados econômicos dos jazimentos que têm sido objeto de extração são representados por uma circunferência, onde constam as informações referentes à situação atual do jazimento ativo, inativo ou intermitente. Nas convenções identificam-se as substâncias minerais, morfologia e textura dos jazimentos. Na carta hidrogeológica constam os pontos de água, juntamente com dados de hidroquímica e vulnerabilidade dos aquíferos estudados.

As demais informações relativas à Folha Caxias, tais como: ficha de descrição de afloramentos, planilha de cadastro de ocorrências minerais, resultados de análise petrográfica, boletins de análises químicas (mineralógica, granulométrica, paleontológica, físico-químicas) encontram-se disponíveis no Sistema de Informações Geológicas do Brasil-SIGA, elaborado pela CPRM para o DNPM, acessível ao público por meio de consulta em terminais de computadores, por via telefônica ou por solicitação ao Sistema de Informações em Recursos Naturais – SIR, na CPRM.

A equipe executora dos trabalhos foi constituída pelos geólogos José Alcir Pereira Ribeiro e Felicíssimo Melo, da equipe de mapeamento, e Liano Silva Veríssimo, da equipe de hidrogeologia – sob supervisão do geólogo José Carvalho Cavalcante, todos da residência de Fortaleza – REFO. Contou com a colaboração de Augusto José Pedreira (Coordenador Nacional de Sedimentologia) e de Inácio de Medeiros Delgado, da Coordenação Nacional do PLGB, da Superintendência de Salvador.

As análises mineralógicas e paleontológicas foram realizadas no Laboratório Central de Análises Minerais – LAMIN, escritório da CPRM, no Rio de Janeiro. Na Residência de Fortaleza as análises petrográficas foram realizadas pela geóloga Iaponira de Oliveira Paiva.

Todos os documentos consultados e produzidos durante o desenvolvimento do projeto constam das referências bibliográficas que se encontram no final deste documento.

1.4 Aspectos Fisiográficos

1.4.1 Geomorfologia

A área mapeada está encravada na Região Nordeste do Brasil, assentada em terrenos da Bacia sedimentar do Parnaíba, fanerozóica, classificada como uma bacia intracratônica.

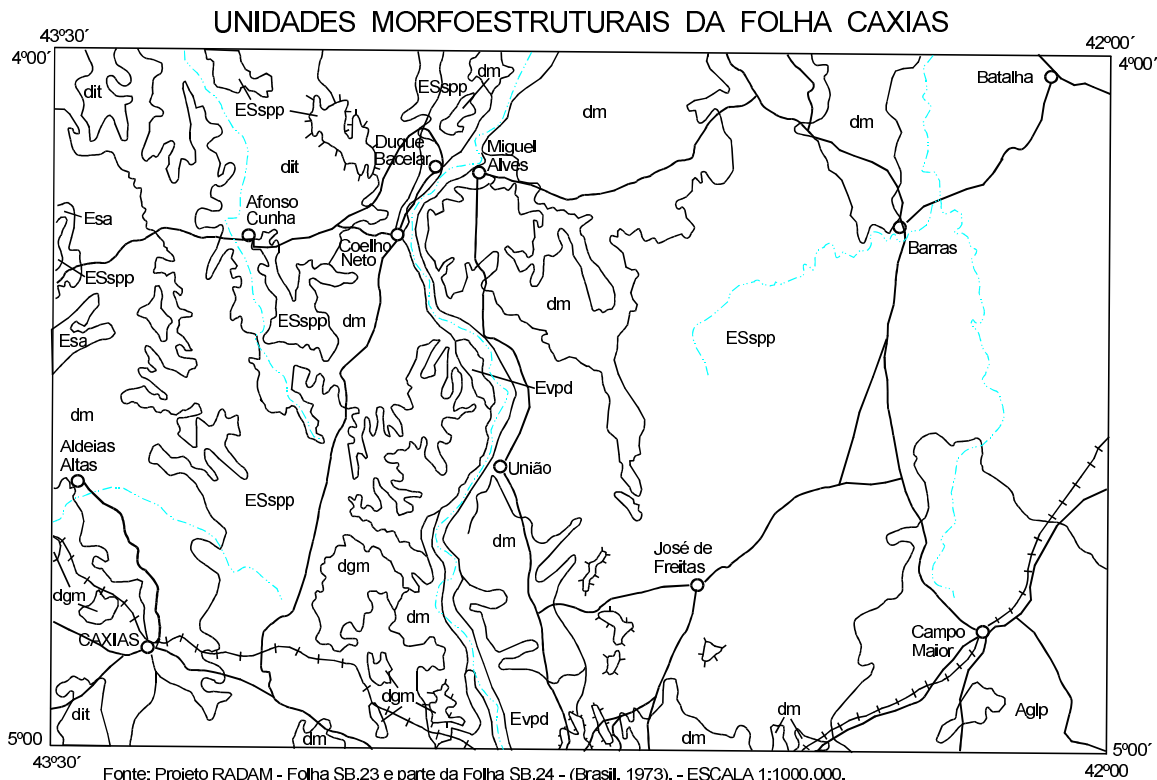
Segundo o Mapa Geomorfológico da Folha Teresina/Jaguaribe (Projeto RADAM, 1973), na região analisada as feições morfológicas estão diretamente relacionadas aos fatores paleoclimáticos e litológicos regionais. Abrange duas unidades morfoestruturais denominadas Pediplano Central do Maranhão e Superfície Sublitorânea de Bacabal (figura 1.2).

Os terrenos sedimentares da área incluem litologias variadas como: arenitos quartzosos, siltitos, folhelhos e argilitos, associados a camadas de silxitos e calcários fossilíferos. Esse conjunto está esculpado em rochas subhorizontalizadas, com mergulhos suaves, parcialmente envolvido por uma morfogênese mecânica, controlada em parte pela rede de drenagem.

A unidade denominada Pediplano Central do Maranhão ocupa mais de 90% da área mapeada, distribuindo-se por todos os seus quadrantes. Corresponde a feições geralmente erosivas como as superfícies estruturais pediplanadas e os vales pedimentados. O controle estrutural dessa unidade são os mergulhos das camadas com declividade geral para norte-noroeste, seguindo o vale do rio Parnaíba. Assume relevo em forma de chapada e em formato de mesas, bem caracterizado na serra de Campo Maior, no extremo-sudeste da folha e na serra de Morrinhos, a sudoeste de José de Freitas, com superfícies que variam de 100 a 400m. Abaixo dessas cotas ocorrem áreas de interflúvios tabulares e as formadas pelo agrupamento de mesas, assinaladas na porção ocidental da área, em zonas de abrangência das formações paleozóicas, mezozóicas e de coberturas terciárias.

A Superfície Sublitorânea de Bacabal ocupa faixas localizadas no extremo-ocidental da folha, em zonas rebaixadas, com altitudes em torno de 100m. É caracterizada por um relevo em colinas onduladas, resultante da dissecação progressiva em áreas do Pediplano Central do Maranhão. Ocupa também zonas de abrangência das formações cretáceas e áreas laterizadas terciárias.

A coalescência dos vales pedimentados dos rios Parnaíba e Itapecuru ocupa as planícies fluviais localizadas na porção central e sudoeste da folha. As



FORMAS EROSIVAS

- | | |
|-------|---|
| ESspp | Superfícies estruturais pediplanadas. Extensas superfícies elaboradas em rochas sedimentares, com amplos vales interplanálticos pedimentados e algumas áreas muito dissecadas por retomada de erosão recente. |
| Esa | Superfícies aplainadas. Áreas submetidas a aplainamentos em zona de interferência de processos litorâneos e continentais. |
| Evpd | Vales pedimentados. Vales interplanálticos com pedimentos bem conservados, convergindo, geralmente sem ruptura de declive, para a calha fluvial; eventualmente em processos de retomada de erosão. |

TIPOS DE DISSECAÇÃO

- | | |
|-----|--|
| dit | Dissecado em interfúvios tabulares. Forma de dissecação determinada pelo entalhamento profundo de talvegues em relevos tabulares. |
| dm | Dissecado em mesas. Formas resultantes da evolução de processo de dissecação em interfúvios tabulares. |
| dgm | Dissecação em grupamentos de mesas. Relevos residuais tabulares isolados em superfícies aplainadas; forma mais evoluída do dissecado em mesas. |

FORMAS DE ACUMULAÇÃO

- | | |
|------|---|
| Aglp | Grupamento de lagoas em áreas de <i>playa</i> . Concentração de lagoas temporárias e depósitos inconsolidados de pedimentos, em zona de exorreísmo recente. |
|------|---|

- | | | | |
|---|---------------------|-------|------------------|
| ○ | Cidade | + + + | Estrada de ferro |
| ~ | Rodovia pavimentada | ~ ~ ~ | Rio |

Figura 1.2 – Unidades morfoestruturais da Folha Caxias.

áreas de "playa" resultantes da sucessão de lagoas localizadas no quadrante SE da área, envolvem parte das bacias dos rios Longá e Surubim. Os litótipos aflorantes estão parcialmente arrasados, com as formas de relevo levemente onduladas; os terrenos e terraços aluviais encontram-se bem desenvolvidos.

1.4.2 Solos

Na área pesquisada os solos resultam de um sistema de fatores que têm como componentes principais as seguintes variáveis: condições climáticas, vegetação, litologias dos quais são originados, e o tempo. Baseado no Mapa Exploratório de Solos (Projeto RADAM, 1973), ocorrem na região cinco tipos diferentes de solos (figura 1.3), discriminados a seguir, segundo a ordem de importância:

Areno-Quartzosos

São constituídos por areias quartzosas contendo concreções lateríticas; trata-se de solos permeáveis, de textura leve, pouco desenvolvidos e de baixa resistência. Em Campo Maior possuem características hidromórficas, desenvolvendo vegetação de campo com carnaúbas dispersas. Têm saturação baixa, são parcialmente evoluídos, com baixas percentagens de argila, e, apesar de bem drenados, são susceptíveis à erosão. Abrangem mais de 50% da área, distribuídos por toda a faixa oriental e regiões central, norte e sul, cobrindo grande parte das formações Cabeças, Longá, Poti, Piauí, Pedra de Fogo, Motuca, Sardinha e coberturas terciárias.

Podzólico Vermelho-Amarelo

Caracterizados por serem bem desenvolvidos e ácidos, com baixa e média fertilidade natural. Apresentam textura argilosa, individualizando-se nos horizontes A e B; exibem frações arenosas, contendo pouca matéria orgânica ao longo do perfil. Ocorrem a sul de Caxias, no vale do rio Itapecuru, onde se desenvolve uma vegetação de floresta decídua mista, e em áreas das formações Pedra de Fogo e Itapecuru.

Concrecionários Lateríticos

Identificados por apresentarem perfis argilosos e/ou argilo-arenosos no horizonte A e argilosos no horizonte B, não possuem interesse agrícola, sendo geralmente pouco profundos; estão

desenvolvidos em áreas com relevo suavemente ondulado com vegetação do tipo cerrado, parcialmente sobre sedimentos das formações Poti e Pedra de Fogo.

Latossolos

Caracterizados por desenvolverem processos de laterização. São solos envelhecidos, apresentando textura média, com excelente permeabilidade e baixa fertilidade. Ocorrem a nordeste de Caxias, na Chapada das Campinas e sobre coberturas terciárias, em domínio de transição entre a floresta e o cerrado.

Em áreas aluvionares e faixas de relevos escarpados ocorrem solos classificados como pouco desenvolvidos. Os terrenos aluviais correspondem aos cursos dos rios, riachos, as calhas de drenagem, depósitos de baixadas e acumulações residuais. Possuem textura variando de areia a argila, com estruturas pouco ressaltadas. Os solos litólicos são formados em áreas de relevo escarpado, possuem pouca espessura e baixa fertilidade.

1.4.3 Vegetação

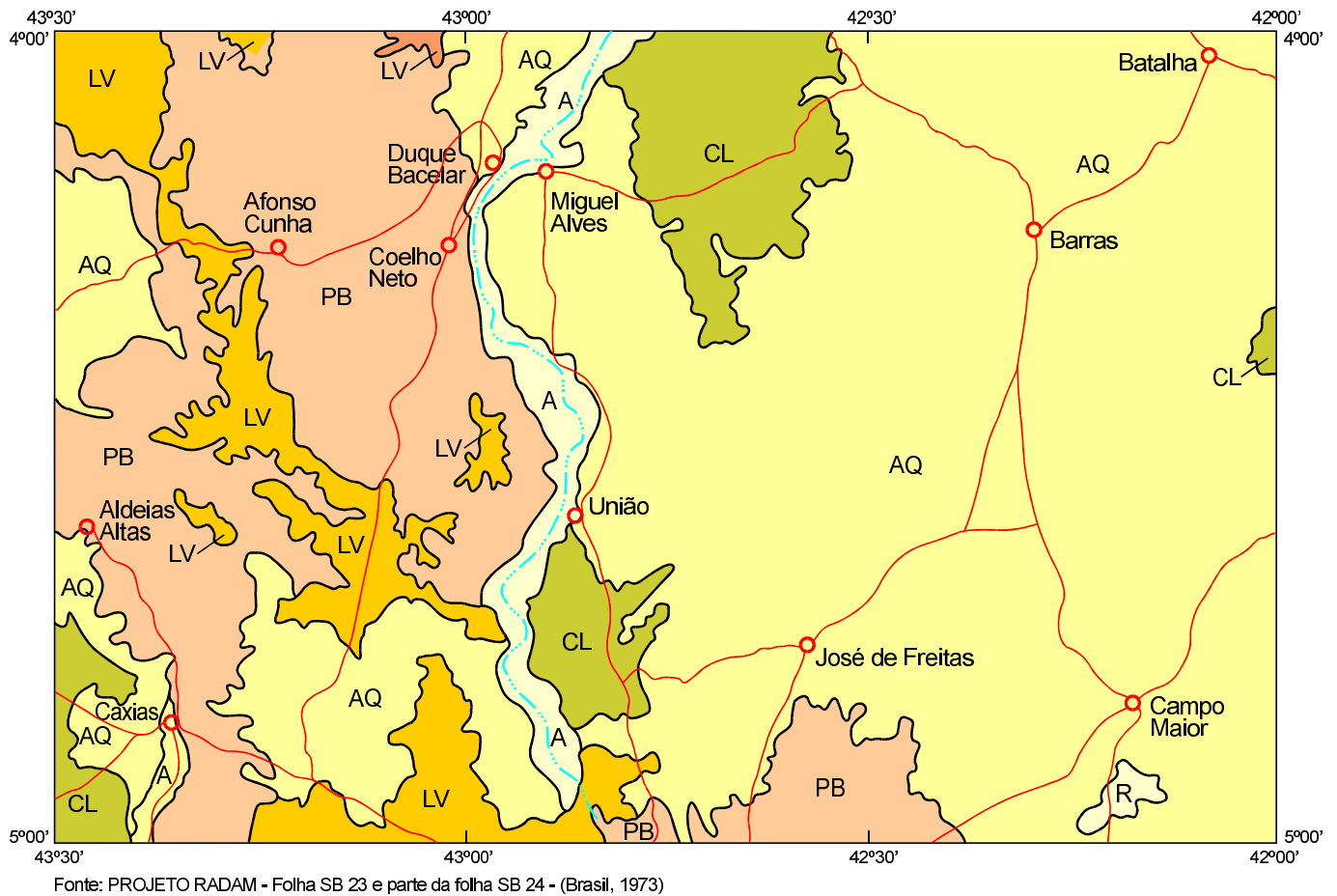
As associações vegetais encontradas na área estão condicionadas principalmente às variações climáticas reinantes, assumindo, a litologia e o relevo, papel destacado nas três regiões fitoecológicas a seguir descritas:

Floresta Aberta Decídua

Compreende a região dos baixos platôs e do curso médio do rio Parnaíba; encontra-se em contato com as zonas de Cerrado, formadas por florestas secundárias, com babaçu, e a Floresta Amazônica. Agrupa vegetais de médio a grande porte como: copaíba, pau d'arco, caraíba e caneleira. Nos vales, onde a umidade é mais elevada, aparecem a palmeira e o juazeiro.

Zona de Contato Cerrado-Caatinga

Abrange a Depressão de Campo Maior, conhecida como a parte central da Bacia do Parnaíba. Nas partes mais elevadas, compreende espécies vegetais denominadas de lixeira, murici, capins agrestes e árvores de pequeno porte, tortuosas e esgalhadas; medram gramíneas aspitosa e carnaúba, nos terrenos alagadiços.



- | | |
|------|---|
| AQ | Areias quartzosas e solos concrecionários lateríticos |
| PB | Podzólico vermelho-amarelo concrecionário, solos concrecionários, lateríticos e solos hidromórficos indiscriminados |
| CL | Solos concrecionários lateríticos e areias quartzosas |
| LV | Latossolo vermelho-amarelo, textura média e areias quartzosas; e solos concrecionários lateríticos |
| A, R | A - Solos aluviais; R - Solos litólicos |

Figura 1.3 – Mapa exploratório de solos.

Floresta Densa

Inserida em domínios da sub-região denominada de Cocal da Baixada Maranhense, ocorrendo em área de relevo aplainado, com morrotes, encontra-se bem caracterizada na região de Caxias. Registram-se entre os tipos mais comuns, babaçu-da-floresta e angelim.

Dentre as culturas vegetais consideradas de subsistência encontram-se: milho, feijão e arroz.

Freqüentemente, extensas áreas têm sido devastadas pelo homem, de forma irracional, com a realização de inúmeras queimadas para fins agrícola, agropecuário e industrial, não sendo realizada pelos órgãos competentes nenhuma providência eficaz que amenize a destruição do rico capeamento vegetal.

1.4.4 Pluviometria

A precipitação é o elemento fundamental do clima da área. Enquanto os demais elementos apresentam, relativamente, pouca diferenciação no tempo e no espaço, a chuva reveste-se de características contrastantes, além de variar quantitativamente entre limites dilatados e anos individuais. Acresce que essa versatilidade do parâmetro chuva repercute fundamentalmente nas atividades humanas, sobretudo pela influência que exerce sobre a produtividade agrícola e a vazão dos cursos d'água. Os valores das médias mensais/anuais de precipitações, constantes da tabela 1.2, referentes ao período 1966 a 1985, foram extraídos de onze estações pertencentes à rede pluviométrica da SUDENE.

A área distingue-se por apresentar pluviosidades crescentes no sentido leste-oeste. Esta distribuição espacial está representada no mapa de isietas da figura 1.4.

As figuras 1.5 e 1.6 mostram os histogramas dos onze postos citados, elaborados com base nos valores médios anuais, computados em nível mensal. Pela análise desses perfis gráficos, o regime pluviométrico para a área da folha caracteriza-se por dois períodos: um seco, de julho a outubro, e um chuvoso, que tem início em novembro, estendendo-se até maio. Observa-se, ainda, que março e abril são os meses de maior concentração pluviométrica, enquanto que agosto e setembro são os de menor precipitação.

1.4.5 Climatologia

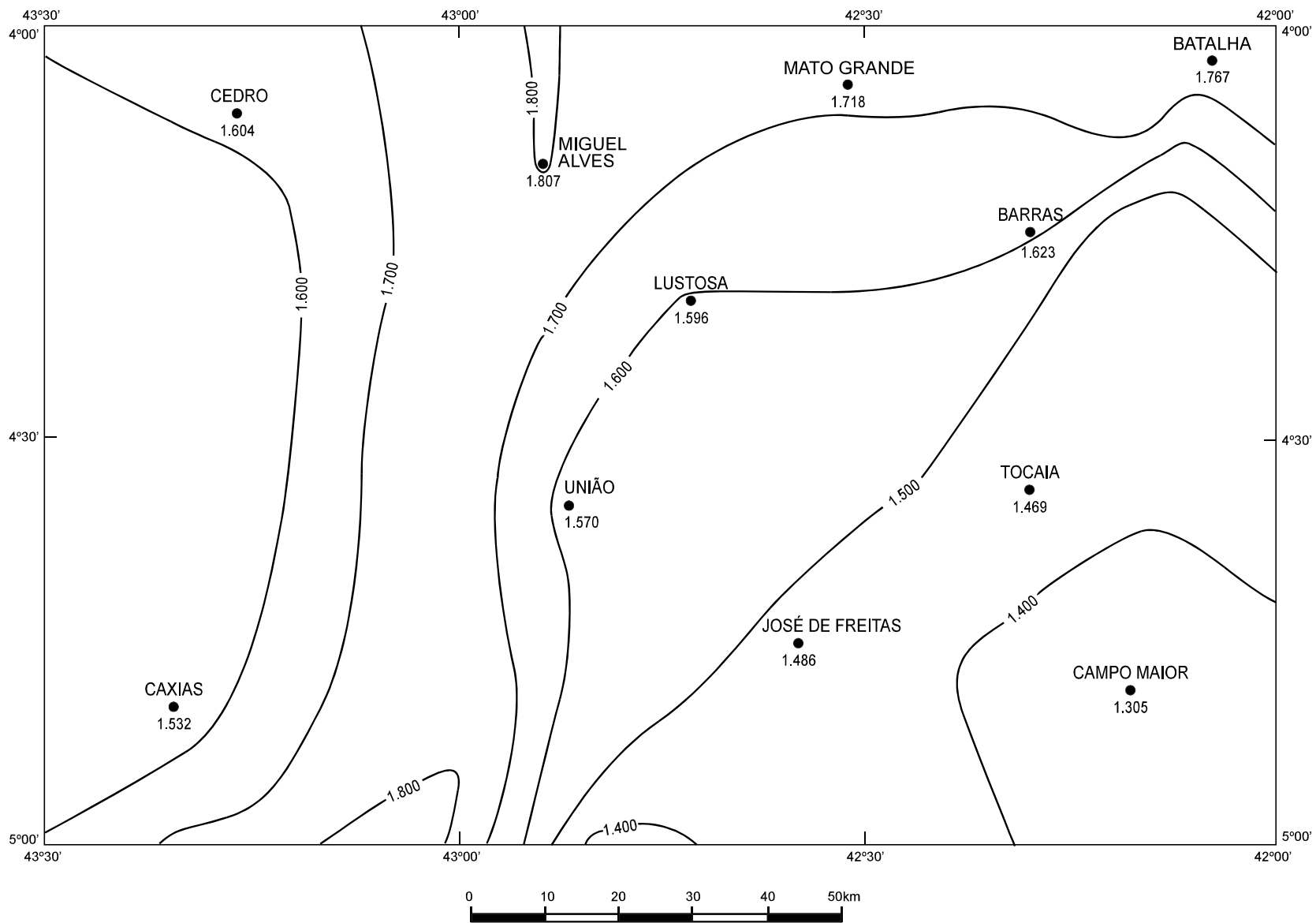
A área em estudo representa uma nítida zona de transição climática no sentido leste-oeste.

Tem sentido, ao longo do tempo, reflexos das condições climáticas que, freqüentemente, redundam em sérios prejuízos para suas populações. Portanto, o estudo climático, ora integrante deste trabalho, justifica-se não só como componente clássico de um levantamento desse tipo, mas também pela importância específica que assume na região.

Para a caracterização geral da área foi empregada a classificação climática fundamentada no método proposto por Thornthwaite (1955; *in* Camargo, 1960). Assim, baseado nos "índices de umidade" de Thornthwaite, verifica-se que a área comporta cinco tipos de clima: úmido, superúmido, subúmido, semi-árido e árido, distribuídos conforme indicado nas tabelas 1.3 a 1.13. A estação úmida, res-

Tabela 1.2 – Precipitações médias mensais e anuais.

Estação	Período	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	Média Anual
Batalha	1963/85	248,9	275,4	381,9	360,5	208,2	57,6	36,7	9,5	16,0	20,7	27,9	123,4	1.766,7
Barras	1951/85	214,7	271,9	391,9	322,3	191,3	53,9	19,8	9,1	14,6	14,6	28,3	90,6	1.623,0
Campo Maior	1936/85	200,3	215,5	327,8	234,2	104,4	20,8	8,4	8,6	8,4	22,3	45,2	109,1	1.305,0
Caxias	1965/76	176,1	256,1	361,6	331,1	132,1	35,1	15,2	5,4	15,8	19,8	69,0	114,4	1.531,7
Centro	1966/85	195,8	268,6	360,6	275,1	226,0	77,2	38,0	10,4	8,1	18,1	27,8	98,7	1.604,4
José de Freitas	1913/85	204,5	274,4	357,1	298,2	123,6	29,2	10,2	8,1	15,3	25,5	44,7	94,7	1.485,5
Mato Grande	1963/85	234,0	263,4	346,2	333,7	252,2	54,7	50,4	16,7	15,7	20,6	28,7	102,0	1.718,3
Miguel Alves	1963/85	233,5	307,4	377,9	306,0	218,0	78,1	55,6	18,9	15,9	33,5	57,9	104,5	1.807,2
Lustosa	1963/85	228,6	255,6	352,6	306,7	189,5	49,7	28,5	8,1	13,6	27,2	28,0	108,1	1.596,2
Tocaia	1963/85	224,5	243,3	370,2	272,3	149,5	29,4	19,4	9,1	13,9	18,7	46,9	94,9	1.468,9
União	1963/85	209,9	257,2	367,5	292,9	172,2	35,3	23,6	9,9	16,6	33,0	46,0	106,2	1.570,3



- ~ Isoietas e seus valores
- Estação pluviométrica

Figura 1.4 – Isoietas médias anuais.

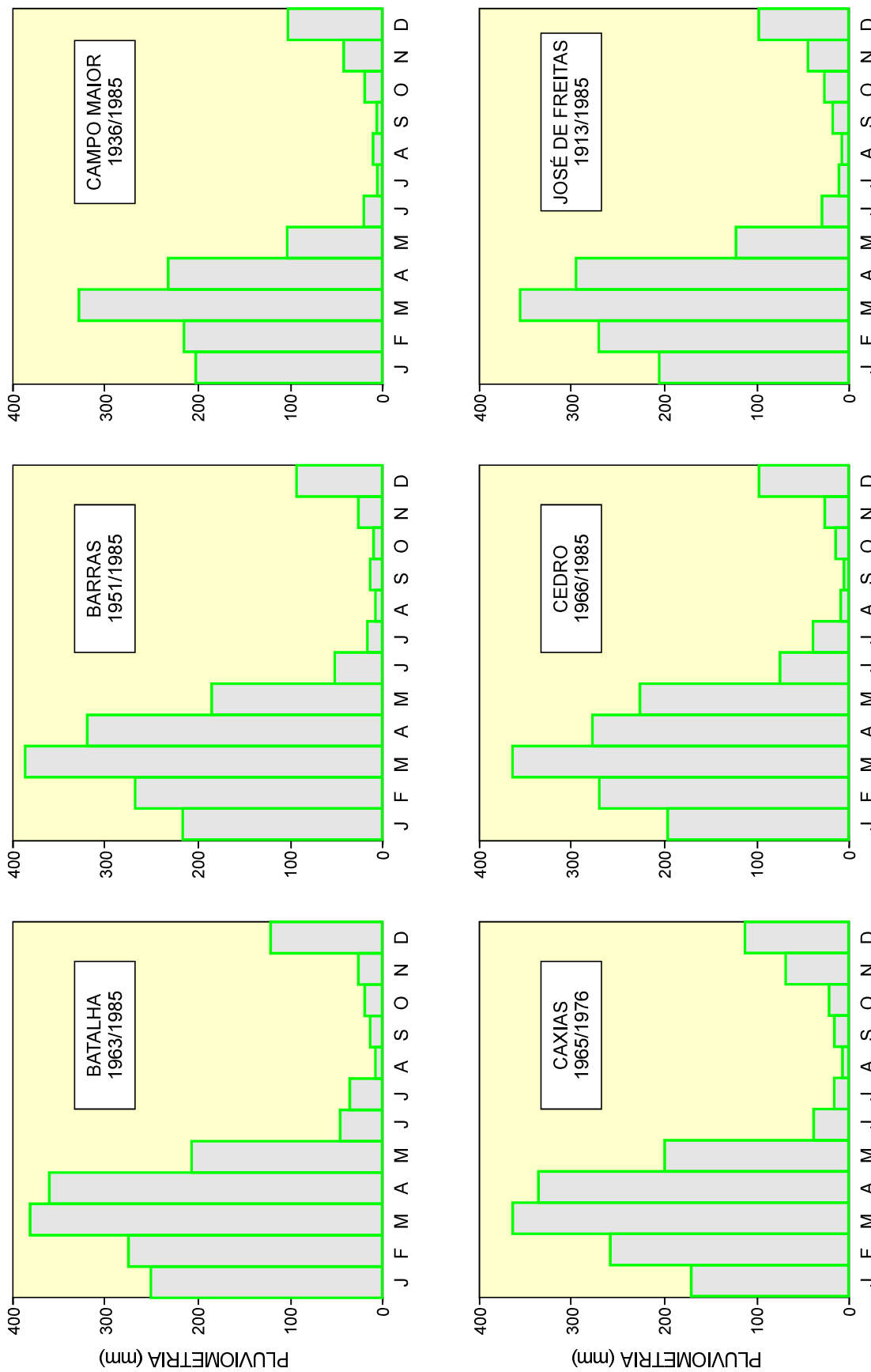


Figura 1.5 – Histogramas.

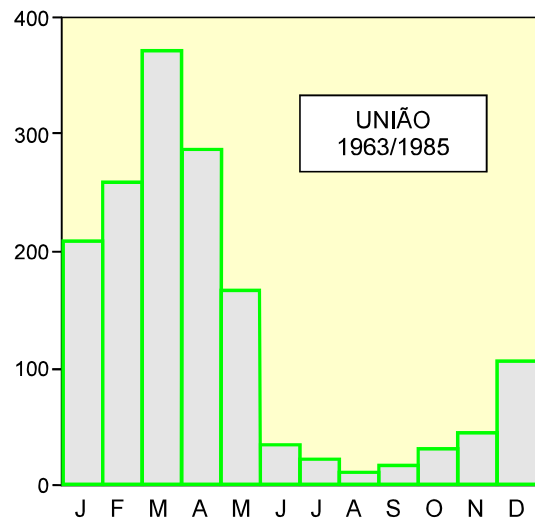
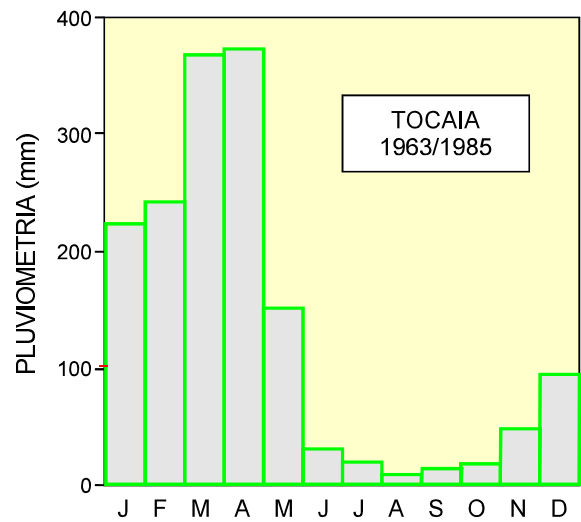
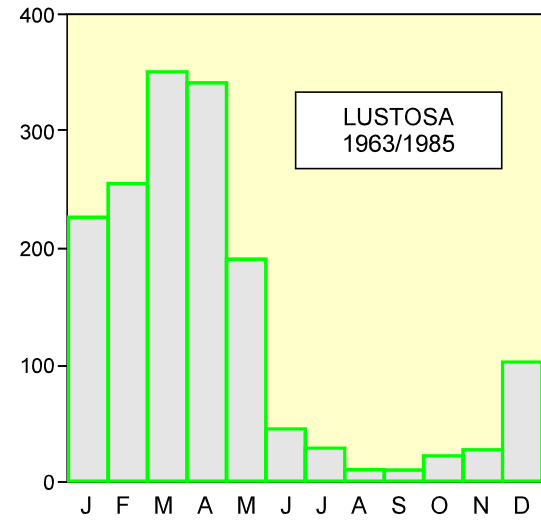
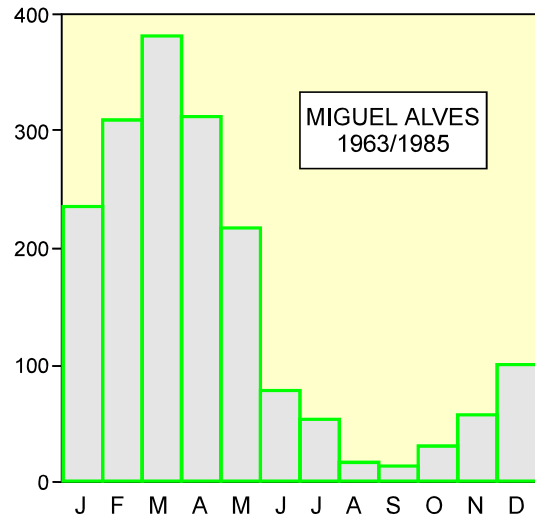
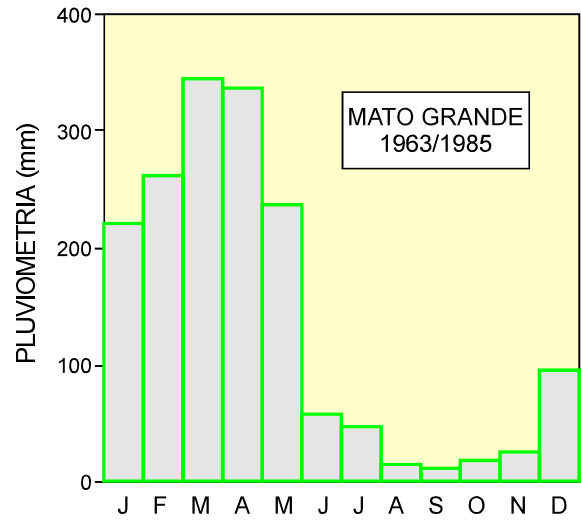


Figura 1.6 – Histogramas.

Tabela 1.3 – Balanço hídrico mensal, segundo Thornthwaite & Mather - (100mm).

Local: Batalha – altitude: 80°; latitude: 04°02'S; longitude: 42°05'WGR. Período: 1963 a 1985.

Mês	Temperatura Média (°C)	Evapotranspiração não Corrigida	Correção	Evapotranspiração Potencial (mm)	Precipitação Pluvial (mm)	Saldo P-EP (mm)	Negatividade Acumulada (mm)	Armazenamento (mm)	Alteração (mm)	Evapotranspiração Real (mm)	Déficit Hídrico (mm)	Excedente Hídrico (mm)	Índice de Umidade Efetiva	Clima
janeiro	27,7	5,3	31,8	167	249	+81	–	100	0	167	-0	+81	+49	B2 - úmido
fevereiro	20,7	1,6	28,5	56	275	+229	–	100	0	46	0	+229	+497	A - superúmido
março	29,1	6,5	31,2	202	382	+180	–	100	0	202	0	+180	+90	B4 - úmido
abril	28,9	6,3	30,0	188	361	+172	–	100	0	188	0	+172	+92	B4 - úmido
maio	31,0	8,4	30,9	259	208	-51	–	49	-51	259	-0	+0	+0	C2 - subúmido úmido
junho	20,8	1,6	29,7	48	58	+9	–	59	9	48	0	+0	-0	C1 - subúmido seco
julho	28,3	5,8	30,9	178	37	-142	–	0	-59	95	83	+0	-28	D - semi-árido
agosto	26,1	4,1	30,9	128	10	-118	–	0	0	10	118	+0	-56	E - árido
setembro	28,9	6,2	30,0	187	16	-171	–	0	0	16	171	+0	-55	E - árido
outubro	28,9	6,3	31,5	199	21	-178	–	0	0	21	178	+0	-54	E - árido
novembro	29,1	6,5	30,6	198	28	-170	–	0	0	28	170	+0	-52	E - árido
dezembro	29,3	6,7	31,8	212	123	-88	–	0	0	123	88	+0	-25	D - semi-árido
ano	28,4	–	–	+2.012	1.767	-246	–	–	9	1.203	809	+663	+9	C2 - subúmido úmido

Tabela 1.4 – Balanço hídrico mensal, segundo Thornthwaite & Mather - (100mm).

Local: Barras – altitude: 75°; latitude: 04°15'S; longitude: 42°18'WGR. Período: 1963 a 1985.

Mês	Temperatura Média (°C)	Evapotranspiração não Corrigida	Correção	Evapotranspiração Potencial (mm)	Precipitação Pluvial (mm)	Saldo P-EP (mm)	Negatividade Acumulada (mm)	Armazenamento (mm)	Alteração (mm)	Evapotranspiração Real (mm)	Déficit Hídrico (mm)	Excedente Hídrico (mm)	Índice de Umidade Efetiva	Clima
janeiro	27,4	5,0	31,8	160	215	+55	–	100	0	160	0	+55	+34	B1 - úmido
fevereiro	21,5	1,9	28,5	55	272	+217	–	100	0	55	0	+217	+393	A - superúmido
março	28,2	5,7	31,2	178	392	+214	–	100	0	178	0	+214	+120	A - superúmido
abril	28,3	5,8	30,0	173	322	+149	–	100	0	173	-0	+149	+86	B4 - úmido
maio	30,0	7,2	30,9	224	191	-33	–	67	-33	224	-0	+0	+0	C2 - subúmido úmido
junho	21,5	1,9	29,7	57	54	-3	–	65	-3	57	-0	+0	+0	C2 - subúmido úmido
julho	27,7	5,3	30,9	163	20	-144	–	0	-65	84	79	+0	-29	D - semi-árido
agosto	26,0	4,1	30,9	127	9	-118	–	0	0	9	118	+0	-56	E - árido
setembro	28,7	6,1	30,0	183	15	-169	–	0	0	15	169	+0	-55	E - árido
outubro	29,0	6,3	31,5	199	15	-185	–	0	0	15	185	+0	-56	E - árido
novembro	28,9	6,3	30,6	193	28	-164	–	0	0	28	164	+0	-51	E - árido
dezembro	29,0	6,4	31,8	202	91	-112	–	0	0	91	112	+0	-33	D - semi-árido
ano	28,0	–	–	+1.915	1.623	-292	–	–	0	+1.089	826	+634	+7	C2 - subúmido úmido

Tabela 1.5 – Balanço hídrico mensal, segundo Thornthwaite & Mather - (100mm).

Local: Campo Maior – altitude: 125m; latitude: 04°49'S; longitude: 42°11'WGR. Período: 1963 a 1985.

Mês	Temperatura Média (°C)	Evapotranspiração não Corrigida	Correção	Evapotranspiração Potencial (mm)	Precipitação Pluvial (mm)	Saldo P-EP (mm)	Negatividade Acumulada (mm)	Armazenamento (mm)	Alteração (mm)	Evapotranspiração Real (mm)	Déficit Hídrico (mm)	Excedente Hídrico (mm)	Índice de Umidade Efetiva	Clima
janeiro	27,6	5,2	31,8	165	200	+36	–	100	0	165	0	+36	+22	B1 - úmido
fevereiro	22,0	2,1	28,5	59	216	+157	–	100	0	59	-0	+157	+267	A - superúmido
março	28,3	5,8	31,2	179	328	+148	–	100	0	179	-0	+148	+83	B4 - úmido
abril	29,0	6,4	30,0	191	234	+43	–	100	0	191	0	+43	+23	B1 - úmido
maio	28,1	5,6	30,9	172	104	-68	–	32	-68	172	0	+0	-0	C1 - subúmido seco
junho	24,0	2,9	29,7	86	21	-66	–	0	-32	53	34	+0	-23	D - semi-árido
julho	28,2	5,6	30,9	174	8	-166	–	0	0	8	166	+0	-57	E - árido
agosto	25,6	3,8	30,9	118	9	-110	–	0	0	9	110	+0	-56	E - árido
setembro	29,2	6,5	30,0	195	8	-187	–	0	0	8	187	+0	-57	E - árido
outubro	29,1	6,4	31,5	203	22	-181	–	0	0	22	181	+0	-53	E - árido
novembro	29,8	7,1	30,6	218	45	-173	–	0	0	45	173	+0	-48	E - árido
dezembro	28,9	6,3	31,8	199	109	-90	–	0	0	109	90	+0	27	D - semi-árido
ano	27,2	–	–	+1.960	1.305	-655	–	–	0	+1.021	939	+384	-9	C1 - subúmido seco

Tabela 1.6 – Balanço hídrico mensal, segundo Thornthwaite & Mather - (100mm).

Local: Caxias – altitude: 63m; latitude: 04°54'S; longitude: 43°21'WGR. Período: 1963 a 1985.

Mês	Temperatura Média (°C)	Evapotranspiração não Corrigida	Correção	Evapotranspiração Potencial (mm)	Precipitação Pluvial (mm)	Saldo P-EP (mm)	Negatividade Acumulada (mm)	Armazenamento (mm)	Alteração (mm)	Evapotranspiração Real (mm)	Déficit Hídrico (mm)	Excedente Hídrico (mm)	Índice de Umidade Efetiva	Clima
janeiro	26,6	4,5	31,8	144	176	+32	–	100	0	144	-0	+32	+22	B1 - úmido
fevereiro	26,1	4,2	28,5	121	256	+135	–	100	0	121	-0	+135	+112	A - superúmido
março	25,5	3,9	31,2	121	362	+241	–	100	0	121	0	+241	+199	A - superúmido
abril	26,3	4,4	30,0	131	331	+200	–	100	0	131	0	+200	+153	A - superúmido
maio	26,1	4,2	30,9	131	132	+1	–	100	0	131	-0	+1	+1	C2 - subúmido úmido
junho	25,7	3,9	29,7	117	35	-82	–	18	-82	117	0	+0	-0	C1 - subúmido seco
julho	25,6	3,9	30,9	121	15	-106	–	0	-18	33	88	+0	-44	E - árido
agosto	26,4	4,4	30,9	137	5	-132	–	0	0	5	132	+0	-58	E - árido
setembro	28,3	5,7	30,0	172	16	-156	–	0	0	16	156	+0	-54	E - árido
outubro	29,2	6,5	31,5	204	20	-184	–	0	0	20	184	+0	-54	E - árido
novembro	28,4	5,8	30,6	177	69	-108	–	0	0	69	108	+0	-37	D - semi-árido
dezembro	27,8	5,4	31,8	172	114	-57	–	0	0	114	57	+0	-20	D - semi-árido
ano	27,1	–	–	+1.748	1.532	-217	–	–	0	+1.022	726	+609	+10	C2 - subúmido úmido

Tabela 1.9 – Balanço hídrico mensal, segundo Thornthwaite & Mather - (100mm).

Local: Mato Grande – altitude: 130m; latitude: 04°04'S; longitude: 42°32'WGR. Período: 1963 a 1985.

Mês	Temperatura Média (°C)	Evapotranspiração não Corrigida	Correção	Evapotranspiração Potencial (mm)	Precipitação Pluvial (mm)	Saldo P-EP (mm)	Negatividade Acumulada (mm)	Armazenamento (mm)	Alteração (mm)	Evapotranspiração Real (mm)	Déficit Hídrico (mm)	Excedente Hídrico (mm)	Índice de Umidade Efetiva	Clima
janeiro	28,8	6,2	31,8	196	234	+38	–	100	0	196	0	+38	+19	C2 - subúmido úmido
fevereiro	24,7	3,3	28,5	93	263	+170	–	100	0	93	-0	+170	+183	A - superúmido
março	30,4	7,7	31,2	240	346	+106	–	100	0	240	0	+106	+44	B2 - úmido
abril	29,6	7,0	30,0	209	334	+125	–	100	0	209	0	+125	+60	B2 - úmido
maio	29,9	7,2	30,9	222	252	+30	–	100	0	222	0	+30	+13	C2 - subúmido úmido
junho	25,9	4,0	29,7	118	55	-64	–	36	-64	118	-0	+0	+0	C2 - subúmido úmido
julho	29,1	6,4	30,9	199	50	-148	–	0	-36	87	112	+0	-34	D - semi-árido
agosto	27,7	5,3	30,9	164	17	-147	–	0	0	17	147	+0	-54	E - árido
setembro	29,5	6,8	30,0	205	16	-189	–	0	0	16	189	+0	-55	E - árido
outubro	29,3	6,6	31,5	209	21	-188	–	0	0	21	188	+0	-54	E - árido
novembro	29,7	7,1	30,6	217	29	-188	–	0	0	29	188	+0	-52	E - árido
dezembro	29,2	6,6	31,8	210	102	-108	–	0	0	102	108	+0	-31	D - semi-árido
ano	28,4	–	–	+2.283	1.718	-564	–	–	0	+1.350	933	+468	-4	C1 - subúmido seco

Tabela 1.10 – Balanço hídrico mensal, segundo Thornthwaite & Mather – (100mm).

Local: Miguel Alves – altitude: 34m; latitude: 04°10'S; longitude: 42°54'WGR. Período: 1963 a 1985.

Mês	Temperatura Média (°C)	Evapotranspiração não Corrigida	Correção	Evapotranspiração Potencial (mm)	Precipitação Pluvial (mm)	Saldo P-EP (mm)	Negatividade Acumulada (mm)	Armazenamento (mm)	Alteração (mm)	Evapotranspiração Real (mm)	Déficit Hídrico (mm)	Excedente Hídrico (mm)	Índice de Umidade Efetiva	Clima
janeiro	26,8	4,7	31,8	149	234	+84	–	100	0	149	-0	+84	+56	B2 - úmido
fevereiro	23,5	2,8	28,5	80	307	+227	–	100	0	80	0	+227	+284	A - superúmido
março	26,9	4,7	31,2	147	378	+230	–	100	0	147	0	+230	+156	A - superúmido
abril	26,9	4,7	30,0	141	306	+165	–	100	0	141	-0	+165	+116	A - superúmido
maio	29,4	6,7	30,9	207	218	+11	–	100	0	207	0	+11	+5	C2 - subúmido úmido
junho	21,8	2,1	29,7	62	78	+16	–	100	0	62	0	+16	+25	B1 - úmido
julho	26,4	4,4	30,9	135	56	-80	–	20	-80	135	0	+0	-0	C1 - subúmido seco
agosto	26,5	4,5	30,9	138	19	-119	–	0	-20	39	99	+0	-43	E - árido
setembro	28,2	5,7	30,0	170	16	-154	–	0	0	16	154	+0	-54	E - árido
outubro	29,0	6,3	31,5	199	34	-166	–	0	0	34	166	+0	-50	E - árido
novembro	28,0	5,6	30,6	170	58	-112	–	0	0	58	112	+0	-40	D - semi-árido
dezembro	28,5	5,9	31,8	189	105	-84	–	0	0	105	84	+0	-27	D - semi-árido
ano	28,2	–	–	+1.789	1.807	+18	–	–	0	+1.174	615	+733	+20	B1 - úmido

Tabela 1.11 – Balanço hídrico mensal, segundo Thornthwaite & Mather - (100mm).

Local: Lustosa – altitude: 90m; latitude: 04°20'S; longitude: 42°32'WGR. Período: 1963 a 1985.

Mês	Temperatura Média (°C)	Evapotranspiração não Corrigida	Correção	Evapotranspiração Potencial (mm)	Precipitação Pluvial (mm)	Saldo P-EP (mm)	Negatividade Acumulada (mm)	Armazenamento (mm)	Alteração (mm)	Evapotranspiração Real (mm)	Déficit Hídrico (mm)	Excedente Hídrico (mm)	Índice de Umidade Efetiva	Clima
janeiro	27,6	5,2	31,8	166	229	+63	–	100	0	166	0	+63	+38	B1 - úmido
fevereiro	23,3	2,6	28,5	73	256	+182	–	100	0	73	0	+182	+249	A - superúmido
março	28,4	5,8	31,2	181	353	+171	–	100	0	181	-0	+171	+95	B4 - úmido
abril	28,4	5,8	30,0	174	307	+132	–	100	0	174	-0	+132	+76	B3 - úmido
maio	29,2	6,5	30,9	202	190	-13	–	87	-13	202	0	+0	-0	C1 - subúmido seco
junho	23,5	2,7	29,7	80	50	-31	–	57	-31	80	0	+0	-0	C1 - subúmido seco
julho	27,7	5,3	30,9	164	29	-135	–	0	-57	85	79	+0	-29	D - semi-árido
agosto	26,6	4,4	30,9	137	8	-129	–	0	0	8	129	+0	-56	E - árido
setembro	28,9	6,3	30,0	188	14	-174	–	0	0	14	174	+0	-56	E - árido
outubro	29,1	6,5	31,5	203	27	-176	–	0	0	27	176	+0	-52	E - árido
novembro	29,1	6,5	30,6	198	28	-170	–	0	0	28	170	+0	-51	E - árido
dezembro	28,9	6,2	31,8	199	108	-91	–	0	0	108	91	+0	-27	D - semi-árido
ano	27,9	–	–	+1.965	1.596	-369	–	–	0	+1.147	818	+549	+3	C2 - subúmido úmido

Tabela 1.12 – Balanço hídrico mensal, segundo Thornthwaite & Mather - (100mm).

Local: Tocaia – altitude: 120m; latitude: 04°35'S; longitude: 42°18'WGR. Período: 1963 a 1985.

Mês	Temperatura Média (°C)	Evapotranspiração não Corrigida	Correção	Evapotranspiração Potencial (mm)	Precipitação Pluvial (mm)	Saldo P-EP (mm)	Negatividade Acumulada (mm)	Armazenamento (mm)	Alteração (mm)	Evapotranspiração Real (mm)	Déficit Hídrico (mm)	Excedente Hídrico (mm)	Índice de Umidade Efetiva	Clima
janeiro	27,8	5,4	31,8	170	225	+54	–	100	0	170	-0	+54	+32	B1 - úmido
fevereiro	22,7	2,3	28,5	65	243	+178	–	100	0	65	-0	+178	+272	A - superúmido
março	28,7	6,1	31,2	191	370	+179	–	100	0	191	0	+179	+94	B4 - úmido
abril	29,0	6,4	30,0	192	272	+80	–	100	0	192	-0	+80	+42	B2 - úmido
maio	28,7	6,1	30,9	188	150	-38	–	62	-38	188	0	+0	-0	C1 - subúmido seco
junho	24,2	3,0	29,7	89	29	-60	–	2	-60	89	0	+0	-0	C1 - subúmido seco
julho	28,3	5,7	30,9	177	19	-158	–	0	-2	22	156	+0	-53	E - árido
agosto	26,2	4,2	30,9	129	9	-119	–	0	0	9	119	+0	-56	E - árido
setembro	29,2	6,5	30,0	196	14	-182	–	0	0	14	182	+0	-56	E - árido
outubro	29,1	6,5	31,5	204	19	-185	–	0	0	19	185	+0	-55	E - árido
novembro	29,7	7,6	30,6	215	47	-168	–	0	0	47	168	+0	-47	E - árido
dezembro	29,0	6,3	31,8	201	95	-107	–	0	0	95	107	+0	-32	D - semi-árido
ano	27,5	–	–	+2.018	1.469	-526	–	–	0	+1.101	917	+491	-3	C1 - subúmido seco

Tabela 1.13 – Balanço hídrico mensal, segundo Thornthwaite & Mather - (100mm).

Local: União – altitude: 50m; latitude: 04°35'S; longitude: 42°52'WGR. Período: 1963 a 1985.

Mês	Temperatura Média (C)	Evapotranspiração não Corrigida	Correção	Evapotranspiração Potencial (mm)	Precipitação Pluvial (mm)	Saldo P-EP (mm)	Negatividade Acumulada (mm)	Armazenamento (mm)	Alteração (mm)	Evapotranspiração Real (mm)	Déficit Hídrico (mm)	Excedente Hídrico (mm)	Índice de Umidade Efetiva	Clima
janeiro	26,6	4,5	31,8	145	210	+65	–	100	0	145	0	+65	+45	B2 - úmido
fevereiro	23,5	2,8	28,5	80	257	+177	–	100	0	80	0	+177	+220	A - superúmido
março	26,3	4,3	31,2	135	368	+233	–	100	0	135	-0	+233	+172	A - superúmido
abril	26,8	4,7	30,0	141	293	+152	–	100	0	141	-0	+152	+108	A - superúmido
maio	28,1	5,6	30,9	172	172	+0	–	100	0	172	-0	+0	+0	C2 - subúmido úmido
junho	22,6	2,5	29,7	73	35	-38	–	62	-38	73	-0	+0	+0	C2 - subúmido úmido
julho	26,2	4,3	30,9	132	24	-109	–	0	-62	86	46	+0	-21	D - semi-árido
agosto	25,9	4,1	30,9	128	10	-118	–	0	0	10	118	+0	-55	E - árido
setembro	28,2	5,7	30,0	171	17	-154	–	0	0	17	154	+0	-54	E - árido
outubro	29,0	6,3	31,5	199	33	-166	–	0	0	33	166	+0	-50	E - árido
novembro	28,3	5,8	30,6	176	46	-130	–	0	0	46	130	+0	-44	E - árido
dezembro	28,3	5,8	31,8	183	106	-77	–	0	0	106	77	+0	-25	D - semi-árido
ano	27,5	–	–	+1.735	1.570	-165	–	–	0	+1.043	692	+627	+12	C2 - subúmido úmido

trita predominantemente aos meses de janeiro a abril, gera excedentes hídricos de até 241mm, enquanto que a estação seca atinge déficits de até 190mm.

Em relação às temperaturas, as variações durante o ano são pequenas. A temperatura média anual situa-se em torno dos 27,8°C, com um máximo em novembro e um mínimo em fevereiro; portanto regida pelos períodos chuvosos durante o ano.

Neste trabalho, entre os diversos métodos de estimativa do balanço hídrico, optou-se pelo proposto por Thornthwaite (1955) para capacidade de armazenamento do solo de 100mm. Esse sistema, baseado em índices térmicos, tem-se mostrado eficaz, por utilizar apenas a temperatura média do ar, cujos valores médios mensais anuais, mesmo para regiões sem informações climáticas, podem ser estimados através de equações de regressão de temperatura x altitude, longitude e latitude.

O exame dos valores do balanço hídrico contidos nas tabelas individuais 1.3 a 1.13 revela uma deficiência hídrica muito acentuada em seis meses do ano, haja vista que, excetuando-se o período chuvoso, a evapotranspiração potencial estimada é muito maior que a precipitação. Essa técnica foi aplicada nas onze estações pluviométricas existentes na folha.

1.4.6 Fluviometria

Três importantes bacias hidrográficas drenam a área em estudo: Munim, Itapecuru e Parnaíba. Embora conste da figura 1.7 o rio Longá, este não representa uma bacia independente, pois configura-se como afluente do Parnaíba.

O rio Munim nasce no município de Aldeias Altas-MA, a 100m de altitude e corre na direção noroeste. Bastante sinuoso, com um curso total de 288km, desemboca na baía de São José, onde a penetração da maré é extensa. O rio Preto é seu principal afluente pela margem direita e o Iguará pela margem esquerda.

A bacia do rio Itapecuru possui uma área aproximada de 53.140km². Suas nascentes localizam-se em cotas de 400/480m, na região dos Chapadões das serras de Croeira e Itapecuru, ao sul da serra das Alpercatas. Bastante sinuoso, com um curso total de 925km, corre no sentido nordeste até as proximidades da cidade de Caxias, onde modifica o rumo, seguindo para noroeste, e desemboca na baía de São José. Uma extensão de 111km a montante da foz é atingida pelos efeitos da maré.

Os rios Alpergatas, Codozinho e Pitoró são seus principais afluentes pela margem esquerda, Corrente e Pirapemas pela direita. Este rio constitui num sistema de grande importância social e econômica; inclusive abastece a cidade de São Luís, através da adutora de Italuís.

O rio Parnaíba drena uma área de aproximadamente 330.000km². Localiza-se entre os meridianos de 40° 00' e 47° 05' de longitude WGr e os paralelos de 2° 44' e 10° 52'S. De sua bacia 74,7% de terras pertencem ao Piauí, 19,2% são de terras maranhenses e 6,1% cearenses. O Parnaíba origina-se da junção dos rios Surubim, Água Quente e Boi Pintado, cujas nascentes situam-se na serra de Tabatinga, que é o ponto de convergência dos estados do Piauí, Maranhão, Tocantins e Bahia, numa altitude aproximada de 700m.

A Bacia do Parnaíba encontra-se na área transicional entre a Amazônia e o Nordeste Ocidental. Por estar situada nessa área de transição, apresenta feições topográficas amazônicas na porção ocidental, feições aplainadas sertanejas no setor leste-sudeste e relevo subtabular que constitui as *cuestas* da porção central da bacia. Por fim, na sua foz, apresenta uma planície litorânea com aspectos variados. Seus principais afluentes são os rios Gurguéia, Uruçuí Preto, Poti e Longá, pela margem direita, e o rio das Balsas, pela esquerda.

Sua principal característica climática é dada pelo fato de encontrar-se na interface de dois climas bastante distintos: o superúmido da Amazônia e o semi-árido do Nordeste.

No tocante à fluviometria da região abrangida pela folha, encontram-se em operação pela CPRM duas estações: Caxias, no rio Itapecuru, com medições líquidas e sólidas, além de qualidade da água; e a estação de Fazenda Alegria, no rio Longá, com medições líquidas. Com relação a Caxias, cujos dados fluviométricos foram consistidos pela CPRM até 1992, é apresentada na figura 1.8 a sua curva de calibragem (curva-chave), na figura 1.9 o gráfico das descargas médias mensais de 1984 a 1992 e na figura 1.10, curva de duração das descargas médias mensais. Para o posto de fazenda Alegria, com consistência em desenvolvimento, observa-se que as descargas máxima e mínima, medidas pela CPRM no período de 1965 a 1993, foram respectivamente, de 438,0 m³/s na cota 514cm, em 29/04/71, e de 14,0 m³/s na cota 231cm em 04/04/66.

33550000 - RIO ITAPECURU EM CAXIAS

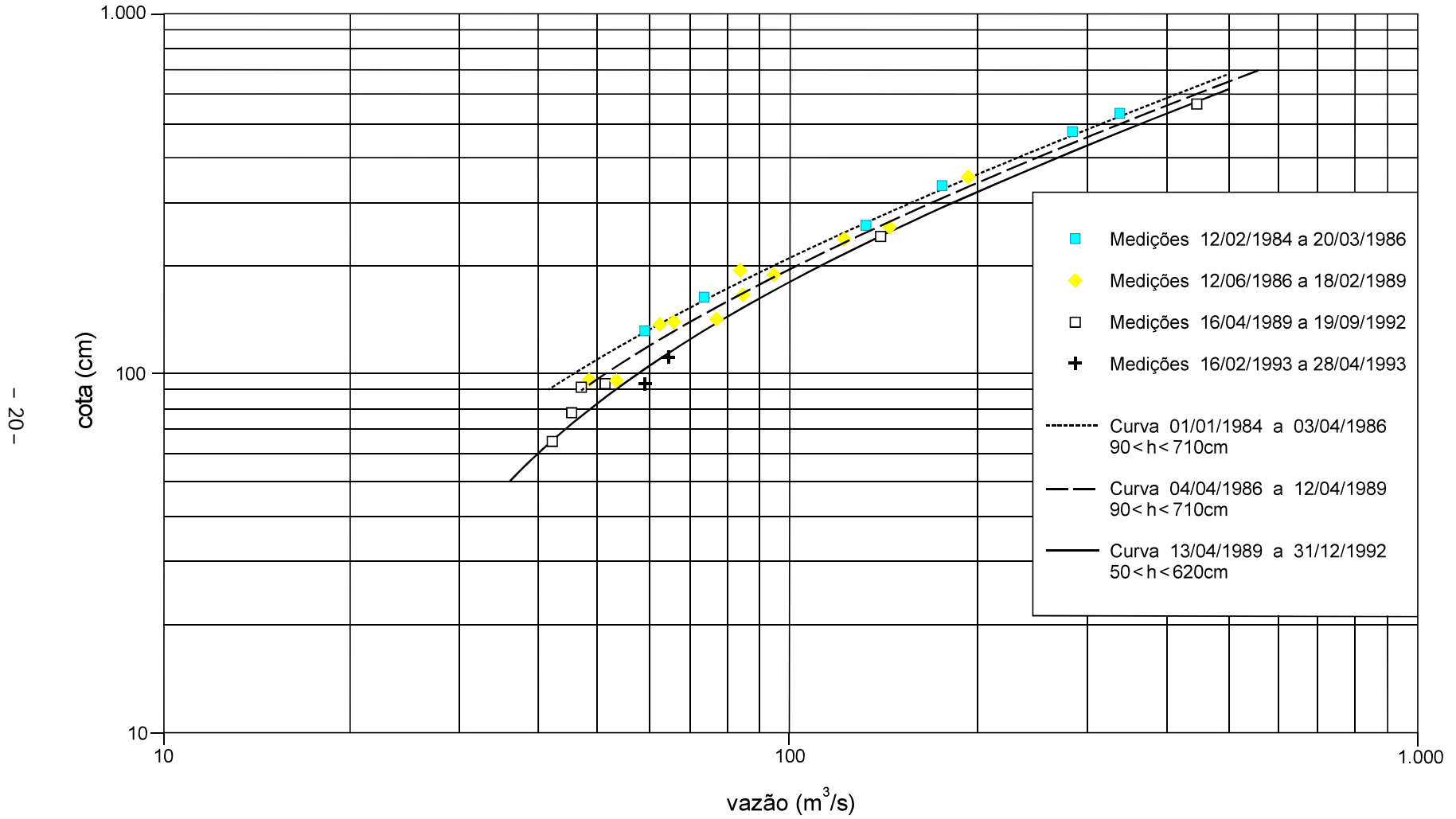


Figura 1.8 – Curva-chave.

RIO ITAPECURU EM CAXIAS

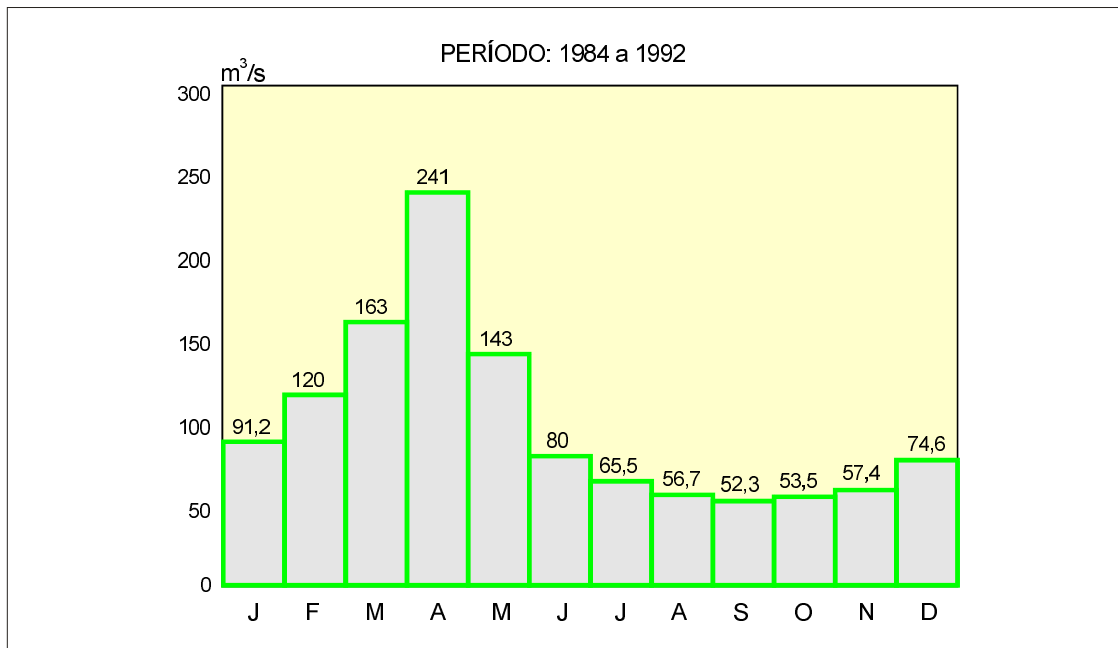


Figura 1.9 – Descargas médias mensais.

RIO ITAPECURU EM CAXIAS

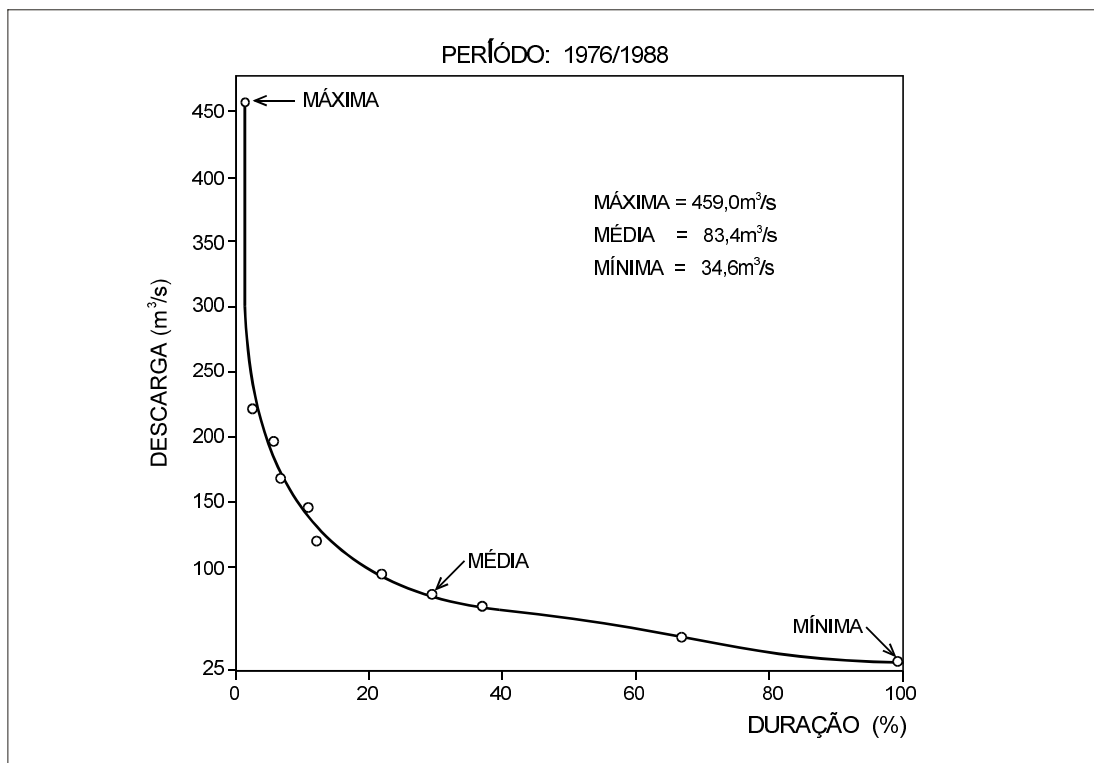


Figura 1.10 – Curvas de duração de descargas médias mensais.

2

GEOLOGIA REGIONAL E ESTRATIGRAFIA

2.1 Trabalhos Anteriores

O conhecimento geológico da Bacia do Parnaíba teve início na primeira década deste século.

Inicialmente, os trabalhos foram executados através do Serviço Geológico e Mineralógico do Brasil, contando posteriormente com a participação do Departamento Nacional da Produção Mineral – DNPM. Datam dessa época, trabalhos de Lisboa (1914; *in* Lima & Leite, 1978), Moura (1936 e 1937), que têm enfoque regional. Seguem-se trabalhos da autoria de Plummer (1946; *in* Kegel, 1953), que sob os auspícios do Conselho Nacional de Petróleo realizou trabalhos nos estados do Piauí e Maranhão, visando o conhecimento lito e cronoestratigráfico da Bacia sedimentar do Parnaíba. De notável contribuição foi o estudo executado por Campbell *et al.* (1949), que, além de discorrer sobre o caráter da sedimentação paleozóica da bacia, considerou essas rochas como adequadas ao armazenamento de óleo.

Kegel (1953), baseando-se em estudos comparativos com as demais bacias intracratônicas brasileiras e sul-americanas, introduziu novos conceitos estratigráficos, principalmente os relacionados aos depósitos silurianos e devonianos.

Referências à coluna estratigráfica da Bacia do Parnaíba e de suas sub-bacias podem ser analisadas no trabalho de Mesner e Wooldridge (1962), que subdividiu as unidades estratigráficas em três seqüências sedimentares, caracterizando o esquema tectônico e os ambientes deposicionais respectivos. Trabalhos de mapeamentos sistemáticos de detalhe, gravimetria e levantamentos localizados de sísmica, foram executados por Molnar & Urdininea (1966) e Lange & Petri (1967), sendo o trabalho de Cunha (1968; *in* Aguiar, 1971), voltado para fotointerpretação da Bacia de São Luís.

Na década de 70 houve o incremento de mapeamentos geológicos de caráter regional, desenvolvidos por órgãos federais de pesquisa mineral e por pesquisadores independentes.

Beurlen (1971) fez uma análise das bacias sedimentares do "bloco brasileiro"; Aguiar (1971) apresentou, a partir de mapas de isópacas, a evolução estrutural da região. O Projeto RADAMBRASIL, em 1973, executou estudos geológicos caracterizando também os domínios geomorfológicos e pedológicos, envolvendo toda a área da bacia. Seguiram-se trabalhos de Soares *et al.* (1974) e Mabesoone *et al.* (1974). Fontes (1978), analisou os principais traços estruturais da bacia, e Caldasso (1978), desenvol-

vendo trabalho de pesquisa para a CPRM discorreu sobre as seqüências mesozóicas e seu relacionamento com os ciclos geomorfológicos que atuaram na bacia.

Através do Convênio DNPM/CPRM foram executados trabalhos de mapeamento geológico (Costa *et al.*, 1977 e Lima & Leite, 1978), e de levantamento hidrogeológico (Soares Filho, 1979; Araújo & Miranda, 1979 e Araújo, 1979).

Inúmeros são os trabalhos das décadas seguintes, com destaque para as considerações de Caputo (1984), Cunha (1986), Zembrusky & Campos (1988) e Della Fávera (1990). Este último utilizou o conceito moderno de estratigrafia de seqüências para algumas unidades da bacia. Recentemente, Colares & Parente (1990) e Rodrigues *et al.* (1990) ampliaram o conhecimento geológico regional, desenvolvendo trabalhos de mapeamento e levantamento hidrogeológico na escala 1:250.000, que fazem parte do Programa Grande Carajás, em andamento.

A Bacia do Parnaíba conta atualmente com elevado nível de reconhecimento de semidetalhe. Contabiliza cerca de 8.360km de perfis gravimétricos, 157.000km de perfis aeromagnéticos, e 31 poços visando a exploração econômica.

2.2 Panorama Geotectônico Regional

Ocupando parte das regiões Nordeste, Norte e Centro-Oeste do Brasil, em uma área de aproximadamente 600.000km² encontra-se instalada na porção oriental da Plataforma Sul-Americana, a Província Estrutural do Parnaíba, definida por Almeida (1977). Possui forma elipsoidal, com diâmetro maior orientado segundo a direção nordeste-sudoeste, sendo estruturalmente assimétrica em direção ao eixo principal.

Classificada como do tipo intracratônico, tem arcabouço geométrico influenciado por feições estruturais do seu embasamento cristalino (Brito Neves *et al.*, 1984). Bordejando as suas porções nordeste, leste, sudeste e sudoeste encontram-se rochas do Proterozóico e do Arqueano, constituindo maciços medianos. A oeste é separada do Cráton Amazônico pela Geossutura Tocantins-Araguaia; ao norte, da Bacia de Barreirinhas, pelo Arco Ferrer-Urbano Santos e, ao sul da Bacia de São Francisco pelo Arco de São Francisco. Esses arcos são constituídos de metamorfitos de baixo a médio grau, compondo faixas de dobramentos do Proterozóico Médio-Superior.

Segundo Cordani *et al.* (1984), o início da história evolutiva da Bacia do Parnaíba foi estabelecido possivelmente como resposta aos efeitos de adensamento da litosfera após a expansão térmica devido à Orogênese Brasileira. Foi implantada sobre crosta do tipo continental, constituída de mosaicos de blocos de composição e idade diferentes. Está ligada a um megassistema de fraturas que foram importantes, não somente na implantação, como também no seu desenvolvimento tectono-sedimentar, até o Eo-Carbonífero, quando passaram a prevalecer reativações episódicas, que se estenderam até o Cretáceo (Góes, 1994). Todo o conjunto apresenta espessura da ordem de 3.400m.

Na reconstrução do embasamento da Bacia do Parnaíba são destacadas duas faixas principais, dispostas diagonal e transversalmente: uma no sentido nordeste-sudoeste, representada por falhas normais, transcorrentes, e por *grabens* com eixos paralelos às falhas, correspondentes ao Lineamento Transbrasiliano (Cordani, *op. cit.*); e outra que, segundo Cunha (*op. cit.*), secciona a bacia no sentido nordeste-sudeste, refletindo na morfologia contemporânea uma série de alinhamentos, que corresponde ao Lineamento Picos-Santa Inês.

Outro lineamento que controla o padrão deposicional, de direção norte-sul, segundo Carozzi *et al.* (1975), origina-se na porção sul, diminuindo de importância para o centro da bacia. Em estudo comparativo do controle tectônico sin-sedimentar entre as bacias do médio Amazonas e do Parnaíba, pode-se observar a continuidade desse lineamento. As direções noroeste-sudeste (correspondente ao *trend* das Guianas) e nordeste-sudoeste (correspondente ao *trend* do Guaporé), são indicativos de que no Paleozóico as bacias pertenciam à mesma massa cratônica. A abertura sul, aparentemente ligando a Bacia do Paraná, ocorria através de estreita faixa ocupada pelo rio Araguaia, onde há resíduos de sedimentos devonianos (figura 2.1).

A dinâmica brasileira referida por Fortes (1992), responsável por sua matriz estrutural envolve uma mobilização sinistral que gerou a formação de *grabens* sigmoidais na Bacia do Parnaíba.

A coluna sedimentar da bacia pode ser dividida em cinco seqüências deposicionais (quadro 2.1) denominadas de seqüências siluriana, devoniana, permo-carbonífera, jurássica e cretácica, separadas por discordâncias regionais e correlacionáveis a eventos de natureza global (Góes, 1994). A figura 2.2 mostra a distribuição e disposição das seqüências deposicionais.

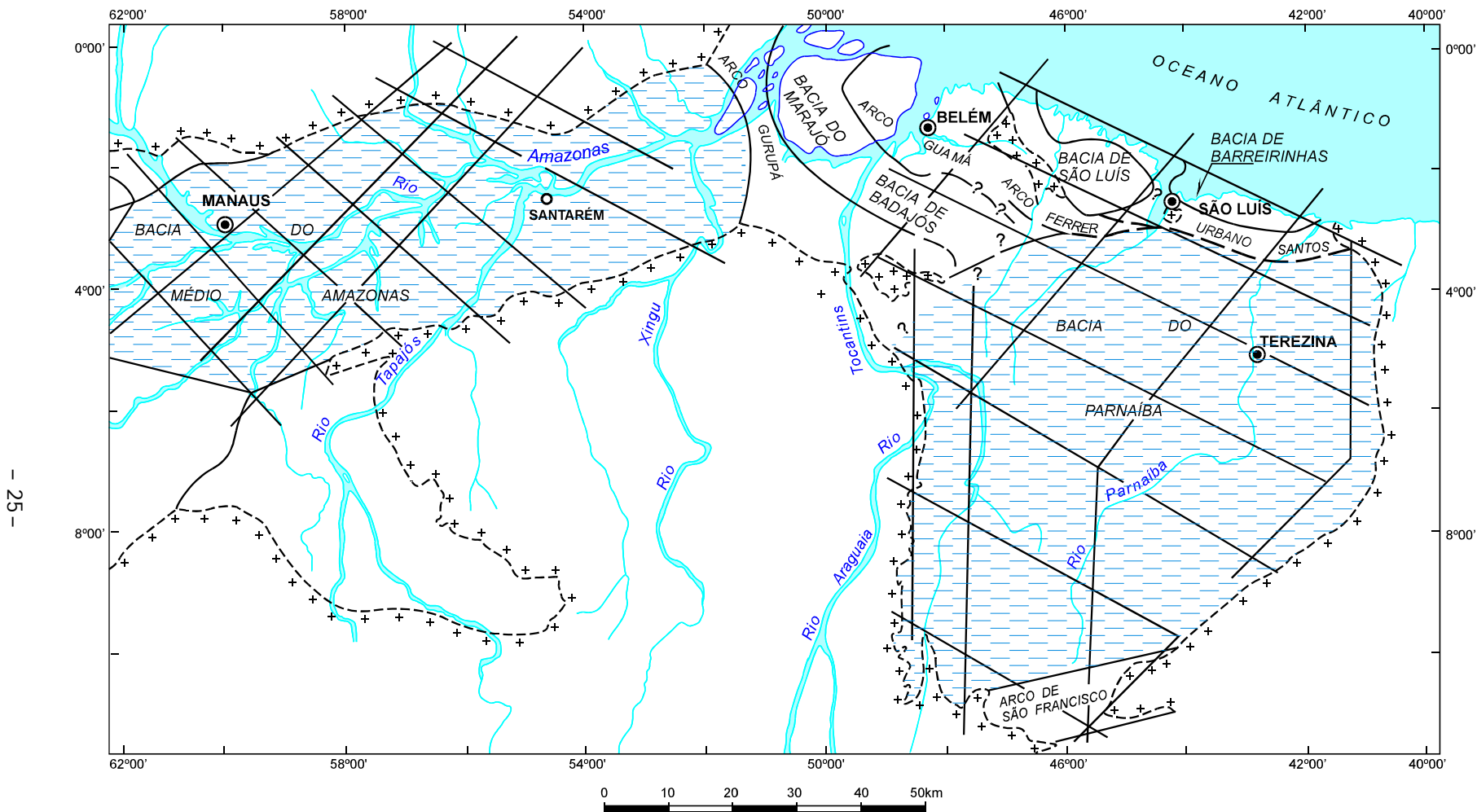
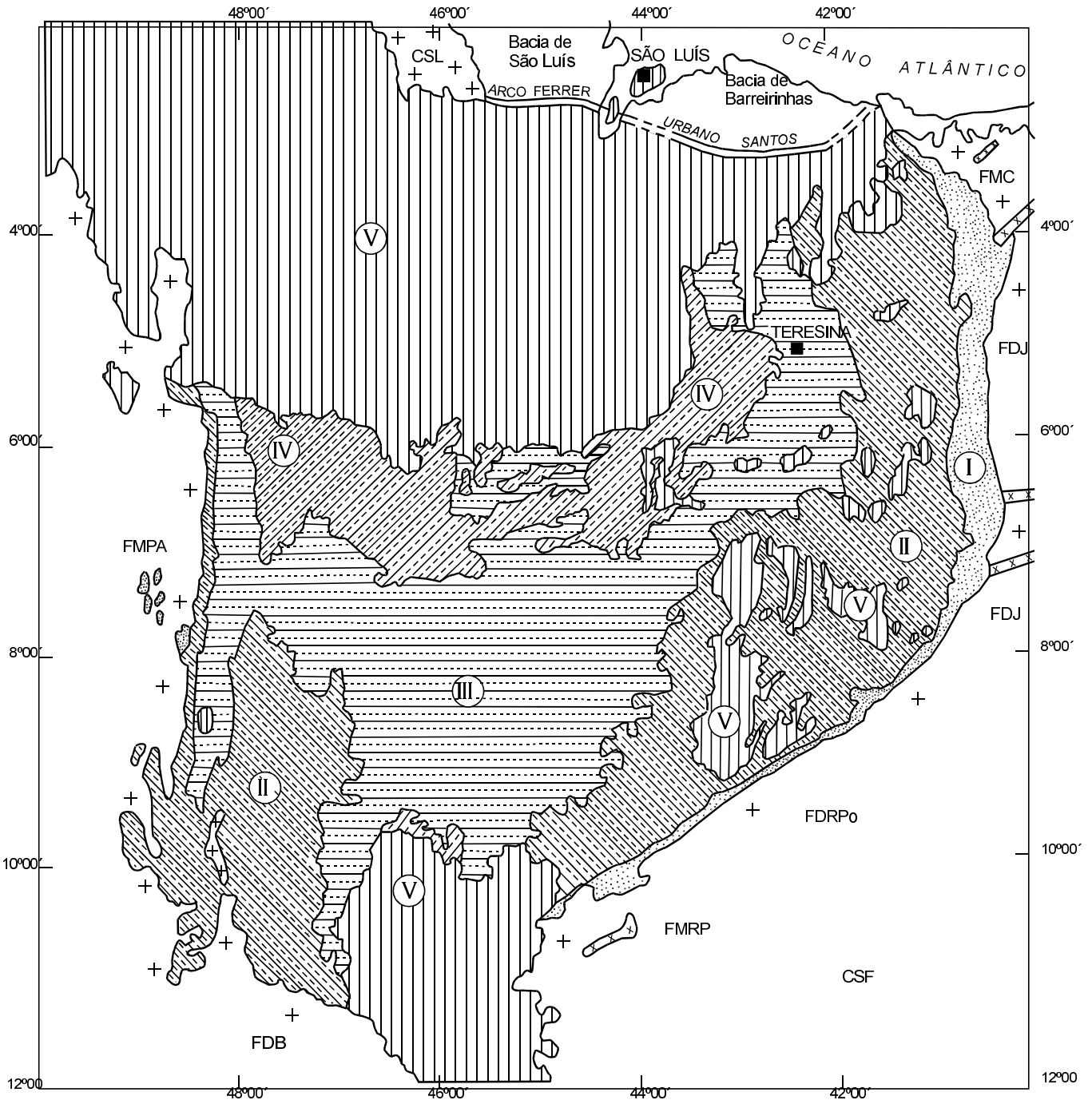


Figura 2.1 – Relacionamento de lineamentos (NE-SW e NW-SE) entre as bacias do médias Amazonas e do Parnaíba (segundo Carozzi, 1974, modificado).

Quadro 2.1 – Coluna estratigráfica generalizada da Bacia do Parnaíba, modificada de Góes (1994).

PERÍODO	UNIDADE	LITOLOGIA	SEQÜÊNCIA
QUATERNÁRIO	Qa		V
TERCIÁRIO	Tc PIRABAS		
CRETÁCEO	ITAPECURU		
	URUCUIA		
	CODÓ GRAJAÚ		
JURÁSSICO	SARDINHA		IV
	CORDA		
	PASTOS BONS		
TRIÁSSICO	MOSQUITO		III
	SAMBAÍBA		
PERMIANO	MOTUCA		
	PEDRA DE FOGO		
	PIAUI		
CARBONIFERO	POTI		II
	LONGÁ		
DEVONIANO	CABEÇAS		
	PIMENTEIRAS		
	ITAIM		
SILURIANO	JAIÇÓS		I
ORDOVICIANO	TIANGUÁ		
	IPU		
+		EMBASAMENTO	+



CA - Cráton Amazônico; CSL - Cráton São Luís; CS - Cráton São Francisco; FMPA - Faixa Móvel Paraguai-Araguaia; FDB - Faixa Dobramento Brasília; FMRP - Faixa Móvel Rio Preto; FDRPo - Faixa Dobramento Riacho do Pontal; FDJ - Faixa Dobramento Jaguaribeana.

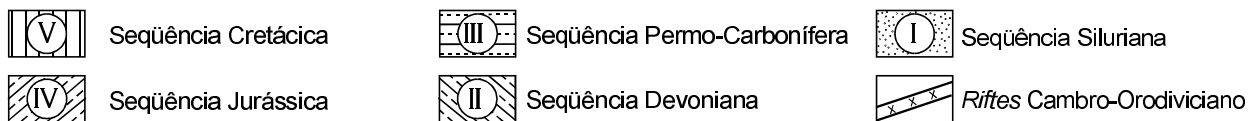


Figura 2.2 – Bacia do Parnaíba – Mapa geológico simplificado em função das seqüências deposicionais (I a V). (composto a partir de Schobbenhaus et al., 1981 e Goes et al., 1994).

Segundo Cunha (*op. cit.*), os clásticos do Grupo Serra Grande (formações Ipu, Tianguá e Jaicós), depositados sob condições fluviodeltaicas a marinha rasa, marcou o início da deposição na bacia. O final da deposição deste grupo é marcado por uma discordância erosiva, ocasionada pelo soerguimento da região, causada pela Orogênese Caledoniana, provavelmente entre o Siluriano e o Devoniano.

A deposição do Grupo Canindé (formações Itaim, Pimenteiras, Cabeças, Longá e Poti) foi o evento seguinte, e indica nova fase de subsidência, tendo se desenvolvido pela alternância de episódios transgressivos e regressivos, refletindo as oscilações do nível do mar.

A distribuição dos constituintes dessas seqüências evidenciam a influência de feições preexistentes (*grabens* e lineamentos) no processo deposicional. No final do Mississípiano, a região passou por novo soerguimento epirogenético, que, associado a mudanças climáticas profundas, onde imperavam climas quente e úmido, expôs totalmente a bacia, originando uma ampla discordância de caráter regional e a perda da identidade marinha.

No Carbonífero Médio, a bacia sofreu fraca inversão, depositando-se os clásticos do Grupo Balsas (formações Piauí, Pedra de Fogo, Motuca e Sambaíba).

A carga centrípeta do início dessa segunda fase de sedimentação está também condicionada aos lineamentos Transbrasiliano e Picos-Santa Inês. Os evaporitos e pacotes carbonáticos que foram gerados nesse ciclo resultaram da formação de um mar remanescente interior, que tornou-se progressivamente mais restrito, à medida que as condições de aridez iam se tornando mais intensas, alcançando um domínio francamente continental.

No Triássico, os padrões de evolução sofreram novamente mudanças no comportamento deposicional. No Jurássico, a bacia foi submetida à atuação de um eixo extensional ENE-WSW, que foi responsável pelo desenvolvimento do oceano Atlântico Equatorial, (Costa *et al.*, 1986) e reativou as discontinuidades existentes ao longo desse segmento.

A primeira manifestação vulcânica, de caráter extrusivo, possivelmente relacionada com a abertura do oceano Atlântico Norte (Lima & Leite, *op. cit.*) ocorreu através de uma distensão, ao longo da estrutura norte-sul, compreendida entre o Triássico e o Jurássico. As fases de vulcanismo não foram contínuas, mas periódicas, cabendo à última manifestação, no Eo-Cretáceo, de caráter intrusivo, a geração de complexos alcalinos e *pipe*, profusamente distribuídos na região leste. Os diques e so-

leiras de diabásios intromissos relativos a essa fase cortam os estratos paleozóicos, atingindo até a Formação Corda, no Mesozóico, estando relacionados, com a abertura do oceano Atlântico Sul.

Seguindo um período de intensa erosão, depositaram-se as formações Pastos Bons (fluvioacustre), Corda (fluvial, com contribuição eólica) Grajaú (eólico), e Itapecuru/Urucuia (fluvial e planície de maré), encerrando a sedimentação da Bacia do Parnaíba.

Após um período de estabilidade tectônica, processou-se na região, em condições climáticas propícias (quente e úmido), o desenvolvimento de perfis lateríticos sobre as unidades aflorantes. No intervalo compreendido entre o final do Cretáceo e o início do Terciário deve ter havido nova manifestação tectônica, resultando na movimentação do relevo que, associado à mudança para um clima árido, afetou a vegetação e favoreceu o desmantelamento dos níveis lateríticos, estabelecendo a deposição das coberturas detriticas/lateríticas.

As feições atuais resultaram, em parte, da atuação de processos que se manifestaram na superfície aplainada do Ciclo Sul-Americano que correspondem à instalação da atual rede de drenagem, seguindo-se da implantação de nova superfície aplainada e na deposição de terraços aluviais.

2.3 Estratigrafia

2.3.1 Comentários Gerais

Os trabalhos desenvolvidos na Folha Caxias permitiram individualizar nove unidades estratigráficas do Fanerozóico, além de coberturas terciárias e depósitos aluvionares recentes, do Quaternário (quadro 2.2).

A coluna estratigráfica proposta para a área compreende rochas do Paleozóico, constituídas pelas formações Cabeças, Longá, Poti, Piauí, Pedra de Fogo e Motuca, que envolvem sedimentos correspondentes a ciclos transgressivo-regressivos, com depósitos de origem continental, transicional e marinha, e sedimentos de origem lagunar associados a bacias restritas, evaporíticas; rochas mesozóicas, integradas pelas formações Corda e Itapecuru, constituídas de sedimentos de origem continental; rochas intrusivas básicas, originadas de eventos magmáticos, do Eo-Cretáceo; coberturas terciárias e depósitos aluvionares quaternários.

Os trabalhos de mapeamento geológico foram conduzidos no sentido de conciliar a estratigrafia convencional, com os sistemas deposicionais de

Quadro 2.2 – Coluna Estratigráfica.

Cronoestratigrafia				Unidade Estratigráfica	Descrição Litológica/ Estruturas Sedimentares	Interpretação	Potencial Mineral	
Eon	Era	Período	Época					
F	C E N O Z O I C O	Quaternário	Holoceno	Aluviões (QHa)	Sedimentos de origem clástica (areias, silte, argilas).	Sistema fluvial meandrante	Areia, cascalho e argila para construção civil	
		Terciário	Plio-Pleistoceno	Coberturas (Tc)	Sedimentos inconsolidados, de constituição areno-argilosa; concreções lateríticas. Lateritos imaturos.	Cobertura residual e/ou transportada. Alteração superficial.	Piçarra para construção civil, argila e areia.	
BACIA SEDIMENTAR DO PARNAÍBA								
F A N E O	M E S O Z O I C O	Cretáceo	Superior	Formação Itapecuru (Ki)	Arenitos bordós e arroxeados com intercalações silíticas; concreções lateríticas.	Leques aluviais; alteração química.	Areia e argila para construção civil.	
			Inferior	Grupo Mearim	Formação Sardinha (Ks)	Rochas intrusivas básicas, ocorrem em forma de diques e soleiras.	Intrusão	Material para construção civil.
		Jurássico	Superior		Formação Corda (Jc)	Arenitos bem selecionados, bimodais, matriz caulínica. Estratificação cruzada de grande porte, níveis argilosos e icnofósseis.	Sedimentos eólicos e lacustrinos.	Areia para construção civil.
R O Z A L E O Z O I C O	P E R M I A N O	Permiano	Superior	Grupo Balsas	Formação Motuca (Pm)	Folhelhos e siltitos vermelhos, com intercalações de arenitos, argilitos e calcários. Estratificações plano-paralela e cruzada acanalada; icnofósseis.	Depósitos de tração e suspensão associados. Pulsos litorâneos.	Caulim e argilas. Calcário para construção civil, metalurgia e indústria química.
			Médio		Formação Pedra de Fogo (Ppf)	Intercalações de arenitos róseos, sigmoidais, com folhelhos, argilitos e níveis de sílex. Estratificações plano-paralela e cruzada de baixo ângulo. Estruturas <i>flaser</i> , <i>wavy</i> e <i>linsen</i>	Planície de maré e sistema deltaico associados.	-
		Carbonífero	Superior	Formação Piauí (Cpi)	Co-sequências de arenitos bimodais com estratificação, cruzada, plano-paralela e sigmoidal. Siltitos, argilitos e calcários fossilíferos intercalados. Estruturas de fluidização, <i>herring bone</i> e <i>climbing</i> .	Dunas e interdunas; plataforma de águas rasas e agitadas.	Calcários para corretivo de solo.	
			Inferior	Formação Poti (Cpo)	Arenitos sigmoidais amalgamados; arenitos quartzosos sob forma de lobos de suspensão, com marcas onduladas, <i>ladderback ripples</i> , <i>swaley cross stratification</i> , <i>wavy</i> , <i>linsen</i> .	Frente deltaica; litoral dominado por ondas.	Material para construção civil e gemas (ametista).	
		Devoniano	Superior	Grupo Canindé	Formação Longá (Dcl)	Arenitos finos silicificados; argilosos, micáceos. Laminação cruzada, de baixo ângulo, laminação plano-paralela e marcas onduladas.	Turbiditos distais	Gemas (ametista) e quartzo hialino; material para construção civil.
					Formação Cabeças (Dc)	Arenitos creme-avermelhados, silicificados, sigmoidais, limitados por planos de estratificação.	Zona costeira submetida ao movimento de marés.	-

cada unidade litoestratigráfica. Para a distinção desses sistemas foram estudados detalhadamente os afloramentos de cada unidade, caracterizados através da figura 2.3. As unidades envolvem geralmente mais de um sistema deposicional, e estão a seguir descritas individualmente.

2.3.2 Paleozóico

2.3.2.1 Grupo Canindé

O Grupo Canindé compreende as formações Cabeças e Longá, (Devoniano) e Poti (Carbonífe-

ro). É limitado na base por uma discordância que o separa do Grupo Serra Grande; o contato superior, com o Grupo Balsas, é normal (Góes *et al.*, *op. cit.*).

2.3.2.1.1 Formação Cabeças – Dc

Definição

Esta unidade estratigráfica foi definida inicialmente por Plummer (1946; *in Santos et al.*, 1984), para denominar uma seqüência predominantemente arenosa que se desenvolve nas proximida-

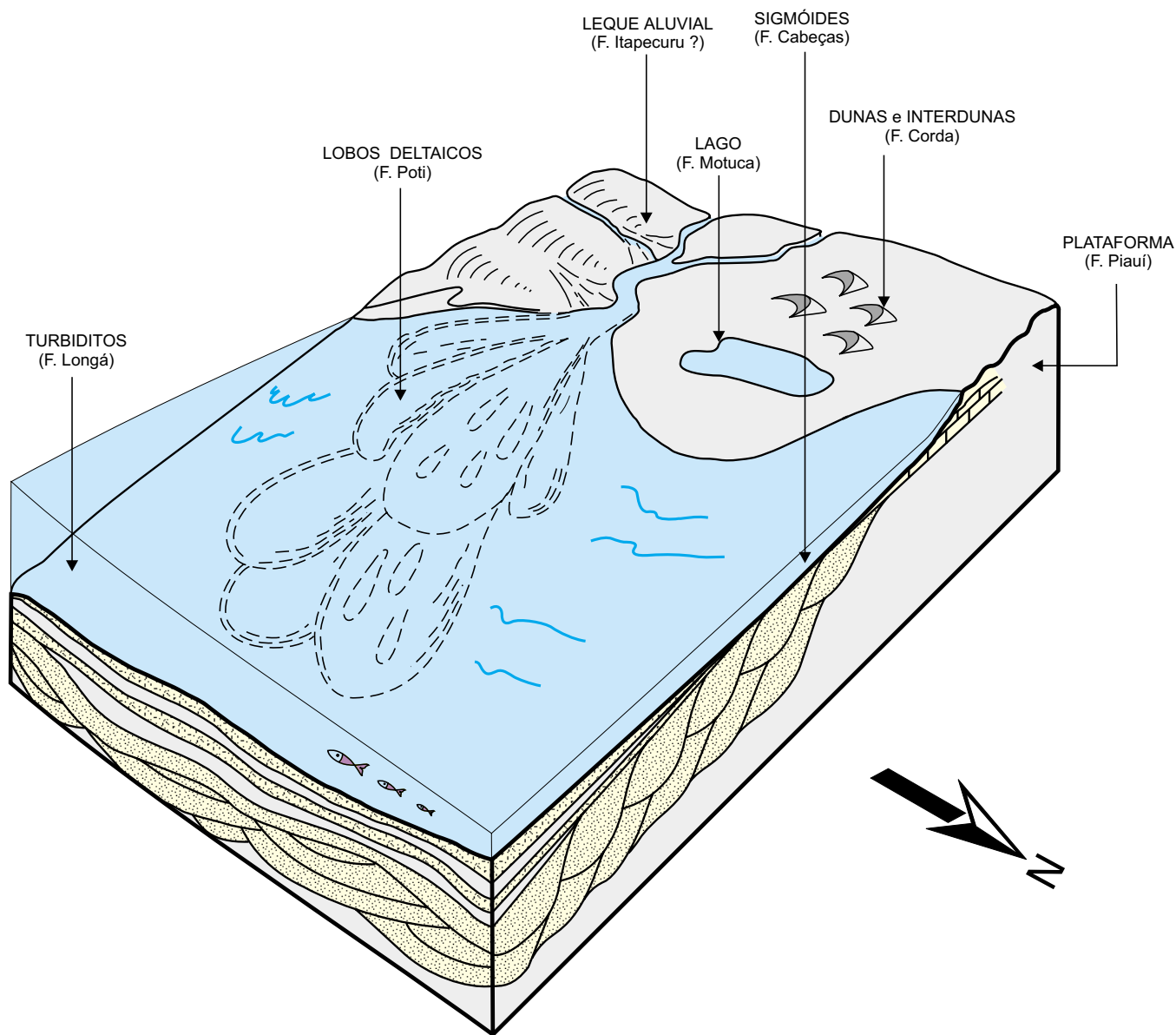


Figura 2.3 – Representação esquemática dos ambientes de sedimentação da Folha Caxias.

des da vila de Cabeças, a norte de Picos. Plummer (*op. cit.*) a subdividiu em três membros: Passagem, Oeiras e Ipiranga.

Kegel (*op.cit.*), em estudo detalhado do membro Passagem, considerou-o correlato ao membro Oitis da Formação Pimenteiras. Plummer (*op. cit.*) sugere o desuso do membro Oitis para aquela formação.

Blakennagel (1952), acreditando que a Formação Cabeças não comportava tal divisão porque os três membros descritos por Plummer afloravam apenas nas proximidades de Picos, preferiu não subdividi-la, denominando-a apenas de Formação Cabeças. Esta denominação foi aceita por Lima & Leite (*po. cit.*), e adotada neste trabalho.

Modo de Ocorrência, Distribuição e Relações de Contato

A Formação Cabeças ocorre em áreas descontínuas e restritas no extremo oriental da Folha Caxias, alcançando até 18km de largura. Grande parte dos domínios dessa unidade, foi cartografada através da interpretação de fotografias aéreas e de imagens de satélite. Aflora no domínio morfoestrutural do Pediplano Central do Maranhão, englobando faixas de transição entre planaltos e depressões. Abrange cerca de 3,2% da superfície da folha, com espessura média em torno de 300m.

A Formação Pimenteiras, sotoposta, não aflora na área estudada. As relações de contato com a Formação Longá, sobreposta, são materializadas pela mudança brusca da litologia e dos processos deposicionais.

Litologia e Estruturas Sedimentares

A sudeste de Batalha, no limite nordeste da folha, a Formação Cabeças consiste em arenitos creme-avermelhados com grãos subarredondados, silicificados. Na saída de Batalha, em direção a Piracuruca, aflora sob a forma de blocos isolados de aspecto ruiforme, contendo grânulos e seixos de quartzo, retrabalhados. A análise petrográfica da amostra JA-58 revelou a presença de quartzo, grãos de zircão, rutilo e palhetas de sericita. O cimento é silicoso e limonítico.

Ao longo dos perfis executados foram observadas camadas de pelitos cinza-arroxeados, aparentemente maciços, intercalados com camadas de arenito cinza a avermelhado.

No afloramento situado no limite oriental da folha, nas proximidades de Lajes, os arenitos têm aspecto corrugado, semelhantes a marcas onduladas lin-

guóides. Internamente apresentam estratificação cruzada sigmoidal com ondulações no topo dos estratos. As estratificações cruzadas mostram paleocorrente para SSE (N140°). Próximo a Batalha, os arenitos têm aspecto ruiforme, exibindo externamente disjunções poligonais. Internamente a estratificação é plano-paralela.

Nas seqüências pelito-arenosas, a base das camadas de arenito está deformada por marcas de carga exibindo marcas onduladas no topo.

Ambiente de Deposição

As formas sigmoidais amalgamadas, limitadas por planos de estratificação, são indicativas de ação marinha, ou pelo menos de uma zona costeira submetida a processos de maré. Essas estruturas possivelmente foram geradas pela migração de formas de fundo de corpos arenosos, submersos, em uma plataforma regressiva. As marcas de carga na base das camadas arenosas devem-se à sua deposição sobre argilas não litificadas.

Idade e Correlações

Brito & Santos (1965), a partir da descrição de microfósseis do gênero *Pseudolunulidia* posicionaram a Formação Cabeças no Devoniano Médio. Posteriormente esse posicionamento foi complementado por Lima & Leite (*op. cit.*) com base na associação de palinomorfos do Struniano e Fameniano, atribuindo idade meso a neodevoniana à unidade.

A Formação Cabeças é correlacionada com os intervalos médio e superior da Formação Curuá, com o intervalo superior da Formação Oriximiná, da Bacia Amazônica; e com a Formação Ibimirim, da Bacia do Jatobá, no Nordeste do Brasil. Crow (1952) e Bar & Riegel (1974; *in* Caputo, *op. cit.*), correlacionaram a Formação Cabeças com camadas de arenito da parte superior da Série Accraian e com as camadas de arenitos vermelhos Takoradi, da Série Sekondian, da Bacia Accra (Gana).

2.3.2.1.2 Formação Longá – DCI

Definição

Foi descrita inicialmente por Albuquerque & Dequech (1946) para caracterizar folhelhos cinza-escuros que afloram nas proximidades de Campo Maior, no vale do rio Longá.

Campbell (*op. cit.*), chamou de Formação Longá, as camadas de folhelhos com intercalações de

siltitos e equivalentes estratigráficos com as camadas Itaueiras de Plummer (1946).

Mesner & Wooldridge (*op. cit.*) descrevem a Formação Longá como uma unidade constituída de folhelhos cinza-escuros, finamente laminados, betuminosos, e siltitos micáceos, com leitos contorcidos e tubos de vermes.

Mabesoone (1977) descreveu os sedimentos Longá como constituintes de uma fácies especial de ambiente de marés, em fase regressiva, do Devoniano Superior.

Lima & Leite (*op. cit.*), em trabalhos de mapeamento regional, concordaram com Campbell (1949), intercalando, entretanto, na parte intermediária das camadas de folhelhos, arenitos e siltitos cinza-claro a esbranquiçados, laminados; proposição que é adotada neste texto.

Modo de Ocorrência, Distribuição e Relações de Contato

A Formação Longá ocupa área significativa na Folha Caxias, distribuída em uma faixa alongada, aproximadamente de direção norte-sul. Estende-se da cidade de Campo Maior até o município de Batalha, na porção nordeste da folha, perfazendo cerca de 13,7% da área mapeada.

Os melhores afloramentos localizam-se nas proximidades de Batalha (foto 1), na cidade de Campo Maior (foto 2), nas margens dos rios Surubim, Longá e seus afluentes, e no rio Jenipapo.

O contato inferior com a Formação Cabeças dá-se através de brusca mudança litológica. As relações de contato com a unidade superior apresentam variação litológica entre os siltitos Longá e os arenitos da Formação Poti.

Litologia e Estruturas Sedimentares

Nas áreas de exposição, a Formação Longá consiste na superposição de delgadas camadas de arenitos de granulometria fina a muito fina, às vezes silicificados, com níveis argilosos avermelhados e roxos, micáceos.

Análises petrográficas de cinco amostras (JA-94, JA-95, JA-97, JA-209 e JA-233) identificaram, além de quartzo, feldspato e mica, lamelas de sericita e grãos de turmalina; associados a processos de albitização e substituição por argilominerais.

A análise microestrutural dessas amostras identificou dois planos de foliação, gerados possivelmente por tectonismo local superposto. Frações argilosas analisadas por difração de raios-X realizados

nas amostras JA-206, JA-207, JA-210 e JA-227, revelaram altas percentagens de minerais do grupo da caulinita, apresentando pequenos valores de minerais do grupo da illita e da esmectita.

Os arenitos geralmente apresentam laminações cruzadas e horizontais e marcas onduladas. Em Campo Maior, na parte inferior de algumas camadas, observam-se estrias e marcas de objetos com sentido geral de escoamento para sudoeste. Em uma extração de lajes nesse município (bairro Santa Rita), as camadas rítmicas apresentam uma rede de fraturas que são preenchidas por sulfeto de ferro (pirita), com intensa bioturbação e icnofósseis; as camadas mais espessas indicam deformações de sobrecarga e estrutura em almofadas.

Ambiente de Deposição

De acordo com Selley (1988; *in* Pedreira, 1991), a existência de argila dentro de unidades sedimentares implica na deposição abaixo da *mudline* que pode variar de profundidade de acordo com a configuração da costa e amplitude das marés. Em profundidade, corpos arenosos só são encontrados quando transportados por fluxos gravitacionais ou tempestades. Não foram encontradas estruturas indicativas de água rasa na maioria dos afloramentos estudados, evidenciando deposição em ambiente profundo; por outro lado, camadas depositadas distalmente, tendem a assumir geometria horizontal, arranjas seqüencialmente, indicando deposição por correntes densas de sedimentos, como no caso em discussão.

Todo o conjunto, depositado em regime de fluxo inferior, com processos de tração e suspensão associados, é interpretado como turbiditos distais. Os ciclos de folhelhos superpostos que ocorrem nas proximidades de Batalha, evidenciam fases de progradação, que deve ter ocorrido dentro de um canal, com transporte por gravidade.

Medidas de plaeocorrentes em estratificações plano-paralelas e cruzadas revelaram resultante para noroeste.

Idade e Correlações

Kegel (1953), estudando a fauna da Bacia do Parnaíba, registra na borda leste da serra de Campo Maior, uma fauna de lamelibrânquios, característica da parte inferior do Devoniano Superior.

Cruz *et al.* (*op. cit.*), baseados em estudos bioestratigráficos regionais, indicam que as divisões estratigráficas estabelecidas pela palinologia nas uni-

dades Poti e Longá estendem esta última como do Devoniano Superior até o Andar Viseano, do Carbonífero Inferior. Assinalam, ainda, que, enquanto na região sudeste da bacia (no tempo Viseano) a sedimentação processava-se em planície de maré, em outras regiões a deposição dava-se em planícies fluviais, com restos de plantas nos sedimentos da parte superior da unidade Poti.

Análises paleontológicas executadas pela CPRM identificaram, em componentes microfaunísticos e macrofaunísticos, associações representativas de um mesmo intervalo de tempo para a sedimentação Longá nos flancos leste e sudoeste da bacia, sendo datados no Neodevoniano/Eocarbonífero.

A Formação Longá é correlacionada às seções superiores das formações Ponta Grossa e Curuá, das bacias do Paraná e do Amazonas, respectivamente.

2.3.2.1.3 Formação Poti – Cpo

Definição

A proposta inicial dessa unidade foi feita por Lisboa em 1914 (*in Santos, 1984*), para designar folhelhos carbonáceos que afloram no vale do rio Poti. Posteriormente, no estudo do poço para água subterrânea executado na região de Teresina, Paiva (1937), Oliveira & Leonardos (1943; *in Lima & Leite, op. cit.*) e Campbell (*op. cit.*), confirmaram a designação inicial, posicionando-a estratigraficamente entre as formações Longá e Piauí.

Modo de Ocorrência, Distribuição e Relações de Contato

A Formação Poti abrange grandes áreas na Folha Caxias, com um *trend* de direção aproximadamente N-S. Ocupa grande faixa da porção oriental, estando também distribuída na porção centro-norte, em domínios da unidade morfoestrutural denominada Pediplano Central do Maranhão. Distribui-se em dois tipos de modelados que resultam em áreas de cotas mais elevadas, caracterizando feições dissecadas, com relevo ruiforme, refletindo fraturamentos verticais e subverticais, em patamares sucessivos, como nas serras de Campo Maior e Bugarim, e em superfícies arrasadas e planas. Acha-se entrecortada por rios de baixo gradiente, obedecendo o padrão dendrítico a semidendrítico regional.

Apesar de preferencialmente ocorrer em largas faixas, os estratos Poti afloram também de maneira descontínua, justapostos com sedimentos da unidade Longá com a qual faz contato gradacional.

Na região de Barras compreende parte dos cursos dos rios Maratoã, Longá e seus afluentes; a NE de Miguel Alves e em uma faixa compreendida entre José de Freitas e Campo Maior é de difícil delimitação com os estratos Piauí, uma vez que nesses locais apresenta identidade litológica. Deve levar-se em consideração que a interpretação de imagens de satélites, a qual nem sempre expressa seguramente a individualização dos intervalos mapeados, foi um dos critérios utilizados na separação dessa unidade.

Análises petrográficas em três amostras (JA-05, JA-138 e JA-163) identificaram grãos de quartzo, feldspatos, raras lamelas de biotita, turmalina detritica e zircão. Ocorrem também cristais de calcita com cimento areno-argiloso e finas placas de illita. Alguns grãos de feldspatos mostram-se substituídos por argilominerais, indicando processo de dissolução. Análises semiquantitativas para argila registraram elevadas percentagens de caulinita e reduzidos valores de illita e esmectita. Na amostra JA-186 ocorre somente a associação caulinita + esmectita.

O estrato carbonoso aplicado às amostras JA-186, JA-224 e JA-226, submetidas à análise organopalinológica indicou tratar-se de material equivalente ao estágio da hulha, correspondente a uma paleotemperatura de 100-130°, enquadrando-se na faixa da diagênese.

A Formação Poti ocupa 15,4% da área mapeada, tendo uma espessura de 221m (furo 1UN-04-PI - CPRM).





Cruz *et al.* (1973) admitem que essa formação, entre Buriti Bravo e Caxias, alcança mais de 350m de espessura.

Litologia, Estruturas Sedimentares e Interpretação

Foram analisadas três seções geológicas: José de Freitas - Barras - Rio Longá; Campo Maior - Serra do Bugarim e Campo Maior - Riacho da Raposa. Os afloramentos visitados permitiram individualizar quatro fácies: (I) arenitos bimodais; (II) arenitos com marcas onduladas; (III) arenitos sigmoidais e (IV) arenitos eólicos, (quadro 2.3).

A fácies I (arenitos bimodais) foi examinada principalmente ao longo dos cursos dos rios Longá e Maratã. Essa fácies é constituída de arenitos de granulometria fina a média, bimodais, com estratificação cruzada acanalada de grande porte, às quais tendem a ser tangenciais na base. Ocorre laminação milimétrica formada pela alternância de grãos de diferente granulometria. São comuns es-

Quadro 2.3 – Caracterização e interpretação das fácies sedimentares da Formação Poti.

Unidade de Fácies	Paleocorrente	Litologia/Textura	Estruturas Sedimentares	Geometria	Espessura Sets (m)	Processos/ Interpretação
IV		arenitos finos a médios, bimodais	estratificação cruzada de grande porte, granocrescência	lenticular	2,0	dunas eólicas retrabalhadas
III		arenitos bimodais com intercalação de pelitos	estratificação cruzada de grande porte, wavy, linsen	lobos sigmoidais lenticular	0,5	frente deltaica, deposição em ambiente litorâneo retrabalhado por ondas
II		arenitos com granulação fina/grossa, feldspáticos micáceos	estratificação plano-paralela, ladderback, linsen, wavy ripples	horizontal/ lenticular	0,5	planície de maré
I		arenitos quartzosos, granulação fina/média, bimodais	estratificações cruzadas acanaladas, plano-paralela; fluidização	lenticular, lobos de suspensão	0,5	migração de dunas eólicas retrabalhadas por invasões marinhas

- IV – arenitos eólicos
- III – arenitos sigmoidais
- II – arenitos com marcas onduladas
- I – arenitos bimodais

estruturas de escape de fluidos como convoluções e pilares de fluidização, estas provocadas pelo impacto de ondas no substrato arenoso, que, por não estar ainda compactado, possui altas pressões nos poros (foto 3).

Perfeitamente destacáveis desses sedimentos, ocorrem, na margem direita do rio Maratoã, no mesmo afloramento, blocos sob forma de lobos de suspensão, constituídos de arenitos quartzosos, cinza-esbranquiçados, com grãos subarredondados, retrabalhados por ondas; exibem estratos cruzados tabulares de pequeno porte e ondulações cavalgantes. No rio Longá, as estratificações cruzadas acanaladas são de grande porte. Grande parte dos estratos nesse local apresentam morfologia do tipo Xi, Allen (1963; *in* Pedreira, *op. cit.*), formando dunas do tipo self (longitudinais). Em corte transversal, a morfologia dessas estruturas assemelha-se a dobras em *chevron* (foto 4).

No riacho da Raposa, sudoeste de Campo Maior, os arenitos apresentam granulometria fina, com

cruzadas acanaladas truncadas, de baixo ângulo. Praticamente todo esse afloramento encontra-se com suas estruturas obliteradas por efeito dos fenômenos de fluidização que originaram dobras convolutas e camadas maciças, com feições de escorregamento; são encontradas também, no topo dos arenitos, marcas onduladas de cristas paralelas superpostas por lobos amalgamados.

Essa fácies compreende efeitos combinados de processos de deposição gerados por água e por vento, podendo se interpretar o seguinte:

a) As estratificações cruzadas de grande porte e tabulares representam a migração de dunas eólicas, caracterizando transporte por saltação e/ou arraste superficial;

b) As superfícies horizontais e subhorizontais que truncam sets estratificados cruzadamente foram originadas, possivelmente, pela deflação da areia que estaria posicionada acima de um nível freático;

c) Os arenitos do rio Maratasan e do riacho da Raposa, que apresentam estruturas de escape de

fluido, são fortes indícios de que os constituintes liquefaziam-se, produzindo deformações nos estratos pelo conseqüente escape de água;

d) Os lobos de areia com retrabalhamento por ondas representam fluxo de sedimento resultante do retrabalhamento de dunas por ocasião de eventuais invasões marinhas. Exemplo similar é encontrado em uma fácies da Seqüência dos Lagos (Eo-Cretáceo) da Bacia do Recôncavo, onde sedimentos deltaicos da Formação Candeias, que caracterizam linhas de costa de lobos depositados sob condições subaéreas por fluxos gravitacionais, encontram-se associados a depósitos eólicos.

A fácies II, arenitos com marcas onduladas, ocorre em uma faixa localizada a NE de José de Freitas, na estrada para Barras. Consiste em arenitos cinza-esbranquiçados, de granulometria fina a grossa, quartzosos, feldspáticos, micáceos. Apresentam estratificações plano-paralelas e cruzada de baixo ângulo. No topo dos arenitos, há evidências de retrabalhamento por ondas formando pequenas "bacias" com diâmetros de aproximadamente 20cm, *linsen*, marcas onduladas e *ladderback ripples*, típicas de planície de marés.

Na mesma faixa, essa unidade de fácies consiste em finas camadas de arenitos de granulometria grossa, formando *sets* de base plana e topo ondulado, intercaladas com camadas de siltitos e folhelhos cinza. Exibem estratos cruzados com truncamentos e *coarse grained ripples* com *drapes* de lama. 2,8km a NE de Cabeceiras (proximidades da fazenda Douro), as camadas de arenito diminuem de espessura, havendo maior incremento dos constituintes lamosos. Estruturas características dessa unidade de fácies são encontradas também em Nossa Senhora dos Remédios, fora dos limites norte da folha, onde ocorrem camadas de arenitos vermelhos e brancos e siltitos brancos intercamadas, dispostos em camadas cruzadas, com *herring bone*. Nesse local, na superfície de uma camada de arenito, foi indentificado um icnofóssil, que se trata possivelmente de um traço meandriforme de Helminthóida.

As intercalações de camadas de arenitos com folhelhos e siltitos e estruturas sedimentares associadas examinadas, indicam que seus constituintes litológicos estão situados na parte inferior, em uma zona de planície de maré.

A morfologia, base plana e topo ondulado, encontrada nos arenitos e siltitos a NE de José de Freitas, caracterizam processos de tração + suspensão, combinando fluxo unidirecional com componente oscilatório. Indicam pulsos de tempestades.

As *ripples* de granulometria grosseira formadas por ondas e identificadas na fazenda Douro, que formam intervalos com areia grossa, com cristas pouco espaçadas e arrasadas, de pequenas amplitudes, são indicativas de eventos de tempestades.

A fácies III (arenitos sigmoidais) foi analisada na serra de Campo Maior e ocorre associada com a fácies IV no quadrante sudeste da folha. Constituem sedimentos arenosos de granulometria fina a média, com intercalações de pelitos. Apresentam na base, geometria em forma de lobos sigmoidais superpostos, admitindo-se que podem ter sido formados abaixo do nível de base, de forma rápida (foto 5). Geralmente apresentam o topo plano, com deformação na base, exibindo internamente estratificações plano-paralela e cruzada de baixo ângulo. Entre as sigmóides ocorrem finas intercalações de pelitos, com estratificação ondulada e lenticular. Poucos metros a sul desse intervalo ocorrem arenitos retrabalhados por ondas com *wavy linsen* e truncamentos (foto 6).

O intervalo superior dessa seqüência é predominantemente arenoso. Desenvolve estratificações cruzadas de grande porte, as quais tendem a ser tangenciais na base. Internamente, as lâminas apresentam grãos bem selecionados e foscos. Como feições subordinadas, exibem linhas com concentração de pequenos seixos de quartzo, consideradas como superfícies de deflação, devido à retirada dos grãos mais finos pelo vento, granocrescência e estruturas que caracterizam queda e fluxo de grãos. Na porção média desses intervalos ocorrem camadas argilo-arenosas, laminadas, com cerca de 0,70m de espessura.

A base desse conjunto integra sedimentos transicionais de frente deltaica, depositados em um ambiente litorâneo dominado por ondas. O topo corresponde a sedimentos originados da ação dos ventos, que desenvolveram dunas eólicas, retrabalhadas. As camadas argilosas que ocorrem na porção média, representam áreas de interdunas (figura 2.4).

Idade e Correlações

Aguiar (*op. cit.*), fazendo referência a Muller, que encontrou pólenes na zona N, e baseado em análises de macro e microfósseis, data a Formação Poti no Carbonífero Inferior (Mississipiiano).

Baseado na similaridade litológica e palinológica, a Formação Poti é correlacionada com a Formação Faro, da Bacia Amazônica, e com a Formação Moxotó, da Bacia Tucano-Jatobá.

ESP.	LITOLOGIA TEXTURA E ESTRUTURA SEDIMENTAR							L I T O L O G I A	INTERPRETAÇÃO
	ARGILA	SILTE	ARENITO FINO	ARENITO MÉDIO	ARENITO GROSSO	CONGLO-MERADO			
± 20m								- Arenitos finos a médios, cinza avermelhados, bimodais, micáceos, com estratificação cruzada acanalada de grande porte. Internamente os sets deposicionais exibem granocrescência, com queda e fluxo de grãos.	- Dunas eólicas
± 10m								- Arenitos finos, bimodais, com estratos cruzados, multidirecionais de grande porte.	
± 3m								- Arenitos finos, argilosos, micáceos, com truncamentos. Ocorrem níveis com laminação plano-paralela, <i>linsen</i> , <i>drapes</i> de argia e <i>swaley cross stratification</i> .	- Interduna
± 15m								- Arenitos médios a grossos sob forma de lobos sigmoidais amalgamados, com base plana e topo ondulado. Níveis de siltitos com marcas de ondas.	- Frente deltaica

Estratificação cruzada de grande porte

Estratificação sigmoidal

Estratificação plano-paralela

Linsen

Drapes

Granocrescência

Estratificação sigmoidal

Estratificação plano-paralela

Figura 2.4 – Seção geológica esquemática Serra do Campo Maior/Serra do Bugarim (afioramentos JA-20 e JA-21) – Formação Poti.

2.3.2.2 Grupo Balsas

Na Folha Caxias esse grupo ocupa o intervalo compreendido entre o Carbonífero Superior e o Permiano Superior. Na Bacia do Parnaíba, alcança até o Triássico Inferior, com a Formação Sambaíba, que não aflora na folha (Góes *et al.*, *op. cit.*).

2.3.2.2.1 Formação Piauí – Cpi

Definição

Esta unidade estratigráfica foi definida inicialmente por Small (1914; *in Santos et al.*, 1984), que utilizou o termo “série Piauí” para designar a seqüência paleozóica completa da Bacia do Parnaíba. Posteriormente, estudos regionais de Duarte (1936) e de Oliveira & Leonardos (1934; *in Santos et al.*, *op. cit.*), restringiram o termo “série” para representar somente as camadas carboníferas do Pensilvaniano.

Modo de Ocorrência, Distribuição e Relações de Contato

A Formação Piauí ocupa a segunda maior extensão em relação às demais unidades, cobrindo cerca de 16,9% da área cartografada.

Ocorre na porção central da folha, margeando o rio Parnaíba em áreas aplainadas, ou em pequenas elevações, que encaixam cursos fluviais. Os melhores afloramentos localizam-se entre Coelho Neto e Miguel Alves e entre Teresina, José de Freitas e União, no vale do rio Parnaíba.

Localmente o contato superior com os sedimentos Pedra de Fogo é transicional. Próximo ao entrocamento da estrada União - José de Freitas, a transição entre essas unidades envolve um contexto deltaico, com evidentes processos de retrabalhamento por ondas. Apesar de posicionada estratigraficamente acima da Formação Poti, é evidente a similaridade litológica entre esta e a Formação Piauí.

Litologia, Estruturas Sedimentares e Interpretação

Nesta unidade foram identificadas quatro fácies, denominadas: (I) arenitos com estratificação cruzada acanalada; (II) arenitos e siltitos com marcas onduladas; (III) arenitos com estratificação sigmoidal; e (IV) calcários fossilíferos, (quadro 2.4).

A fácies arenitos com estratificação cruzada acanalada (I) aflora a norte de Teresina, na região de José de Freitas, e a sul de União.

Em Santa Teresa, a 27km a norte de Teresina, os sedimentos são constituídos de arenitos bimodais que se alternam em camadas com estratificação plano-paralela e cruzadas de grande porte. Em um dos níveis próximo à base ocorre uma barcana com topo cortado por camadas horizontais, interpretada como interdunas. Essas feições, assemelham-se às estruturas de *blow out*, descritas por Gradzinski (1989; *in Pedreira*, 1991) e são produzidas por fluxo helicoidal do vento. Na extremidade norte ocorre uma estrutura em forma de canal, indicando atividade episódica de corte e preenchimento, mostrando superfícies limitantes de 1ª e 2ª ordem (foto 7). Em Santarém e José de Freitas essa litofácies consiste em arenitos com evidências de fluidização e “lentes” de argila, com icnofósseis, estas com perfurações emparelhadas.




Na rodovia PI-112, foram encontrados arenitos com estratificação cruzada sigmoidal e do tipo Xi, com laminação por queda e fluxo de grãos; estão associados a “linhas” de deflação formadas por partículas maiores e mais resistentes ao escoamento. São interpretados como depósitos de dunas e interdunas, devendo corresponder a um ambiente desértico, relacionado à descida do nível baixo do mar que atuava à época da deposição.

A fácies de arenitos e siltitos com marcas onduladas (II), ocorre também na rodovia PI-112, entre Miguel Alves e União. Consiste em sedimentos arenosos de granulometria fina a média, com matriz caulínica, siltitos e folhelhos. Apresentam geometria tabular com baixa lenticularidade, mostrando grande persistência lateral. Nos arenitos predominam estratificações plano-paralelas e cruzadas de baixo ângulo, do tipo *herring bone*; nos siltitos ocorrem marcas onduladas com topo plano. Esse conjunto indica deposição em zona litorânea, em regime de fluxo superior associado a depósitos de planície de maré.

A fácies correspondente a arenitos com estratificação sigmoidal (III) cobre pequena faixa da área, podendo ser analisada no afloramento localizado 14km a sul de União. Constitui corpos de arenitos finos, caulinizados, com estratificações cruzadas sigmoidais amalgamadas. Encontram-se dispostas entre camadas de argilas com estratificação plano-paralela (foto 8). Para o norte esse conjunto passa lateralmente para arenitos com truncamentos por ondas e *coarse grained ripples*, com níveis de folhelho. Corresponde a depósitos de frente deltaica, associados a barras de plataforma retrabalhadas por tempestades.

A fácies calcários fossilíferos (IV) foi definida na fazenda Mocambo, a sul de José de Freitas. Está caracte-

Quadro 2.4 – Caracterização e interpretação das fácies sedimentares da Formação Piauí.

Unidade de Fácies	Paleocorrente	Litologia/Textura	Estruturas Sedimentares	Geometria	Espessura Sets (m)	Interpretação
IV		arenitos finos calcíferos e calcários fossilizados	<i>climbing ripples, birds eyes, wavy, linsen</i>	plano-paralela	1,0	plataforma de águas rasas e agitadas em zona de submaré
III		arenitos finos com níveis de argila	estratos sigmoidais amalgamados	sigmoidal	3,0	frente deltaica,
II		arenitos com matriz caulínica, siltitos e folhelhos	cruzadas tabulares e <i>hering bone</i>	tabular	0,5	depósitos litorâneos associados a depósitos de planície de maré
I		arenitos finos/médios, bimodais, com lentes de argila	<i>blow out</i> , estratificação cruzada; linhas de deflação	barcana, lenticular	1,5	depósitos de duna/interduna

- IV – calcáriosossilíferos
- III – arenitos com estratificação sigmoidal
- II – arenitos e siltitos com marcas onduladas
- I – arenitos com estratificação cruzada acanalada

terizada da base para o topo pela sucessão de camadas de arenitos calcíferos, sucessão de camadas de arenitos calcíferos, laminados, com estrutura *climbing* e cruzadas de baixo ângulo, calcários fossilíferos marinhos com *birds eyes*, siltitos e argilitos intercalados. Apresentam geometria plano-paralela, com marcas onduladas, *wave* e *linsen* (figura 2.5). Sugere deposição em ambiente de plataforma de águas rasas e agitadas, em zona de submaré (foto 9).

Nos afloramentos localizados a oeste de José de Freitas, os bancos de calcários, estratiformes, alcançam mais de 1m de espessura. Nesses locais são identificados calcarenitos de geometria tabular com grande persistência lateral e *mudcracks*, associados a truncamentos por ondas. Secundariamente, são encontrados arenitos de geometria sigmoidal com intercalações de argilitos e siltitos vermelhos, sugerindo deposição sob influência de marés e processos litorâneos.

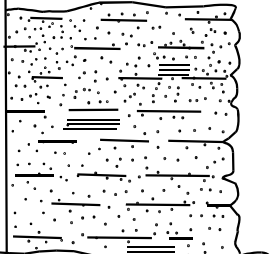

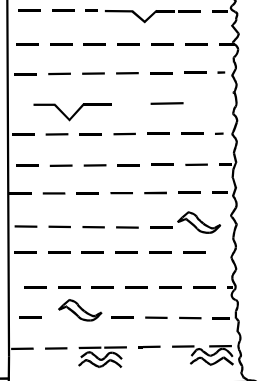
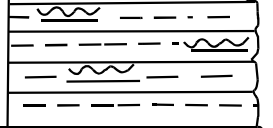
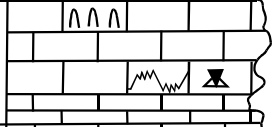

Os calcários dessa formação apresentam em sua composição química, valores médios de 26% de CaO e de 18% de MgO, podendo comportar variações desses teores. A amostra JA-08, apresentou um percentual de 2,9 de resíduo insolúvel.

Idade e Correlações

Campanha & Rocha Campos (1979), através do estudo da microfaua de conodontes, datam a Formação Piauí como pertencente ao Pensilvaniano Inferior e Médio.

Anelli (1993), estudando os pelecípodes dessa formação, admite que a assembléia encontrada foi formada no Neo-Paleozóico, com distribuição geológica correspondente a todo o Pensilvaniano.

A porção inferior é correlacionada com a Formação Monte Alegre e a parte superior com a Formação Itaituba, da Bacia Amazônica. É também corre-

ESP.	LITOLOGIA, TEXTURA E ESTRUTURA SEDIMENTAR	DESCRIÇÃO	OBSERVAÇÕES
1,2m		- Arenitos finos, com matriz argilosa a areno-argilosa, avermelhados e esverdeados com estratificação plano-paralela.	
0,5m		- Arenitos finos / médios com estratificações cruzadas de baixo ângulo e <i>climbing ripples</i> .	
2,5m		- Intercalações de argilitos e siltitos vermelhos na base, passando para esverdeados no topo. Presença de <i>mud cracks</i> , <i>wavy</i> e <i>linsen</i> .	- deformação sinsedimentar. - marcas de corrente.
0,7m		- Siltito com níveis argilosos esverdeados com marcas onduladas.	
0,7m		- Calcário estratificado, creme, com fósseis marinhos.	- gastrópodes, cefalópodes e trilobitas; cristais de gipsita.
0,5m		- Calcarenito cinza, de granulometria fina a média, maciço.	

















	Arenito argiloso		Siltito argiloso		Marca ondulada		Biválvios		<i>Climbing-ripples</i>
	Arenitos finos a médios		Calcário		<i>Wavy</i>		Estilólito		<i>Mud cracks</i>
	Argilito/siltito		Calcarenito		<i>Linsen</i>		<i>Bird's eyes</i>		Cruzada acanalada
									Plano-paralela

Figura 2.5 – Seção geológica esquemática do calcário da fazenda Mocambo (Formação Piauí).

lacionada com o Grupo Aquidauana, noroeste da Bacia do Paraná.

2.3.2.2.2 Formação Pedra de Fogo – Ppf

Definição

Posicionada estratigraficamente entre as formações Piauí e Motuca, a Formação Pedra de Fogo foi definida por Plummer (1949; *in* Lima & Leite, *op. cit.*), para caracterizar camadas ricas em *chert* e fósseis vegetais que afloram no rio Pedra de Fogo entre Pastos Bons e Nova Iorque.

Aguiar (*op. cit.*) reconheceu, no município de Balsas, o caráter cíclico dessa unidade, identificando uma sucessão litológica, constituída de arenitos amarelados, siltitos e folhelhos esverdeados, com restos de madeira fossilizada e calcários oolíticos. A ocorrência de espessas camadas de sílex, que ocorrem nessa formação, fazem distingui-la das demais unidades da bacia. Adotou-se neste texto a definição de Plummer, anteriormente citado.

A maior espessura conhecida, de acordo com Caputo (*op. cit.*), é de 240m aproximadamente.

Modo de Ocorrência, Distribuição e Relações de Contato

Aflora de forma descontínua na porção ocidental da folha, em relevo bem individualizado, constituindo a parte superior de alguns afloramentos que têm como base sedimentos da Formação Piauí. Com essa unidade, o contato inferior frequentemente processa-se através de lenta gradação, o que dificulta seu limite. O contato superior com a Formação Motuca é gradacional, passando dos sillexitos e siltitos esverdeados da Formação Pedra de Fogo para siltitos e folhelhos vermelho-tijolo, da Formação Motuca. Ocupa cerca de 8,4% da área mapeada, com distribuição irregular.

As melhores exposições localizam-se a oeste e a sul de Coelho Neto e entre Teresina e União. A formação constitui excelente horizonte de referência, devido a presença de sílex.

Na região de Caxias sua espessura em subsuperfície alcança cerca de 173m.

Litologia e Estruturas Sedimentares

O afloramento mais representativo desta formação na área está localizado a 10km ao sul de Coelho Neto, na rodovia entre essa cidade e a BR-316 (figura 2.6) e na saída de Coelho Neto para Duque

Bacelar. Consiste em camadas de sillexitos, folhelhos e argilitos com níveis de arenitos. Os folhelhos e argilitos mostram estruturas que se assemelham a ondulações cavalgantes e estratificação do tipo *wavy* e *linsen*, e os arenitos, estratificação plano-paralela e cruzada de baixo ângulo, sugestivo de deposição em ambiente litorâneo.

Na saída de Coelho Neto, as camadas de sillexitos provenientes da silicificação de camadas de calcários, encontram-se arqueadas, com superfícies de carga e concreções (foto 10). Em Harve de Graça (foto 11), proximidades de União, vêem-se lobos de arenitos retrabalhados, associados com bancos de areia de geometria lenticular e siltitos cinza, gradando para arenitos sigmoidais, com truncamentos, estruturas *flaser* e *linsen* "famintas", centimétricas.

Admite-se para a Formação Pedra de Fogo na Folha Caxias um contexto deposicional que envolve uma zona intermediária de planície de maré associado a um sistema deltaico dominante por processos marinhos.

Medidas de paleocorrentes revelaram resultante para sul.

Idade e Correlações

Baseados na presença de restos de peixes e ostracóides e de anfíbio labirintodonte, Mesner & Wooldridge (*op. cit.*) admitem idade eo-permiana para esta formação. Estes autores identificaram nesta unidade *Psaronius*, bulbos e troncos de madeira silicificada.

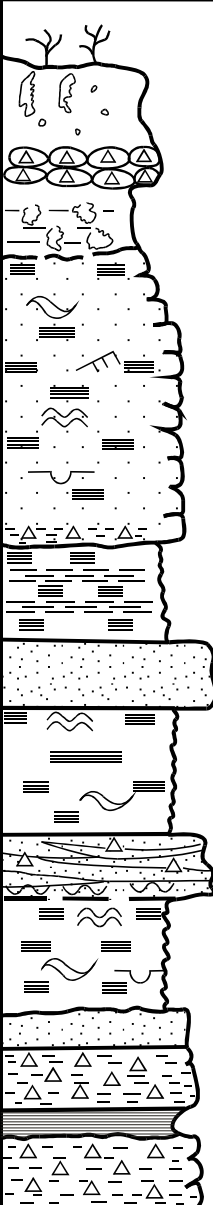
Cruz *et al.* (1973), através de estudos palinológicos, identificaram micrósporos alados, indicativos de uma flora desenvolvida e variada de gimnospermas, pteridófitas e esfenófitas, que sugere idade Permiano Inferior.

É correlacionada com as formações Batinga (membro Boacica) e Aracaré, da Bacia Sergipe-Alagoas e com a seção Palermo-Irati-Teresina, da borda noreste da Bacia do Paraná.

2.3.2.2.3 Formação Motuca – Pm

Definição

A Formação Motuca foi definida inicialmente por Plummer (1946; *in* Kegel, *op. cit.*), para designar uma seqüência constituída de folhelhos de cor vermelho-tijolo, com leitos de gipsita e anidrita, sobrejacentes à Formação Pedra de Fogo, encontrados na fazenda Motuca, entre São Domingos e Benedito

ESP.	LITOLOGIA, TEXTURA E ESTRUTURA SEDIMENTAR	DESCRIÇÃO	OBSERVAÇÕES	
6m aproximadamente		<ul style="list-style-type: none"> - Cobertura argilo-arenosa incoesa, marrom-amarelada a vermelha, com concreções ferruginosas. - Nível de silexito, descontínuo ("bolachas"). - Argilosos, avermelhados, mosqueados, pigmentado por óxido de ferro. - Intercalações de folhelhos e siltitos avermelhados com níveis de silexito. 	<ul style="list-style-type: none"> - Níveis contendo internamente drusas de calcita. - <i>Slumping, climbing ripples, linsen</i> e <i>wavy</i>. 	
		<ul style="list-style-type: none"> - Folhelhos avermelhados, finamente laminados com níveis argilosos. 		
		<ul style="list-style-type: none"> - Arenitos finos a médios, bem selecionados, massivos. 		
		<ul style="list-style-type: none"> - Folhelho cinza-arroxeados, com laminação plano-paralela. 	<ul style="list-style-type: none"> - <i>Wavy</i> e <i>linsen</i>. 	
		<ul style="list-style-type: none"> - Arenito fino a médio, arroxeados a amarelado com lentes de sílex. 	<ul style="list-style-type: none"> - Caulinizado, cruzada de baixo ângulo. 	
		<ul style="list-style-type: none"> - Folhelho cinza-arroxeados, finamente laminado. 	<ul style="list-style-type: none"> - <i>Linsen, wavy</i> e <i>slumping</i>. 	
		<ul style="list-style-type: none"> - Camadas alternadas de silexito bem laminado, de coloração cinza-avermelhada, e níveis de siltitos e arenitos. 	<ul style="list-style-type: none"> - Percolação de óxido de ferro. 	














	Folhelho siltico		<i>Linsen</i>		<i>Climbing ripples</i>
	Arenito		Bolachas de silexito		<i>Slumping</i>
	Folhelho		Marca ondulada		Restos de organismos, concreções
	Siltito		<i>Wavy</i>		Plano-paralela
	Silexito				

Figura 2.6 – Seção geológica esquemática do afloramento localizado aproximadamente 10km a sul de Coelho Neto – Formação Pedra de Fogo.

Leite (MA), considerados como pertencentes ao Triássico.

Campbell (*op. cit.*) englobou nesta formação as camadas Pastos Bons e Caxias. Assinala que as camadas Motuca parecem indicar a parte central da bacia, ocorrendo por toda a região de Teresina e Caxias.

Northfleet & Melo (1967) definiram como Motuca o intervalo estratigráfico compreendido entre as formações Pedra de Fogo e Sambaiba.

Aguiar (*op. cit.*), em estudos correlativos das unidades permo-triássicas da Bacia do Parnaíba, divide a Formação Motuca em três membros: o inferior e o superior, de constituição arenosa, e o médio, com predominância de folhelhos, calcários e anidritas.

Lima & Leite (*op. cit.*) registraram conglomerados e clásticos de *chert* na base dessa formação, posicionando-a, no Permiano Superior.

O furo 2MG-1-MA perfurado pela Petrobras alcançou 296m de espessura para essa formação.

Modo de Ocorrência, Distribuição e Relações de Contato

A Formação Motuca encontra-se bem individualizada na Folha Caxias, caracterizando sobremaneira o ambiente restrito e de severa aridez em que a mesma foi depositada. Ocorre na porção sudoeste da área, ocupando parte da unidade morfoestrutural pertencente ao Pediplano Central do Maranhão, cobrindo cerca de 8,4% da área mapeada. Apresenta relevo suave, sobressaindo-se somente nas regiões de Caxias e Aldeias Altas com elevações acima de 25m.

O contato da Formação Motuca com a unidade sotoposta é de natureza concordante transicional; as relações do contato superior com a Formação Corda não estão bem definidas, devido a amplas faixas de coberturas terciárias que se sobrepõem sobre a unidade analisada e aos elevados processos de alteração supergênica que foram submetidos seus constituintes litológicos.

Algumas áreas de seu domínio podem ser definidas como aloformações, pois correspondem a corpos estratiformes mapeáveis de rochas sedimentares, definidos e identificados com base em suas descontinuidades limitantes (Código Norte-Americano de Nomenclatura Estratigráfica). Como na rodovia Timon-Caxias-Peritoró, onde afloram areias inconsolidadas com evidências inconfundíveis de estratificação. Além dessas, ocorrem ainda áreas laterizadas, principalmente nos arredores de Aldeias Altas (figura 2.7).

Litologia e Estruturas Sedimentares

A Formação Motuca, na Folha Caxias, consiste em pelitos de cor vermelho-tijolo com estratificação plano-paralela, apresentando bancos tabulares de arenitos cinza-esbranquiçados e calcários com nódulos de gipsita fibrosa, de aspecto mosqueado. A noroeste de Caxias, em corte da BR-316 (foto 12) e a noroeste de Aldeias Altas, consiste em ciclos de folhelhos vermelhos com finos níveis sílticos, capeados por lateritos (foto 13). Internamente têm aspecto maciço com grande persistência lateral e evidências de exposição subaérea (foto 14). Pode-se observar camadas alternadas de arenito e argilito, com cruzadas acanaladas, exibindo aspecto de *tidal bundles*. Nesse local ocorrem níveis argilosos com abundantes perfurações de icnofósseis.

Em Aarão Reis (figura 2.8, foto 15), e em Cambuquinha foram identificadas camadas de calcários silicificados com cerca de 2m de espessura, cinza-esbranquiçadas, ou avermelhadas e esverdeadas, apresentando estruturas de colapso. Encontram-se intercaladas com siltitos argilosos, folhelhos e arenitos calcíferos. Amostras analisadas nesses locais, inclusive na localidade Caieira do Braga, revelaram diferentes percentagens de MgO variando entre 0,1% e 21,3%.

Medidas de paleocorrentes extraídas de estratificações acanaladas e plano-paralelas tiveram resultante para noroeste.

Ambiente de Deposição

Os constituintes litológicos da Formação Motuca – pela ausência de estruturas indicativas de águas rasas e agitadas – podem ser interpretados como depósitos de tração e suspensão, lacustrinos, associados a raros pulsos litorâneos em um sistema desértico. A fase evaporítica continental condicionou a geração dos calcários Motuca, correspondente a pulsos regressivos. O clima na época da deposição deve ter sido fortemente oxidante, tendo em vista a predominância de sedimentos vermelhos ferruginosos.

Idade e Correlações

Mesner e Wooldridge (*op. cit.*), a partir da identificação de gastrópodo *Pleurotomaria sp* (Permiano do Peru) e formas de peixes semelhantes a *Paleoniscus sp* e *Elonichthy sp* (Permiano), admitem para a Formação Motuca idade permiana superior. Caputo (*op. cit.*) admite um intervalo de deposição que compreende o Permiano tardio e Triássico antigo.

É correlacionada com a Formação Rio do Rastro, da Bacia do Paraná; com a Formação Andirá, da Bacia do Amazonas e com o arenito Secundi Inferior, da Bacia de Accra.

2.3.3 Mesozóico

2.3.3.1 Grupo Mearim

Este grupo é representado na Folha Caxias apenas pelas formações Corda, do Jurássico Superior, e Sardinha, do Cretáceo Inferior.

2.3.3.1.1 Formação Corda – Jc

Definição

Lisboa (1914; *in* Lima & Leite, *op. cit.*) usou o termo Corda para caracterizar camadas de arenitos vermelhos intercalados com derrames basálticos que ocorrem no curso superior do rio Mearim. Ao conjunto arenitos-basaltos chamou de “Série Mearim” (Triássico)

e aos folhelhos da base da Formação Codó, chamou de “Série Grajaú”, de idade cretácea.

Campbell (*op. cit.*), concluiu que Grajaú e Corda eram o mesmo arenito e os denominou de camadas Grajaú. Trabalhos posteriores levaram esse autor a designar de Formação Corda os arenitos localizados acima dos derrames basálticos e abaixo dos folhelhos Codó, distinguindo três membros: Itagua-tins, Macapá e Curador.

Moore (1961) identificou um segundo derrame basáltico acima dos arenitos Corda, considerando-o de idade cretácea.

Northfleet & Melo (*op. cit.*) incluíram na Formação Corda os derrames basálticos com duas intercalações sedimentares, denominando-os membros Macapá e Fortaleza.

Aguiar (*op. cit.*) considera como Formação Corda a seção de sedimentos constituída de arenitos com intercalações de folhelhos e leitos de sílex, assentada concordantemente sobre a Formação Pastos Bons; recoberta pelos basaltos Sardinha. Inferiu uma espessura superior a 150m para essa unidade.

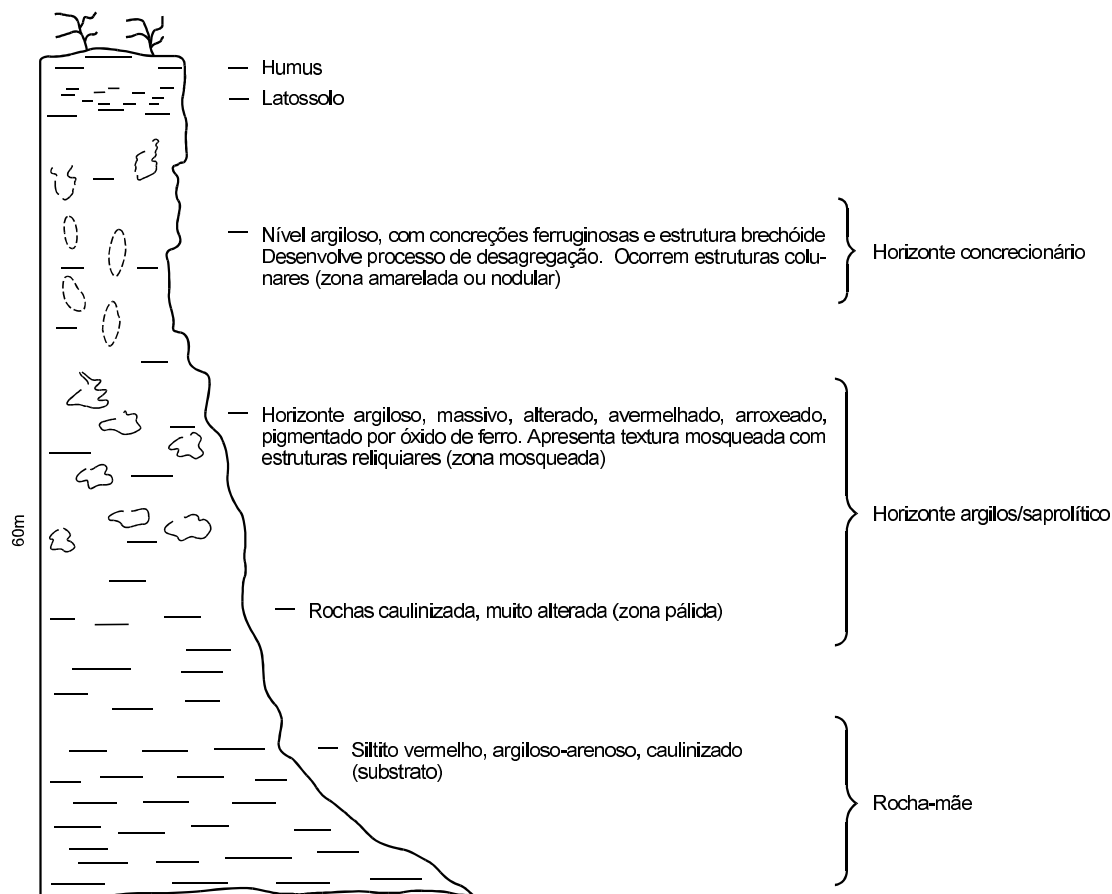


Figura 2.7 – Seção esquemática do perfil laterítico desenvolvido sobre sedimentos da Formação Motuca. Aldeias Altas, Morro da Torre.

ESP.	LITOLOGIA, TEXTURA	DESCRIÇÃO	OBSERVAÇÕES
		<ul style="list-style-type: none"> - Intercalação de siltitos argilosos, arenitos finos calcíferos e lentes de silexito de cores variegadas (vermelho, cinza, branco). Localmente apresentam aspecto maciço, ocorrendo níveis laminados, de geometria plano-paralela. - Calcarenito cinza-esbranquiçado, tabular. - Argilito vermelho, maciço. - Calcarenito cinza-esbranquiçado, laminado. - Siltito argiloso, maciço, avermelhado, apresentando níveis irregulares de sílica. - Calcarenito cinza a esbranquiçado com lentes de silexito interestratificado. - Siltito areno-argiloso com níveis calcíferos. - Calcarenito fino, cinza a esbranquiçado, tabular, laminação plano-paralela. - Siltito argiloso, avermelhado com níveis carbonáticos, com intercalações de calcissiltito. - Calcário fino, esbranquiçado a avermelhado, silicificado, muito consistente, de geometria tabular, com marcas de ondas e <i>dish</i>. 	<ul style="list-style-type: none"> - Alteração diagenética. Presença de veios anastomosados preenchidos por soluções silicosas. - Filamento de algas esverdeadas. - Laminação convoluta. Dobramento adiastrófico.

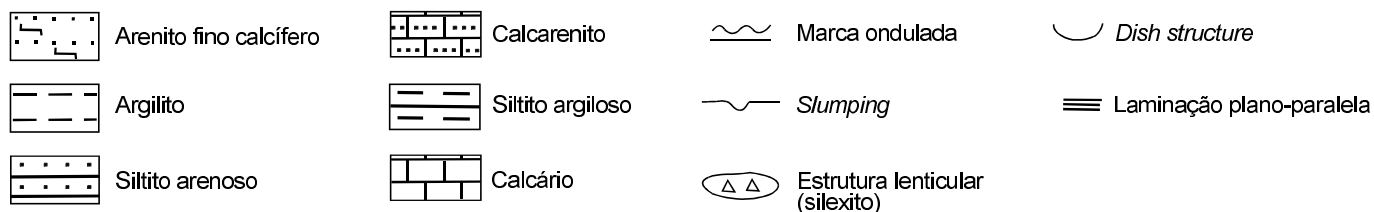


Figura 2.8 – Seção geológica esquemática do afloramento localizado em Aarão Reis, da Formação Motuca, entre Caxias e Timon.

Lima & Leite (*op. cit.*) consideraram como Formação Corda a seqüência de arenitos creme, róseos, amarronzados e cinza-arroxeados, com estratificação cruzada laminar em níveis de sílex, que se sobrepõem discordantemente sobre os basaltos Mosquito e concordantemente sobre os arenitos Pastos Bons.

Modo de Ocorrência, Distribuição e Relações de Contato

A Formação Corda ocorre na porção sudoeste da folha mapeada, cobrindo cerca de 1,9% da área total. As melhores exposições situam-se a norte de Caxias, no cruzamento da estrada de ferro com a rodovia MA-034, entre a BR-316 e Coelho Neto, nas proximidades de Aldeias Altas e na rodovia Caxias-Peritoró.

Em alguns locais os constituintes dessa unidade formam corpos de areias brancas, granulometria fina a média, predominantemente quartzosas, com grãos subarredondados e esféricos, denominadas de cobertura de arenização, que devem estar associados a processos de desertificação atuantes na bacia.

A natureza do contato inferior com a Formação Motuca e superior com a Formação Itapecuru não é visível. Na BR-316 encontra-se sobreposta por coberturas terciárias constituídas de arenitos e argilitos avermelhados laterizados.

Litologia e Estruturas Sedimentares

Os afloramentos visitados consistem predominantemente em arenitos, com grãos arredondados e bem selecionados, e matriz caulínica. No riacho das Mulatas, as camadas de arenitos avermelhados apresentam geometria plano-paralela e cruzada tabular e são formadas por níveis com variação granulométrica. Os níveis argilosos estão perfurados por icnofósseis, evidenciados por pares de orifícios (foto 16).

A noroeste de Aldeias Altas, os arenitos apresentam bimodalidade, com grãos de quartzo, foscos, médios, subarredondados a arredondados e bem selecionados. Os planos de estratificação alcançam cerca de 5cm de espessura e formam cruzadas acanaladas de grande porte. Entre esses planos ocorrem perfurações regularmente espaçadas.

Medidas de paleocorrentes nas estratificações cruzadas tiveram resultantes para sudeste.

Ambiente de Deposição

Os depósitos da Formação Corda na Folha Caixas são interpretados como de natureza eólica (ambiente desértico) com episódios de água-vento associados.

Idade e Correlações

Lima & Leite (*op. cit.*) identificaram, na Formação Corda, organismos lacustrinos, conchostráceos do gênero *Lioestheria* e *Macrolimnadiopsis*, além de ostracodes do gênero *Candona*. Admitem o relacionamento concordante e identidade cronológica com a Formação Pastos Bons, posicionando-a no Jurássico Superior.

A Formação Corda é correlacionada com a Formação Sergi, da Bacia do Recôncavo; com a Formação Serraria da Bacia Sergipe-Alagoas e com a Formação Botucatu, da Bacia do Paraná. Apesar do clima variar de árido a semi-árido, na época da deposição o ambiente deposicional da Formação Corda não conduziu a deposição e/ou preservação de evaporitos.

2.3.3.1.2 Formação Sardinha (Rochas Intrusivas Básicas) – Ks

Descrição

As rochas intrusivas básicas ocorrentes na Bacia do Parnaíba são classificadas petrograficamente, segundo projetos de mapeamentos regionais, como diabásios. Na área correspondem ao vulcanismo Sardinha, datados do Cretáceo Inferior.

A Formação Sardinha foi denominada por Aguiar (*op. cit.*), para definir os basaltos que afloram próximo à aldeia Sardinha, a sudoeste da cidade de Barra do Corda e mapeados anteriormente por Moore (1961). Esse autor posicionou estratigraficamente essa unidade acima da Formação Corda e abaixo da Formação Itapecuru, baseando-se na relação concordante Grajaú-Codó-Itapecuru, uma vez que as relações de contato dos basaltos com sedimentos não foram observadas no campo.

Cunha & Carneiro (1972) posicionam os basaltos Sardinha acima da Formação Grajaú e abaixo da Formação Codó. Correlacionaram em linha de tempo, às soleiras de diabásio intromissas nas unidades Pastos Bons e Grajaú, na região de Colinas-Mirador.

Modo de Ocorrência, Distribuição e Relações de Contato

A área de ocorrência é muito restrita, englobando pequenas faixas das formações Longá e Cabeças, na extremidade nordeste da folha, alcançando apenas 0,1% da área mapeada. Não foram observadas relações definidas de contato, verificando-se sua delimitação através da interpretação de imagens de

satélite e de fotografias aéreas. Entre José de Freitas e Campo Maior foram identificadas, através de imagens de radar, linhas escuras, bem acentuadas, que caracterizam esses corpos sob forma de diques, de direção NW-SE.

Litologia e Estruturas Sedimentares

Na Folha Caxias, em afloramentos das formações Cabeças e Longá, onde os sedimentos estão em contato com essas massas ígneas, os arenitos apresentam-se muito consistentes e fraturados.

Na análise petrográfica da amostra referente ao afloramento JA-233 (que parece tratar-se de uma encaixante digestiva), identificou-se um mosaico granuloblástico, constituído essencialmente por grãos anédricos de quartzo e opaco (óxido de ferro), além de impurezas argilosas, de forma intersticial; os níveis oxidados concentram-se principalmente ao longo dos planos de fraturas e de foliação.

Ambiente de Deposição

As rochas intrusivas básicas são formadas na Bacia do Parnaíba sob condições subaéreas (extravasamento fissural) e têm comportamento semelhante às rochas constituintes da Formação Mosquito, definida também por Aguiar (*op. cit.*), às quais atribui-se idade jurássica e neo-triássica. Essas rochas testemunham atividades tectônicas que atuaram na plataforma brasileira, com fragmentação em blocos, ao longo de antigas fraturas ou de superfícies neoformadas. Esse fenômeno é de natureza episódica e está associado ao amplo magmatismo básico que se estendeu por todo o continente de Gondwana.

Apresentam-se como importantes agentes termiais, condicionando mineralizações de opala, quartzo, ametista e, provavelmente, de galena, magnetita e pirita.

2.3.3.1.3 Formação Itapecuru – Ki

Definição

Campbell (*op. cit.*) foi quem primeiro descreveu esta unidade, denominando-a de Formação Serra Negra. Posteriormente, passou a usar o termo Itapecuru, atribuindo-lhe idade cretácea, posicionando-a em discordância local sobre a Formação Codó.

Mesner & Wooldridge (*op. cit.*) consideraram a Formação Itapecuru como de idade albiana, correlacionando-a com a Formação Tutóia da Bacia de Barreirinhas.

Molnar & Urdininea (*op. cit.*) mapearam na área do baixo Gurupi sedimentos equivalentes à Formação Itapecuru, diretamente assentados sobre o embasamento.

Lima & Leite (*op. cit.*) adotaram o exposto por Campbell (*op. cit.*), para caracterizar um conjunto de arenitos variegados com intercalações de siltitos e folhelhos avermelhados que recobrem concordantemente a Formação Codó.

Modo de Ocorrência, Distribuição e Relações de Contato

A Formação Itapecuru ocorre na porção noroeste da folha. Abrange áreas do município de Afonso Cunha e do distrito de Novo Belém, além de faixas localizadas a noroeste de Coelho Neto, perfazendo 9,6% da área mapeada. Apresenta pequenas exposições aflorantes, geralmente associadas a baixadas fluviais com relevo plano-ondulado, em faixas de domínio da unidade morfoestrutural Pediplano Central do Maranhão.

Não foi verificado em nenhum local a natureza do contato inferior da Formação Itapecuru com a Formação Corda, que lhe sotopõe. A noroeste de Duque Bacelar, sedimentos atribuídos à Formação Itapecuru, bastante laterizados, encontram-se em contato com sedimentos também de elevado grau de laterização das formações Piauí e Pedra de Fogo. O contato superior é marcado com extensas coberturas arenosas e/ou lateríticas terciárias.

Litologia e Estruturas Sedimentares

A maior parte dos sedimentos da Formação Itapecuru, na área, foi submetida a intenso processo de alteração supergênia, ligado a ciclos de peneplanização que, sob condições climáticas favoráveis, condicionou o desenvolvimento de perfis lateríticos imaturos.

Nas localidades de Queimada de Cima (município de Coelho Neto) e fazenda Buritirama (município de A. Cunha), os perfis lateríticos apresentam, na base, o horizonte mosqueado saprolítico (onde desenvolvem-se materiais de alteração do intemperismo) com níveis argilosos, de coloração esbranquiçada, cinza-clara e amarelo-avermelhada ou roxa. Da porção mediana em direção ao topo evoluem para o horizonte concrecionário ou ferruginoso – (zona colunar). Os últimos intervalos apresentam-se geralmente sob forma de crostas ferruginosas, de coloração avermelhada ou amarronzada e, apesar de serem mais compactos e densos em relação ao intervalo inferior, são

bastante propensos aos processos de desagregação e transporte em meio aquoso (foto 17).

Segundo Costa (1990), as rochas lateríticas são geralmente mais leves que a maioria das outras rochas devido à abundância de vazios gerados pela lixiviação e pelo domínio de minerais leves em sua composição mineralógica.

Ambiente de Deposição

Dados de campo são insuficientes para emitir-se conclusão definitiva quanto ao ambiente deposicional da Formação Itapecuru na Folha Caxias. Os efeitos do elevado grau de intemperismo que afetou esta unidade, pelo menos nos locais visitados, e a grande massa de material desagregado que provém das encostas das pequenas elevações, impedem a delimitação das relações de contato entre esta e as demais unidades aflorantes.

Os critérios estabelecidos para sua individualização basearam-se em grande parte na análise de imagens de satélite. Há a considerar, entretanto, que, nas proximidades de Afonso Cunha, onde existem claras evidências também de processos lateríticos, ocorrem seixos, blocos e níveis de conglomerados, imersos em uma matriz arenosa, de granulometria grossa, em forma de cunha. Essas feições sugerem depósitos de leques aluviais.

Idade e Correlações

Lima & Leite (*op. cit.*), baseados em fósseis encontrados em calcários da parte superior da seção Itapecuru (Formação Alcântara), atribuem idade albiiano-cenomaniana.

Colares & Araújo (1990) descreveram na Formação Itapecuru fósseis de foraminíferos, crustáceos e chordatos, posicionando-os no Cretáceo.

A Formação Itapecuru é correlacionada com intervalos das formações Preguiças e Bonfim, da Bacia de Barreirinhas, e com a Formação Alter do Chão, da Bacia do Amazonas. É equivalente à Formação Uruçuia, que ocorre ao sul da Bacia do Parnaíba.

2.3.4 Cenozóico

2.3.4.1 Coberturas Detríticas e/ou Lateríticas Terciárias – Tc

Braun (1971) utilizou o termo “depósitos neógenos indiferenciados” para caracterizar todas as coberturas de constituição arenosa, argilosa, laterítica e/ou produtos de eluviação que mascaram

o substrato e capeiam os remanescentes das superfícies de aplainamento do Ciclo Sul-Americano referido por King (1956), posicionando-as no Terciário.

O Projeto RADAMBRASIL (*op. cit.*) descreveu esses sedimentos incluindo clásticos mal selecionados que variam de siltitos a conglomerados, como pertencentes à Formação Barreiras, de idade terciária.

Lima & Leite (*op. cit.*) referem-se a esses sedimentos como coberturas detrítico-lateríticas que recobrem indistintamente todas as unidades da Bacia do Parnaíba, posicionando-as no Terciário-Quaternário.

Neste trabalho utiliza-se a designação genérica de Cobertura Detrítica e/ou Laterítica, de idade terciária, de acordo com Braun (*op. cit.*), para os depósitos detríticos semiconsolidados a incoerentes, com matriz areno-argilosa com seixos de quartzo, caulim e concreções ferruginosas dispersas, de cor amarelada a avermelhada que recobrem todas as unidades mais antigas da folha. Ocupa aproximadamente cerca de 20,9% da área total mapeada.

Na porção oriental e em áreas localizadas na parte central da folha, essas coberturas desenvolvem-se principalmente sobre os arenitos das formações Poti e Piauí e, em menor proporção, sobre os clásticos da Formação Longá. Têm distribuição irregular, em diferentes níveis topográficos, cobrindo extensas porções localizadas a noroeste e a sudoeste de Barras, ocorrendo sob forma de espesso manto arenoso inconsolidado, às vezes sob forma de canga ferruginosa. A oeste e a noroeste de Cabeceiras, a fração arenosa excede a fração argila, aparecendo de forma restrita e descontínua, comumente ferrificada e endurecida, aparentemente de pouca espessura.

Em alguns locais da porção ocidental são de notável expressão, cobrindo partes das formações Motuca e Itapecuru. Ocorrem em uma larga faixa nas cercanias de Caxias, que vai da BR-316 em direção N-S, até as proximidades de Baixa Grande.

Entre Timon e Caxias, e em Aldeias Altas, foram encontradas áreas com elevado processo de laterização onde são identificados, além da rocha-mãe, os horizontes pálido e mosqueado (plintitos), e esferulítico, concrecionário e colunar (petroplintitos) do perfil laterítico.

Segundo Costa (*op. cit.*), lateritos apresentam-se geralmente em horizontes bem estruturados, dispostos em uma seqüência única e individualizados através de suas propriedades como cor, textura-estrutura, mineralogia, composição química e espessura, podendo representar mais de um grupo de rochas, com registro geológico mapeável.

A oeste de Caxias as coberturas terciárias estão bem marcadas por linhas de seixos sobre sedimentos da Formação Corda. Localmente a base dessas linhas contém seixos ovalados, grãos e matações de canga ferruginosa, constituindo uma espécie de couraça (foto 18).

As coberturas terciárias sugerem ambientes de sedimentação de natureza continental, com alternância de climas semi-árido a úmido associados a processos aquosos, responsáveis pelo transporte do material.

2.3.4.2 Aluviões – QHa

As aluviões constituem sedimentos clásticos de origens variadas. São transportados e depositados em rios, riachos, planícies de inundações e em pequenas calhas de drenagem. Esses depósitos contêm principalmente areias, argilas, siltes, cascalhos, seixos de quartzo, caulim e lateritos dispersos. Apresentam-se semiconsolidados a in-

coerentes, mal selecionados, contendo matriz areno-argilosa.

Foram cartografadas, apenas as aluviões de maior exposição - 1,5% da área, aflorantes ao longo dos rios Parnaíba e Itapecuru, principais cursos d'água da região.

O rio Parnaíba, de maior expressividade regional, corta a folha no sentido N-S, chegando a ter aproximadamente 3km de largura, em Miguel Alves, alcançando pacote aluvionar com cerca de 4m de espessura. O rio Itapecuru corta a folha no quadrante SW atingindo uma largura máxima de 1 a 1,5km a NNW de Caxias. Os demais cursos d'água (rio Longá, Maratã e Surubim) possuem pacote aluvionar pouco espesso.

A ausência de qualquer tipo de fósseis na unidade impossibilita uma datação real, admitindo-se idade holocênica para esses sedimentos.

O contato com as rochas sedimentares geralmente apresenta níveis de material grosseiro, por vezes conglomerático, com seixos dispersos.

3

GEOLOGIA ESTRUTURAL E TECTÔNICA

Nos domínios da área estudada, os elementos estruturais mais proeminentes dizem respeito a falhas e/ou fraturas ressaltadas, em imagens de sensores remotos, por alinhamentos morfoestruturais. Estes, orientam-se segundo três direções principais: NNW-SSE, nordeste-sudoeste e este-oeste.

Em segundo plano, posto que em menor número e restritos ao terço oriental da folha, sobressaem-se alguns diques com extensão de até 25km e orientação variando NNW a NNE. Esses diques relacionam-se provavelmente à abertura do Atlântico Equatorial e correspondem, segundo Lima & Leite (*op. cit.*), às primeiras manifestações vulcânicas no âmbito da bacia.

A julgar pela orientação espacial, tais estruturas foram fortemente controladas pela trama estrutural do seu embasamento que teria sido reaproveitada, em vários estágios, pelos processos de fragmentação continental que levaram à abertura do oceano Atlântico.

Em mapas, tais alinhamentos são representados por traços retilíneos conformando uma trama irregular, fracamente adensada que pouco influenciou na atual disposição dos estratos, cujas atitudes mantêm a tendência regional de mergulhos subhorizontais com caimento para noroeste.

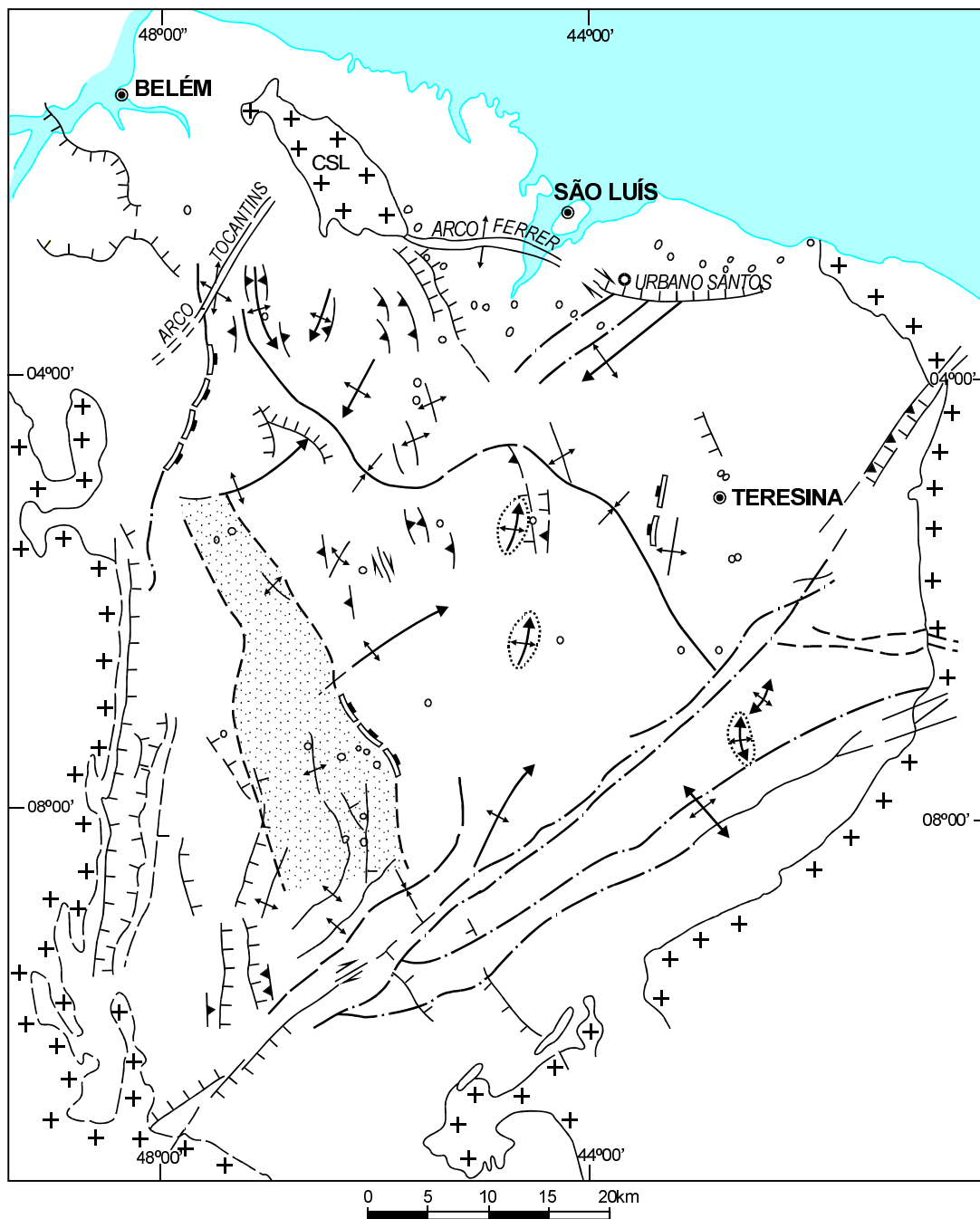
A trama estrutural retratada no mapa geológico, apesar de bastante simples, mantém uma boa coerência geométrica, quando transposta para um pla-

no regional e confrontada com o arcabouço estrutural da bacia como um todo. Nessa análise, salientam-se o paralelismo dos diques e dos principais alinhamentos cartografados com as grandes estruturas tectônicas que seccionam a bacia.

A figura 3.1, juntamente com o mapa geológico anexo, ilustram bem essa relação, além de constituírem bons exemplos de quão significativa foi a influência da matriz estrutural do embasamento na instalação e evolução tectono-sedimentar da bacia. A esse respeito, Fortes (1992) reitera o modelo já proposto em trabalhos anteriores, segundo o qual o atual padrão do sistema de rupturas da bacia foi fortemente influenciado pela matriz tectono-estrutural modelada ao final do Brasiliano. Essa matriz é consistente com um cisalhamento sinistrogiro, de caráter regional, induzido por um campo triaxial de tensão com orientação do eixo principal maior em torno de norte-sul.

Atualmente, é consensual o fato de que, ao longo da história evolutiva da Bacia sedimentar do Parnaíba, alternaram-se, sucessivamente, períodos distensivos e compressivos associados a transcorrências, caracterizando, pois, processos transtensivos e transpressivos.

Na área de estudo, essa teoria é consubstanciada através da interpretação de anomalias magnéticas e gravimétricas cujas assinaturas, em mapas, definem claramente duas direções preferenciais



- | | | | |
|--|---------------------|--|------------------------------------|
| | Falha normal | | Zona de falha (int. magnética) |
| | Falha reversa | | Rift proterozóico (subafloramento) |
| | Falha transcorrente | | Alto regional ou anticlinal |
| | Charneira | | Eixo da bacia |

Figura 3.1 – Arcabouço estrutural integrado da Bacia do Parnaíba, segundo Travassos & Góes (1992).

de alinhamentos segundo nordeste-sudoeste e noroeste-sudeste, portanto paralelas aos lineamentos Transbrasiliano e Picos - Santa Inês, respectivamente. O sistema noroeste-sudeste, mais evidente no quadrante noroeste da folha, compreende alinhamentos gravimétricos de fortes gradientes e foram interpretados como indicadores de falhas de grande rejeito vertical. O outro sistema, orientado segundo noroeste-sudeste, é realçado tanto pela gravimetria (dados disponíveis apenas para o terço ocidental da folha) como pela magnetometria.

Este último sistema, localmente, secciona e desloca o anterior, o que lhe confere um caráter distensivo-transcorrente dextrógiro e uma idade aparentemente mais recente. Entretanto, quando visualizada a bacia como um todo, verifica-se que essa relação não é verdadeira, pois são muitos os exemplos onde o sistema nordeste-sudoeste secciona o sistema noroeste-sudeste. Relações entre sistemas rupturais com tal tipo de ambigüidade sugerem uma mesma idade para o conjunto.

O Alinhamento Transbrasiliano, originalmente denominado de Lineamento Sobral - Pedro II por Kegel (*op. cit.*), constitui um megassistema de falhas rúpteis, compreendendo falhas transcorrentes, normais, *grabens*, diques e altos estruturais, ativo a partir dos estertores da Orogenia Brasileira e controlado, muito provavelmente, por zonas de cisalhamento dúcteis preexistentes. Este alinhamento estende-se por mais de 2.500km, desde o noroeste do Ceará até além fronteira com o Paraguai, seccionando, no seu trajeto, sedimentos paleozóicos e mesozóicos na porção mais oriental da bacia. O Lineamento Picos - Santa Inês constitui uma outra zona fortemente estruturada na direção noroeste-sudeste e, a exemplo da anterior, exerceu papel relevante na história evolutiva da bacia.

Segundo Cunha (*op. cit.*), esses dois megassistemas lineares constituíram importantes eixos deposicionais que condicionaram o preenchimento da bacia desde o Siluriano até, pelo menos, o Pensilvaniano, época da deposição da Formação Piauí.

Do ponto de vista geotectônico, a Bacia ou Sinclise do Parnaíba é do tipo intracontinental e tem os seus limites geográficos coincidentes com os da Província Estrutural do Parnaíba, definida por Almeida (*op. cit.*). Segundo Schobbenhaus & Campos (*op. cit.*), seu desenvolvimento ocorreu em condições estáveis de ortoplateforma, a partir do Ordoviciano-Siluriano. A pequena espessura da pilha sedimentar que, segundo Mesner & Wooldridge (*op. cit.*), não ultrapassa os 3.000m, dos quais 2.500m constituídos por depósitos paleozóicos, é

consistente com essa hipótese e também sugestiva de uma lenta subsidência, por vezes alternando com períodos de lentos soerguimentos.

As hipóteses quanto à origem e evolução tectono-sedimentar da bacia, ainda constituem questões controversas, posto que, fundamentadas mais em modelos conceituais e menos em dados factuais, diretos ou indiretos. Dentre os vários modelos evolutivos propostos, os mais coerentes são aqueles formulados por técnicos da Petrobras envolvidos em trabalhos de pesquisa para hidrocarbonetos, no âmbito da bacia.

Como exemplo, cita-se o modelo tectono-sedimentar proposto por Mesner & Wooldridge (*op. cit.*), modificado por (*op. cit.*) e atualizado por Góes *et al.* (*op. cit.*), o qual relaciona os *grabens* precursores do embaciamento, orientados de nordeste a norte (e.g. Grupo Jaibaras), aos processos termotectônicos do final do Brasiliano. A partir de então, a história evolutiva da bacia é controlada por cinco grandes ciclos tectono-deposicionais separados por discordâncias regionais.

O primeiro ciclo, desenvolvido durante o Ordoviciano e o Siluriano, corresponde ao Grupo Serra Grande. O seu término é marcado por uma discordância erosiva ocasionada pelo soerguimento da região em decorrência da Orogenia Caledoniana.

O segundo, abrangendo todo o Devoniano e início do Carbonífero (Mississipiense), recebeu a denominação de Grupo Canindé. Sua interrupção coincide com a deposição dos clastos marinhos, litorâneos e continentais da Formação Poti, sendo marcada por importante discordância regional associada aos efeitos da Orogenia Eo-Herciniana. Segundo Góes *et al.* (*op. cit.*), as evidências desse tectonismo são mais fortes nas porções centrais da bacia, onde foram reconhecidas falhas normais e estruturas associadas a falhas reversas.

O terceiro ciclo corresponde à deposição do Grupo Balsas e perdura até o Triássico. Ainda segundo Góes *et al.* (*op. cit.*) é acompanhado de um processo de desertificação e de um deslocamento dos depocentros para a parte central da bacia.

Uma nova fase de estruturação da bacia (4º ciclo) prolonga-se do Jurássico ao Eo-Cretáceo, com a deposição do Grupo Mearim e foi fortemente influenciado pelos processos tectônicos e magmáticos associados à separação das placas sul-americana e africana.

A última fase, correspondente ao quinto ciclo, referente ao fechamento da bacia, é marcado pela deposição lacustre e continental das formações Codó/Grajaú e Itapecuru, limitadas na porção norte-noroeste da bacia, estendendo-se até o Recente.

4

GEOLOGIA ECONÔMICA

4.1 Depósitos Ocorrências Mineraiis

A Folha Caxias (SB.23-X-B) possui cerca de 40% de sua área no estado do Maranhão, e o restante no estado do Piauí.

As ocorrências mineraiis assinaladas nessa folha alcançaram a pequena cifra de 42 pontos mineralizados, individualizados e estudados, incluindo-se pequenas minas, garimpos, depósitos, ocorrências, indícios e feições geológicas passíveis de conter mineralizações.

No DNPM, foram registrados, no município de Caxias-MA, 6 títulos minerários, sendo 1 para água mineral e 5 para argilas. No Piauí, foram registrados 10 títulos mineiros, sendo 3 para calcários dolomíticos, 4 para argilas, 2 para ametistas e 1 para quartzito, todos localizados nos municípios de José de Freitas, Miguel Alves, Barras e Campo Maior, respectivamente. Com exceção destes direitos, todas as demais atividades mineraiis de garimpo e lavra são irregulares e clandestinas para o órgão fiscalizador.

Na listagem dos jazimentos mineraiis, quadro 4.1, estão enumeradas todas as ocorrências levantadas na região. Apresenta pequena diversificação desses bens, incluindo-se não-metálicos

industriais, materiais de construção civil, corretivos de solo, energéticos e gemas.

A indústria extrativa mineral existente, apesar de bastante inexpressiva, está dirigida para lavra de pequenos depósitos que, de acordo com o Código de Mineração, pertencem às classes II e VII, uma vez que compõem jazidas de substâncias mineraiis de emprego imediato na construção civil e pequenas minas de mineraiis industriais e não-metálicos. Compreende a extração de materiais que estão sujeitos a regimes de licenciamento e são utilizados *in natura* para o preparo de agregados, pedra-de-talhe ou argamassa, não se destinando, como matéria-prima, à indústria de transformação, exceção feita à argila que é usada na fabricação de cerâmica vermelha, em lavras rudimentares, a céu aberto e de garimpo, com recursos e reservas necessárias à demanda dos projetos industriais implantados e a serem instalados.

No contexto nacional, os dois estados têm produção mineral insignificante, causada principalmente pelas condições geológicas desfavoráveis de concentrações de bens mineraiis explotáveis economicamente; escassos investimentos governamentais na prospecção da pesquisa e no mapeamento geológico básico e de detalhe. Por último, há o desinte-

Quadro 4.1 – Listagem de Jazimentos Minerais

Nº de Ref.	Substância Mineral	LOCALIZAÇÃO				CARACTERES DOS JAZIMENTOS						Dados Econômicos	Referências Bibliográficas
		Local	Município	UF	Coordenadas Geográficas	Associação Mineralógica	Morfologia	Textura	Classe do Jazimento	Rocha Encaixante/Hospedeira	Idade		
001	Água Mineral	Faz. Veneza	Caxias	MA	43° 21' 08" S 04° 54' 02" W	-	Indeterminada	-	-	Arenito	P	Ocorrência	01
002	Ametista	Mata do Veado	Batalha	PI	42° 05' 22" S 04° 03' 57" W	at+qz hialino	Irregular	Pegmatítica	Hidrotermal	Arenito	DC	Garimpo em atividade	02
003	Ametista	Porco	Batalha	PI	42° 04' 30" S 04° 04' 59" W	at+qz hialino	Irregular	Pegmatítica	Hidrotermal	Arenito	DC	Garimpo Inativo	01
004	Areia	Faz. Riachão	Caxias	MA	43° 29' 51" S 04° 49' 49" W	qz+fd+grupo da caulinita	Estratiforme	Granular	Sedimentar	Arenito	JS	Ocorrência	01
005	Argila	Estreito	Caxias	MA	43° 28' 39" S 04° 56' 36" W	qz+grupo da caulinita	Estratiforme	Maciça	Sedimentar	Arenito	P	Garimpo em atividade 600.000 tijolos/mês	01
006	Argila	Tintor	Caxias	MA	43° 22' 33" S 04° 53' 20" W	qz+fd+grupo da caulinita	Estratiforme	Maciça	Sedimentar	Arenitos, Siltitos e Folhelhos	P	Garimpo em atividade 14.400 tijolos/mês	01
007	Argila	Fazendinha	Caxias	MA	43° 22' 53" S 04° 52' 54" W	qz+grupo da caulinita	Estratiforme	Maciça	Sedimentar	Arenitos e Siltitos	P	Garimpo em atividade 1.360.000 tijolos/mês	01
008	Argila	Bela Água	Coelho Neto	MA	43° 01' 05" S 04° 13' 01" W	qz+grupo da caulinita	Estratiforme	Maciça	Sedimentar	Siltitos e Folhelhos	P	Garimpo em atividade 312.000 tijolos/mês	01
009	Argila	Lagoa dos Três Paus	Miguel Alves	PI	42° 53' 08" S 04° 09' 54" W	qz+grupo da caulinita	Estratiforme	Maciça	Sedimentar	Arenitos	C	Garimpo Inativo	01
010	Argila	Ema	José de Freitas	PI	42° 35' 54" S 04° 46' 47" W	qz+grupo da caulinita	Estratiforme	Maciça	Sedimentar	Arenitos e Folhelhos	P	Garimpo Inativo	01
011	Argila	Barra dos Gatos	Campo Maior	PI	42° 02' 02" S 04° 55' 33" W	qz+fd+grupo da caulinita	Estratiforme	Maciça	Sedimentar	Folhelhos e Siltitos	DC	Garimpo em atividade 600.000 tijolos/mês	01
012	Argila	Faz. Retiro	Campo Maior	PI	42° 07' 06" S 04° 46' 28" W	qz+grupo da caulinita+fd	Estratiforme	Maciça	Sedimentar	Folhelhos e Siltitos	DC	Garimpo em atividade 320.000 tijolos e telhas/mês	01
013	Argila	Faz. Pendência	Campo Maior	PI	42° 07' 48" S 04° 45' 39" W	qz+fd+grupo da caulinita	Estratiforme	Maciça	Sedimentar	Folhelhos e Siltitos	DC	Garimpo em atividade 320.000 tijolos e telhas/mês	01
014	Argila	Poções	Campo Maior	PI	42° 10' 36" S 04° 48' 06" W	qz+fd+grupo da caulinita	Estratiforme	Maciça	Sedimentar	Folhelhos e Siltitos	DC	Garimpo em atividade 24.000 tijolos/mês	01
015	Argila	Fazendinha	Barras	PI	42° 18' 27" S 04° 11' 13" W	qz+fd+grupo da caulinita	Estratiforme	Maciça	Sedimentar	Arenitos e Siltitos	C	Garimpo em atividade 100.000laj./tij./telhas/mês	01
016	Argila	Pedrinhas	Barras	PI	42° 18' 27" S 04° 14' 05" W	qz+grupo da caulinita	Estratiforme	Maciça	Sedimentar	Arenitos e Siltitos	C	Garimpo Inativo	01
017	Argila	Rochoso	Barras	PI	42° 15' 22" S 04° 14' 50" W	qz+grupo da caulinita	Estratiforme	Maciça	Sedimentar	Folhelhos e Siltitos	DC	Garimpo em atividade 92.000 tijolos e telhas/mês	01
018	Argila	Roça Velha	Barras	PI	42° 14' 12" S 04° 10' 39" W	qz+fd+grupo da caulinita	Estratiforme	Maciça	Sedimentar	Arenitos e Siltitos	C	Garimpo Ativo 92.000 tijolos e telhas/mês	01
019	Calcário	Aarão Reis	Timon	MA	43° 02' 06" S 04° 56' 03" W	qz+feldspato	Estratiforme	Maciça	Sedimentar	Arenitos e Folhelhos	P	Garimpo em atividade 800 sacos/mês	01
020	Calcário	Pé do Morro	Timon	MA	43° 02' 00" S 04° 51' 49" W	qz+feldspato	Estratiforme	Maciça	Sedimentar	Arenitos e Folhelhos	P	Ocorrência	01
021	Calcário	Caieira do Braga	Timon	MA	43° 03' 25" S 04° 48' 01" W	qz+feldspato	Estratiforme	Maciça	Sedimentar	Arenitos e Folhelhos	P	Garimpo em atividade 800 sacos/mês	01

Quadro 4.1 – Listagem de Jazimentos Minerais (Continuação).

Nº de Ref.	Substância Mineral	LOCALIZAÇÃO				CARACTERES DOS JAZIMENTOS						Dados Econômicos	Referências Bibliográficas	
		Local	Município	UF	Coordenadas Geográficas	Associação Mineralógica	Morfologia	Textura	Classe do Jazimento	Rocha Encaixante/Hospedeira	Idade			Status da Mineralização/ Produção/ Reserva/ Teores
022	Calcário	Cambuquinha	Timon	MA	43° 05' 09" S	04° 45' 32" W	qz+feldspato	Estratiforme	Maciça	Sedimentar	Arenitos e Folhelhos	P	Garimpo Inativo	02
023	Calcário	Vacaria	Miguel Alves	PI	42° 54' 24" S	04° 01' 30" W	qz+feldspato	Estratiforme	Maciça	Sedimentar	Arenitos e Siltitos	P	Garimpo Inativo	02
024	Calcário	Pitombeira	Miguel Alves	PI	42° 52' 26" S	04° 10' 07" W	qz+feldspato	Lenticular	Maciça	Sedimentar	Arenitos e Siltitos	P	Garimpo Inativo	02
025	Calcário	Mamorana	Coelho Neto	MA	42° 59' 59" S	04° 13' 07" W	qz+feldspato	Estratiforme	Maciça	Sedimentar	Arenitos e Folhelhos	P	Ocorrência	02
026	Calcário	Faz. Mocambo	José de Freitas	PI	42° 35' 51" S	04° 53' 43" W	qz+calcita+feldspato	Estratiforme	Maciça	Sedimentar	Argilitos, Folhelhos e Arenitos	C	Garimpo Intermitente	02
027	Calcário	Jenipapeiro	José de Freitas	PI	42° 44' 16" S	04° 48' 10" W	qz+calcita+feldspato	Estratiforme	Maciça	Sedimentar	Argilitos, Folhelhos e Arenitos	C	Garimpo Inativo	01
028	Calcário	Riacho dos Carros	José de Freitas	PI	42° 42' 20" S	04° 47' 28" W	qz+calcita+feldspato	Estratiforme	Maciça	Sedimentar	Argilitos, Folhelhos e Arenitos	C	Garimpo Inativo	02
029	Calcário	Esperança	José de Freitas	PI	42° 41' 20" S	04° 43' 20" W	qz+calcita+feldspato	Estratiforme	Maciça	Sedimentar	Argilitos, Folhelhos e Arenitos	C	Garimpo em atividade	01
030	Calcário	Contendas	José de Freitas	PI	42° 33' 20" S	04° 49' 41" W	qz+calcita+feldspato	Estratiforme	Maciça	Sedimentar	Siltitos, Argilitos e Arenitos	C	Garimpo Intermitente	01
* 031	Magnetita	Batalha	Batalha	PI	42° 03' 32" S	04° 01' 20" W		Lenticular	Disseminada	Sedimentar	Arenitos	DC	Indício	02
032	Pedra p/ Revestimento	Batalha de Cima	Batalha	PI	42° 05' 25" S	04° 03' 18" W	qz+sericita	Estratiforme	Maciça	Sedimentar	Arenitos e Siltitos	DC	Garimpo em atividade	01
033	Pedra p/ Revest. e Pirita	Rua Pedreira	Campo Maior	PI	42° 11' 28" S	04° 48' 59" W	qz+sericita	Estratiforme	Maciça	Sedimentar	Arenitos e Siltitos	DC	Garimpo em atividade (somente pedra p/revest.)	01
034	Pedra p/ Revestimento	Rio Longá (PI-113)	Barras	PI	42° 14' 24" S	04° 12' 14" W		Estratiforme	Maciça	Sedimentar	Arenitos	C	Ocorrência	01
035	Pirita (op/qz)	Serra de Campo Maior	Campo Maior	PI	42° 09' 55" S	04° 54' 56" W	pi+op+qz	Estratiforme	Disseminada	Sedimentar	Arenitos	C	Ocorrência	02
* 036	Pirita	Serra de Campo Maior	Campo Maior	PI	42° 10' 12" S	04° 54' 30" W	pi+op+qz	Estratiforme	Disseminada	Sedimentar	Arenitos	C	Ocorrência	02
* 037	Pirita	Fazenda Nova	Campo Maior	PI	42° 12' 54" S	04° 50' 00" W	pi+op+qz	Lenticular	Disseminada	Sedimentar	Arenitos e Siltitos	C	Ocorrência	02
038	Pirita	Lembrança	Miguel Alves	PI	42° 41' 51" S	04° 10' 48" W	pi+op+qz	Estratiforme	Disseminada	Sedimentar	Siltitos	C	Indício	02
* 039	Quartzo	Faz. Lajes	Batalha	PI	42° 01' 42" S	04° 03' 54" W	qz+at	Irregular	Pegmatítica	Sedimentar	Arenitos	D	Ocorrência	02
040	Quartzo	Mucambo	Miguel Alves	PI	42° 41' 18" S	04° 12' 09" W	qz+at	Irregular	Pegmatítica	Sedimentar	Arenitos	P	Garimpo Inativo	01
* 041	Urânio	Hotel Ouro Verde	Coelho Neto	MA	43° 00' 32" S	04° 15' 18" W		Estratiforme	Pulverulenta	Sedimentar	Siltitos	P	Indício	02
* 042	Urânio	Est. Campo Maior-Castelo	Campo Maior	PI	42° 02' 54" S	04° 57' 12" W		Estratiforme	Pulverulenta	Sedimentar	Siltitos	DC	Indício	02

* Catalogadas do Projeto Estudo Global dos Recursos Minerais da Bacia Sedimentar do Parnaíba (DNPM/CPRM - 1978).

resse do setor mineral privado em alocar recursos financeiros em empreendimentos mineiros que não tenham retorno de capital imediato.

Como bem demonstra o quadro 4.2, a produção mineral bruta e beneficiada dos dois estados, restringe-se, exclusivamente, a substâncias minerais não-metálicas, exceção sendo feita para a gema (opala) no Piauí e o ouro no Maranhão.

No Piauí merece destaque a produção de ardósia, empregada como piso de revestimento, localizada nas regiões de Campo Maior e Piracuruca; a de vermiculita de Paulistana, usada como isolante térmico e acústico e com propriedade de retenção da água no solo; e a gema (opala) utilizada em joalheria, proveniente de Pedro II.

No Maranhão destaca-se a produção de calcários dolomíticos para aplicação como corretivo de solo na agricultura, devido às condições climáticas favoráveis e à disponibilidade e abundância de recursos hídricos superficiais e subterrâneos, assegurando ao estado excelentes oportunidades de investimentos na produção agrícola e pastoril; a de brita, para construção civil e serviços de recuperação da Estrada de Ferro de Carajás – EFC; e a de ouro, sendo explorados pelos garimpos de Maracumé e Aurizona.

4.1.1 Minerais Não-Metálicos Industriais

As substâncias minerais não-metálicas que ocorrem nesta folha, são quase que exclusivamente os materiais para construção civil e que constituem matéria-prima, essenciais para o sistema de urbanização municipal e desenvolvimento integrado da região, a exemplo da areia, da argila, da pedra de revestimento e dos calcários. Estes últimos são também utilizados na calagem de solos ácidos agricultáveis, situando-se todos, normalmente, nas proximidades dos centros urbanos e consumidores.

4.1.1.1 Calcários

Os calcários constituem um dos bens minerais mais importantes da folha mapeada, sendo utilizados como matéria-prima na construção civil e como corretivo de solo.

Ocorrem nas formações Piauí e Motuca, em sedimentos carbonatados de origem química e bioquímica, sendo também frequentes nos sedimentos clásticos, por conterem, às vezes, uma fração carbonatada como cimento em percentagens variáveis.

Na área de domínio da Formação Motuca foram cadastradas quatro ocorrências minerais de calcá-

rios, estando duas em atividades e outras duas paralisadas. Encontram-se no município de Timon-MA (quadro 4.1), nas localidades de Aarão Reis, na margem da ferrovia Caxias-Timon; Pé do Morro, aproximadamente 22km a NE do entroncamento da BR-316/MA-034; Caieira do Braga, distante 8km a NW do povoado de Nazaré, e Cambuquinha, localizada 14km a NW do povoado acima.

Normalmente os calcários têm cor cinza-esbranquiçados, avermelhados e esverdeados, com espessura variando de 0,10 a 2,50m, apresentando-se com bancos de geometria tabular. Ocorrem intercalados em siltitos argilosos, folhelhos vermelhos e arenitos calcíferos.

A foto 19 mostra a extração de camadas subhorizontais de calcário dolomítico, com intercalações de níveis de siltitos argilosos, avermelhados, e calcarenitos interestratificados.

Os calcários da Formação Motuca, pela sua importância vital para o desenvolvimento regional, deverão ser objeto de uma investigação geológica de detalhe, visando detectar e bloquear reservas minerais exploráveis economicamente, tendo em vista os resultados animadores das análises químicas realizadas em duas amostras estudadas; podem ser usados na indústria de construção civil na agricultura, como corretivo de solo.

Em Aarão Reis (tabela 4.1) a análise química apresentou relação $MgO/CaO = 0,005$ e os fatores de conversão de 98,40% de $CaCO_3$ e 1,38% de $MgCO_3$. Segundo os parâmetros do Diagrama Triangular para rochas calcárias, equivalência de $MgCO$ e relação MgO/CaO (1956), classifica-se como calcário calcítico, servindo para aplicação em vários setores, tais como: construção civil, cimento, metalurgia e indústria química. Na localidade de Caieira do Braga, a análise química apresentou uma relação $MgO/CaO = 0,71$ e os fatores de conversão de 53,40% de $CaCO_3$ e 97,98% de MgO_3 , classificando-se como dolomito calcítico. Podem ser utilizados na calagem de solos, indústria de tintas, cargas, aditivos no asfalto, indústria de construção civil etc.

No âmbito da Formação Piauí, os calcários são distribuídos em uma extensa faixa, orientados segundo NE-SW; no médio vale do Parnaíba, nas vizinhanças do município de Miguel Alves e nos arredores de José de Freitas; constituem-se de bancos subhorizontais e estratiformes, atingindo a espessura de 1,80m em algumas localidades. Apresenta percentual de SiO_2 excepcionalmente elevado (aflorescimento JA-204), ocorrendo como calcarenito cinza, de granulometria fina, média e maciça.

Quadro 4.2 – Produção mineral bruta e beneficiada dos estados, Maranhão e Piauí, 1989 - 1992.

Substância	Estado	1989		1990		1991		1992*	
		Bruta	Benef.	Bruta	Benef.	Bruta	Benef.	Bruta	Benef.
Água Mineral	Piauí Maranhão	6.957.721(2) 11.804.233(2)	-	6.278.260(2) 9.754.138(2)	-	9.611.268(2) 11.195.324(2)	-	7.246.053(2) 12.434.262(2)	-
Ardósia	Piauí Maranhão	7.817	720	4.264	137	2.068	423	4.106	238
Areia	Piauí Maranhão	97.337(1) 75.328(1)	-	39.397(1) 77.955(1)	-	-	-	-	-
Argila	Piauí Maranhão	364.224 171.373	2.400 4.704	102.238 202.300	-	7.697 109.264	-	4.339	-
Caulim	Piauí Maranhão	1.146	1.146	540	540	1.200	1.200	1.200	1.200
Gipsita	Piauí Maranhão	4.500 27.022	950	23.176	-	6.420 18.341	-	3.210 13.316	-
P.Br.Orn. (Granito)	Piauí Maranhão	37.988 751.074(1)	37.988 883.324(1)	238.324 471.577(1)	238.324 467.396(1)	212.938(1)	7.028(1)	85.818(1)	-
P.Br.Orn. (Mármore)	Piauí Maranhão	514	1.160	1.430	763	-	-	1.052	-
Sal Marinho	Piauí Maranhão	10.000 10.000	-	30.000 100.000	-	40.000	-	-	-
Vermiculita	Piauí Maranhão	160.707	14.394	254.993	28.514	44.100	6.906	47.735	7.347
Dolomita	Piauí Maranhão	776.907	354.815	11.400 628.180	620.180	11.542 555.200	3.409	15.999 330.694	12.331
Gemas	Piauí Maranhão	-	500(4)	-	505.000(4)	-	652.407(4)	-	-
Ouro	Piauí Maranhão	18.214(4)	-	44.649(3)	961.398(4)	-	-	-	-

Fonte: DNPM/Anuário Mineral - 1989/1990/1991/1992.

(1) Unid. exp. em cúbicos

(2) Unid. exp. em litros

(3) Unid. exp. em gramas

(4) Unid. exp. em quilogramas

* Dados preliminares

As cores apresentadas pelos calcários são variáveis, evidenciando-se os tons: esbranquiçado, cinza-claro, creme, e, às vezes, esverdeados, argiloso, maciço e de geometria tabular.

Em duas ocorrências minerais (refs. 026 e 027) e numa mina (ref. 029) foram feitas análises químicas e mineralógicas, tabela 4.2, apresentando valores de CaO que variam de 23,3% a 29,00% e MgO de 15,7% a 20,9%.

Estas duas ocorrências minerais de calcários e a mina estão situadas no município de José de Freitas-PI, nas localidades de Mocambo, Jenipapo e Fazenda Esperança, respectivamente.

A composição química dos calcários da fazenda Esperança apresentou relação MgO/CaO = 0,65% e fatores de conversão de 72,22% de CaCO₃ e 43,04% de MgCO₃, respectivamente, sendo classificados como calcários dolomíticos.

Os calcários dolomíticos estão onerados e são objeto de requerimentos de pesquisa mineral e de lavra realizada pela Companhia de Desenvolvimento do Piauí – COMDEPI, pelo Sr. Romildo Nogueira e pelo Sr. T.R. Carvalho.

Esses depósitos estão relacionados à seção superior da Formação Piauí, em forma tabular e intercalados com silitos e argilitos avermelhados, e folhelhos.

Eles apresentam dois aspectos litológicos bem marcantes: um de coloração vermelha, com fraturas preenchidas por calcita recristalizada, e o outro, cinza-escuro, quase sem a presença da calcita.

Estudos de pesquisa de detalhe realizados pela COMDEPI revelaram que os calcários ocorrem em várias camadas de forma lenticular e que não foi possível, ao nível dos trabalhos desenvolvidos, calcular com precisão a extensão lateral do corpo mineralizado, bem como sua espessura vertical.

Tabela 4.1 – Composição química dos calcários.

Referência	RI	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	P ₂ O ₅	Perda ao Fogo
019	0,54	0,40	0,05	0,07	0,05	55,1	0,30	0,36	43,3
021	2,10	1,40	0,24	0,16	0,05	29,9	21,30	0,36	45,8

Tabela 4.2 – Composição química.

Referência	RI	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	P ₂ O ₅	Perda ao Fogo
026	2,90	2,30	0,94	1,00	0,10	29,00	20,90	0,01	45,3
027	24,80	24,70	0,94	0,79	0,05	23,30	16,40	0,35	32,7
029	3,90	11,50	2,40	3,80	0,10	24,10	15,70	0,36	39,6

De acordo com os trabalhos de pesquisa na área, até o momento, foi bloqueada uma reserva medida de 297.450 toneladas de calcário dolomítico, utilizada como corretivo de solo na agricultura.

A COMDEPI possui, próximo à mina, uma usina de moagem de calcário dolomítico com capacidade instalada nominal de produção de 100 toneladas/dia.

A sua produção, nos últimos 5 anos foi de 46.700 toneladas, conforme tabela 4.3.

Toda a produção de calcário dolomítico é vendida para aplicação na agricultura, na calagem dos solos, sendo os principais consumidores: Companhia Vale do Parnaíba – CONVAP, Central Agrícola Nova Era – CANEL, Confiança Agroindustrial Ltda. e Agroindústria Alto da Ilha.

Na fazenda Mocambo, intercalados entre folhelhos e arenitos, ocorrem calcários fossilíferos, com braquiópodes e lamelibrânquios, de origem marinha. A análise química apresentou a razão MgO/CaO igual a 0,72%, com fatores de conversão de 51,79% de CaCO₃ e 96,14% de MgCO₃, classificando-se como dolomito calcítico.

Atualmente, existe uma pequena lavra intermitente irregular na área, extraindo minério para a indústria de construção civil e de corretivo de solo, foto 20.

Tabela 4.3 – Calcário dolomítico.

Substância/Ano	Calcário Dolomítico (t)
1989	5.652
1990	12.050
1991	3.917
1992	13.420
1993	11.661
Total	46.700

Fonte: CONDEPI/DNPM.
(t) Unidade: Toneladas

A espessura média da camada é de 0,40m, aproximadamente.

Na localidade de Jenipapo, os calcários (ref. 027) apresentam-se estratiformes, maciços e são intercalados entre argilitos, folhelhos e arenitos. Foram coletadas amostras do minério maciço que, analisadas, apresentaram alto teor de MgO e razão MgO/CaO em torno de 0,70%, tratando-se de dolomitos calcíferos impuros.

A viabilidade econômica desses depósitos é altamente prejudicada pela grande espessura do capeamento, ausência de estrutura básica, difícil acesso às jazidas, longa distância entre as minas e os consumidores e baixo preço unitário da matéria-prima extraída.

As outras ocorrências de calcário da Folha Caxias, em Miguel Alves e Coelho Neto, servem apenas como registro de informação geológica, sem nenhum valor econômico imediato que mereça um estudo mais detalhado.

4.1.1.2 Argilas

Apesar da escassez e do pouco conhecimento da existência de recursos minerais na Folha Caxias, a argila representa matéria-prima importante e representativa para a região, denotando a sua vocação intrínseca para este bem mineral.

As argilas ocorrem em estratos, nos argilitos e folhelhos da Formação Motuca, nas aluviões dos diversos rios que drenam a região.

Não obstante constituírem-se de depósitos de diferentes ambientes deposicionais, os resultados analíticos diversos, oriundos de análises físico-químicas e mineralógicas, constataram pequena variação entre os mesmos elementos analisados, conforme tabela 4.4, levando a crer que as argilas tiveram a mesma origem.

Tabela 4.4 – Análises físico-químicas.

Nº de Referência	SiO ₂ %	Al ₂ O ₃ %	F ₂ O ₃ %	FeO%	TiO ₂ %	CaO%	MgO%	Na ₂ O%	KaO%	Pedra ao Fogo %	Umidade %
005	72,25	14,40	2,22	0,10	0,65	0,17	0,69	0,09	1,77	7,1	2,3
008	70,70	11,30	5,30	0,10	1,10	0,63	0,46	0,07	0,61	8,9	3,7
011	67,30	13,20	5,00	0,10	1,90	0,35	0,41	0,41	1,50	9,0	3,9
012	66,40	15,10	4,30	0,19	2,10	0,28	0,21	0,14	0,61	9,8	4,1
014	58,80	19,80	2,70	0,47	1,20	0,28	0,46	0,27	1,90	13,6	3,5
015	62,90	17,00	4,10	0,33	1,50	0,42	0,56	0,27	0,73	11,3	4,9
017	64,50	17,00	3,20	0,10	1,90	0,21	0,17	0,11	0,36	11,7	2,7
018	67,70	14,20	4,60	0,14	1,90	0,21	0,25	0,22	0,48	9,7	2,8

Na folha foram cadastradas onze cerâmicas mecanizadas de pequeno, médio e grande porte, com suas capacidades instaladas variando entre 15.000 a 1.500.000 tijolos/mês (fotos 21 e 22).

As principais cerâmicas estão localizadas nos municípios de Caxias e Coelho Neto, no estado do Maranhão; José de Freitas, Campo Maior e Barras no estado do Piauí. Destas, somente nove cerâmicas possuem Requerimento de Licenciamento, não possuindo, as demais, nenhum título mineral, comprovando situação irregular dessas áreas ante os órgãos competentes.

Dentre os principais produtos acabados, destacam-se os tijolos de 4 e 6 furos, lajotões, K-8, telhas coloniais, PM e combogós.

As características tecnológicas das argilas como: granulometria, cor de queima, refratariedade e plasticidade não foram determinadas e, portanto, não temos condições de fazer um diagnóstico mais abrangente sobre o uso e as suas aplicações industriais diversas.

Devido às características especiais e o modo de ocorrência das argilas da Formação Motuca, recomenda-se que seja feito um estudo detalhado dos inúmeros depósitos existentes, visando sua utilização e emprego para fins mais nobres.

4.1.1.3 Pedras de Revestimentos

São materiais rochosos utilizados na sua forma bruta e toscamente aparelhados, de uso na construção civil, com comércio localizado e de pouca expressão.

Freqüentemente sua exploração é feita na base da pá e picareta, constituindo uma atividade extrativa rudimentar e artesanal.

Em Campo Maior-PI, bairro Santa Rita (foto 23), há uma lavra irregular de pedras de revestimento

ocorrendo em turbiditos distais da Formação Longá, com microfraturas, algumas vezes preenchidas com pirita cristalizada, representados predominantemente por siltitos e arenitos. Toda a produção é comercializada na região de Campo Maior e Teresina, para revestimentos de piso de casas e cercas.

Em Batalha de Cima, situada 5km a sul de Barras, há uma extração irregular de placas de arenitos argilosos da Formação Longá, utilizados como peças de decoração para revestimento das casas da região de Barras e Batalha.

4.1.1.4 Ametista e Quartzo

As ocorrências de ametista e quartzo (leitoso e hialino) situam-se na região norte da Folha Caxias, mais precisamente nos municípios de Batalha e Miguel Alves, no Piauí. Foram cadastradas quatro ocorrências minerais, sendo duas de ametista e duas de quartzo, todas pertencentes aos domínios das formações Longá e Poti.

Ocorrem em camadas de rochas areníticas de granulometria fina a muito fina, às vezes silicificadas e fraturadas, com níveis argilosos avermelhados e roxos, micáceos, apresentando fraturas preenchidas por drusas de quartzo e ametista, em bolsões, através de processos hidrotermais.

As ametistas são de cor levemente arroxeadas, de baixa qualidade, servindo tão somente para fazer cabochão e rola-rola, e as drusas, como peça decorativa e/ou ornamental.

Nas localidades de Mata do Veado e Porco, aproximadamente 5 e 7km, respectivamente, ao sul de Batalha, ocorrem garimpos de ametista, intermitentes, em exploração a céu aberto, em forma de cava.

A produção e comercialização são difíceis de mensurar, tendo em vista que os garimpos são traba-

lhados por falcadores provenientes de outros estados, enviando toda a produção para o sul do país.

Na localidade de Mocambo, a 2,5km após o entroncamento do povoado de Lembrança em direção a Barras, ocorrem arenitos amarelados muito consistentes, fraturados, silicificados, de granulometria fina a média, friáveis, com processo de alteração ferruginosa bastante acentuada, contendo cristais e pequenos veios de quartzo leitoso, às vezes hialino, oriundos também de processos hidrotermais.

O quartzo ornamental e cristalino, drusas e pontas servem como objeto para decoração e confecção de bijouterias.

O quartzo hialino e leitoso, por suas propriedades óticas e industriais, são utilizados na indústria de alta tecnologia, na indústria de transformação, em agregados e na construção civil.

4.1.2 Mineral Metálico Industrial

4.1.2.1 Pirita

As ocorrências de pirita na Bacia do Parnaíba, apesar de terem despertado certo interesse econômico por parte de mineradores, até o presente momento, nenhum estudo de detalhe e sistemático foi realizado nos vários ambientes geológicos propícios às mineralizações sulfetadas, visando a possibilidade de depósitos lavráveis economicamente, para recuperação do enxofre.

Na Formação Longá, 6km ao sul da cidade de Campo Maior, no sopé da serra de Campo Maior, na faixa de contato com a Formação Poti, ocorre pirita (ref. 036) disseminada nos siltitos cinza micáceos, em cristais submilimétricos formando delgadas lentes de 2 a 5cm de espessura.

No povoado de Lembrança, na estrada de Barras a Miguel Alves (ref. 038), na Formação Poti, afloram arenitos creme-amarelados, finos, com microestratificação paralela, micromicáceos, argilosos, pouco friáveis, sobrepostos a siltito cinza-esverdeado, finamente laminado. A pirita apresenta-se sob a forma de cristais milimétricos disseminados nos siltitos.

Na margem do rio Surubim, na fazenda Nova (ref. 037), 5km a sudoeste de Campo Maior, ocorre nível descontínuo de pirita, aglomerado em cristais submilimétricos, com cerca de 3cm de espessura, em arenito creme-claro a esverdeado, fino, com aleitamento regular, micromicáceo e duro. Às vezes, a pirita ocorre disseminada em diminutos cristais esparsos.

Na base da Formação Poti (ref. 035), no sopé da serra de Campo Maior, 6,5km ao sul de Campo Maior, em arenito amarelado, fino, estratificado em

bancos, micromicáceo, duro, observa-se a pirita em cristais milimétricos, dispersa em nível de 5 a 10cm de espessura, disseminada e em parte concentrada em nódulos. As fraturas do arenito são preenchidas por opala e quartzo hialino.

Normalmente, a pirita apresenta-se em cristais milimétricos e submilimétricos, disseminada nos estratos, nos nódulos e nas laminações compactas e, os sedimentos nos quais ela aparece dispersa, são habitualmente clásticos, finos, descritos como folhelhos, siltitos e arenitos finos.

A faixa de contato Poti/Longá, na região sul de Campo Maior, apresenta-se como favorável a mineralizações piritosas, evidenciando uma zona altamente prospectiva para sulfetos nos estratos sedimentares.

4.1.3 Mineral Radioativo

Na Folha Caxias foram cadastrados indícios de ocorrências de urânio (anomalias radiométricas) situadas nos municípios de Coelho Neto e Campo Maior.

Na Formação Longá, próximo ao rio Jenipapo, na estrada Campo Maior-Castelo do Piauí, 20km a SW de Campo Maior, ocorre um siltito cinza-esverdeado, laminado, aspecto pintalgado, pouco duro, fosfático, com anomalia radiométrica de 300cps.

A ocorrência localizada no Hotel Ouro-Verde, em Coelho Neto, encontra-se em arenitos amarelados, muito finos, micromicáceos e argilosos, intercalados com siltitos amarelos bem laminados. Apresentam anomalia radiométrica de 300cps.

As anomalias radiométricas constatadas nesta folha não registraram nenhum valor acima do *background* regional para cada formação geológica, não despertando qualquer interesse prospectivo, por serem extremamente localizadas, pontuais e de baixo valor radiológico.

4.1.4 Minerais sem Importância Econômica

As demais ocorrências minerais constituem indícios e feições geológicas, susceptíveis de realização de trabalhos prospectivos e de investigação geológica, visando a ter um conhecimento mais aprofundado desses depósitos.

Assim, para se ter uma visualização mais completa e precisa dos parâmetros geoeconômicos da região, é mister que se faça um estudo mais consistente sobre o potencial mineral, bem como um estudo da demanda e do mercado, visando o abastecimento dos principais centros consumidores abrangidos pela Folha Caxias.

5

HIDROGEOLOGIA

5.1 Considerações Preliminares

O estudo hidrogeológico para o Programa Grande Carajás, segundo Araújo (1989), foi introduzido no Projeto Especial Mapas de Recursos Minerais, de Solos e de Vegetação, para a área do Programa Grande Carajás - Subprojeto Recursos Minerais – a partir da elaboração da Folha SA.23-Y-D – Santa Inês, em 1987, visando o zoneamento hidrogeológico na escala 1:250.000 e objetivando fornecer melhores subsídios a projetos que venham a ser implantados nesta região. Assim, as atividades tiveram seu início no levantamento e análise bibliográfica, quando foram elaboradas: uma Carta Geológica Compilada Preliminar (obra básica: Projeto Estudo Global dos Recursos Minerais da Bacia Sedimentar do Parnaíba, integração geológico-metalogenética, Lima, 1978) e uma Agenda das Empresas e/ou Entidades (CAEMA, PROÁGUA, AGUATER, CIDAPI, DNOCS, HIDROLIVRE, GEOPOÇOS etc) que atuam na pesquisa e exploração de águas subterrâneas no contexto da região estudada.

De posse dos dados coletados nestas empresas e dos informes constantes no Inventário Hidrogeológico Básico do Nordeste-Folha 8:Teresina-NE (Leal,1977), foi elaborado um Catálogo de Inventá-

rio Hidrogeológico Básico contendo os dados disponíveis à caracterização dos pontos de água e, finalmente, consolidação e integração numa carta hidrogeológica e texto ilustrado de todos os informes coligidos.

5.2 A Carta Hidrogeológica

A carta hidrogeológica é constituída por um domínio principal (Folha SB.23-X-B), na escala de 1:250.000 (1,0° x 1,5°), e dois cartogramas nas margens laterais em escala menor, anexos à legenda.

O domínio principal encerra os dados geológicos e hidrogeológicos básicos, sendo marcado por uma superposição de símbolos, tramas e cores, com uma classificação dos aquíferos em zonas. A produtividade dos poços é representada pontualmente, com o tamanho do símbolo oscilando de acordo com a vazão, definida para um rebaixamento de nível de água de 25m.

Constam, também, as características físicas e hidrodinâmicas (nível estático, vazões etc) e químicas (resíduo seco). Os cartogramas exibem elementos relativos à qualidade das águas e as condições de exposição e vulnerabilidade natural dos aquíferos à poluição.

Na Carta Hidroquímica estão representados os pontos de água analisados e os parâmetros de dureza total, índice de troca de base (itb), taxa de adsorção de sódio (SAR), as relações de rMg/rCa , $rCl/rHCO_3$ e rSO_4/rCl , tipos químicos e pH, além da concentração de sais (RS), em isolinhas.

As condições das áreas de exposição dos aquíferos foram definidas levando-se em conta fatores como litologia e relevo.

Na avaliação da vulnerabilidade natural dos sistemas aquíferos considerou-se o modo de ocorrência das águas subterrâneas (relacionadas a aquíferos confinados, semiconfinados e livres), os tamanhos dos grãos, os litótipos e as profundidades. Foi atribuído, a cada parâmetro, um fator numérico variando de 0 a 1 (um), de acordo com o "Sistema DIOS para a Avaliação do Índice de Vulnerabilidade do Aquífero" (Foster, 1991).

5.3 Características Hidrogeológicas

A área é constituída, em toda a sua extensão, por rochas sedimentares pertencentes à Bacia Sedimentar do Parnaíba que compõem sistemas aquíferos multicamadas, condicionados pelos sedimentos aflorantes e de ocorrência em profundidades.

Constam no Inventário Hidrogeológico Final 597 pontos de água, sendo 554 (93%) poços tubulares, dos quais três encontram-se abandonados, e 43 (7%) escavados. Considerando o número de poços cadastrados e a área da folha (18.481km^2), a densidade média é de um poço por cada 31km^2 , ressaltando-se a distribuição aleatória das obras de captação. A área de concentração maior (88%) localiza-se no estado do Piauí (porção leste), entre o rio Parnaíba e o meridiano de $42^\circ 00'$.

Hidrogeologicamente, o principal potencial aquífero é representado pelas formações Cabeças, Poti e Piauí. As demais formações aflorantes – Longá, Pedra de Fogo, Motuca, Corda e Itapecuru – apresentam-se como fontes alternativas de captação de água subterrânea. Constituem-se, também, como de boas perspectivas, as aluviões dos rios Parnaíba e Itapecuru. Como de fraca a nula potencialidade, encontram-se os sedimentos detríticos e/ou lateríticos situados em platôs.

As figuras 5.1 e 5.2 mostram as principais características dos poços tubulares existentes na área, além de pH, e na tabela 5.1 constam os valores médios da moda, máximos e mínimos.

Para um melhor critério e aproveitamento dos aquíferos da bacia, foi elaborada a tabela 5.2, a

partir dos mapas de isópacas das unidades sobrepostas constantes no trabalho de Caputo (1984). Nesta tabela são identificadas, pontualmente, as espessuras de cada formação, profundidade dos principais aquíferos e o topo do embasamento.

Na tabela 5.3 estão representadas, resumidamente, as características hidrogeológicas das diversas unidades aflorantes e de subsuperfície que podem ser utilizadas para captação de água subterrânea.

Com base nos dados acima expostos, foram individualizadas três zonas para captação de água subterrânea:

Zona 1 – congrega as formações que apresentam uma elevada permeabilidade e grande potencialidade hídrica subterrânea, correspondentes aos aquíferos livres, de aproximadamente 6.545km^2 de área aflorante, das formações Cabeças, Poti e Piauí; é indicada para poços com profundidades entre 60 e 350m e vazões de 10 a $70\text{m}^3/\text{h}$, recomendada para empreendimentos de grande porte, onde sejam requeridas maiores demandas de água subterrânea.

Zona 2 – apresenta litótipos com baixa permeabilidade e fraca potencialidade, correspondendo a 8.068km^2 de áreas aflorantes das formações Longá, Pedra de Fogo, Motuca, Corda, Itapecuru e as aluviões; é indicada para poços com profundidades entre 50 e 80m e vazões de 3 a $10\text{m}^3/\text{h}$, recomendada para implantação de pequenos empreendimentos, onde a demanda de água subterrânea seja pequena; as aluviões podem ser aproveitadas para poços tubulares rasos e poços escavados de grande diâmetro.

Sotopostos a esta zona, localizam-se aquíferos semiconfinados a confinados, constituídos pelas formações Cabeças, Poti e Piauí, que podem ser captados por poços com profundidade variando entre 80 e 330m, no sentido de leste para oeste, e que fornecem vazões superiores a $10\text{m}^3/\text{h}$, recomendadas para empreendimentos de grande porte, onde sejam requeridas maiores demandas de água subterrânea.

Zona 3 – área de predominância de platôs, representados por sedimentos detríticos e/ou lateríticos, com aproximadamente 3.851km^2 , recomendada para poços escavados de grandes diâmetros. Sotopostos a esses sedimentos, localizam-se diferentes formações aquíferas enquadradas nas zonas 1 e 2, já caracterizadas anteriormente.

5.3.1 Aquífero Cabeças

A Formação Cabeças – Dc, aflora na porção leste superior da área (585km^2), com espessura média de 250m (tabela 5.2).

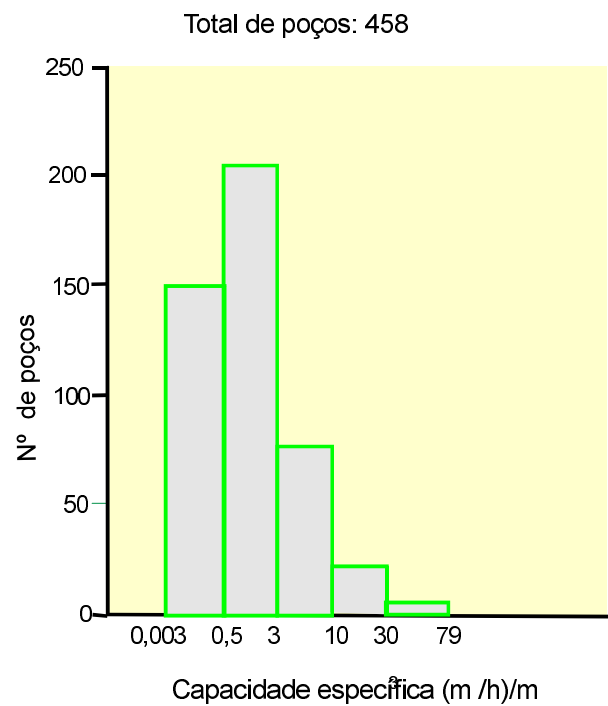
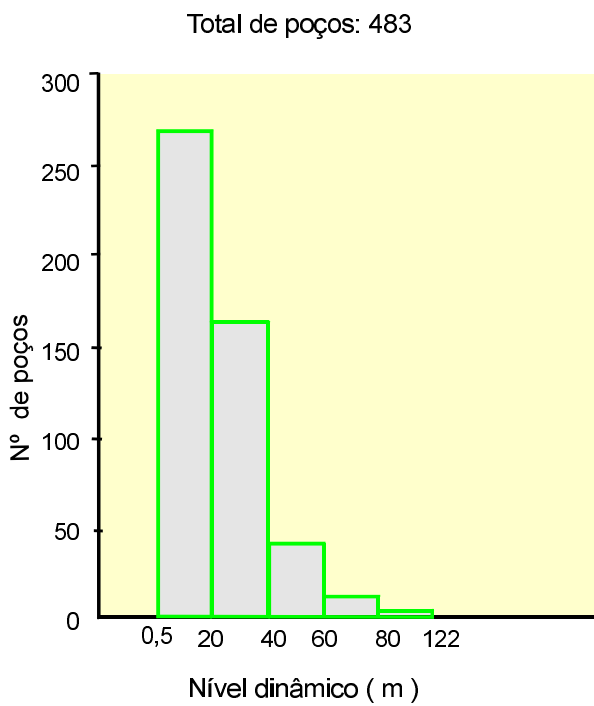
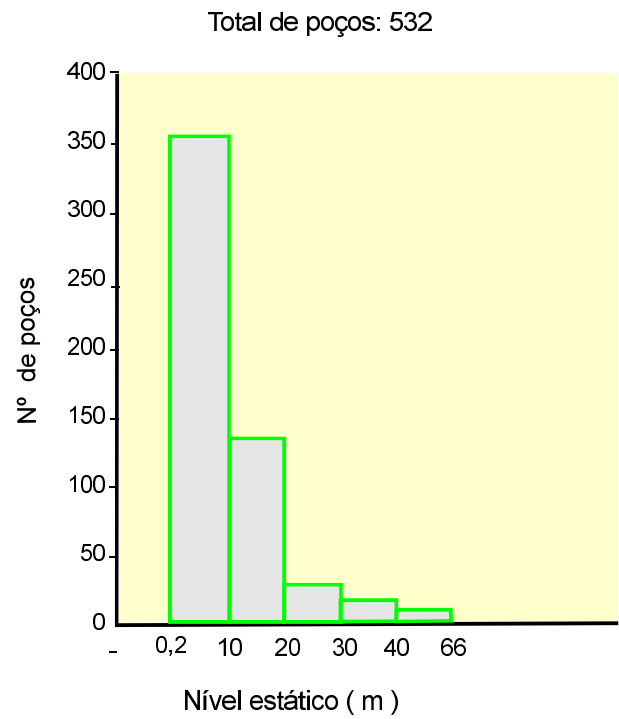
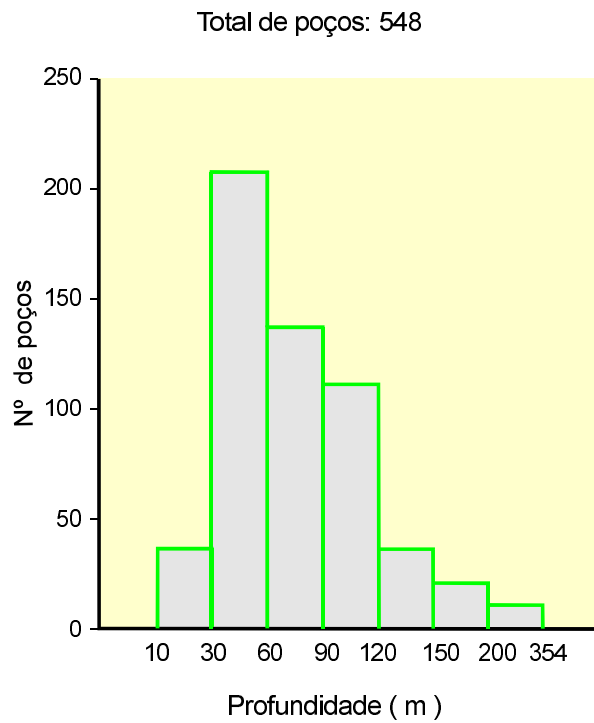


Figura 5.1 – Características dos poços tubulares. Folha SB.23-X-B – Caxias.

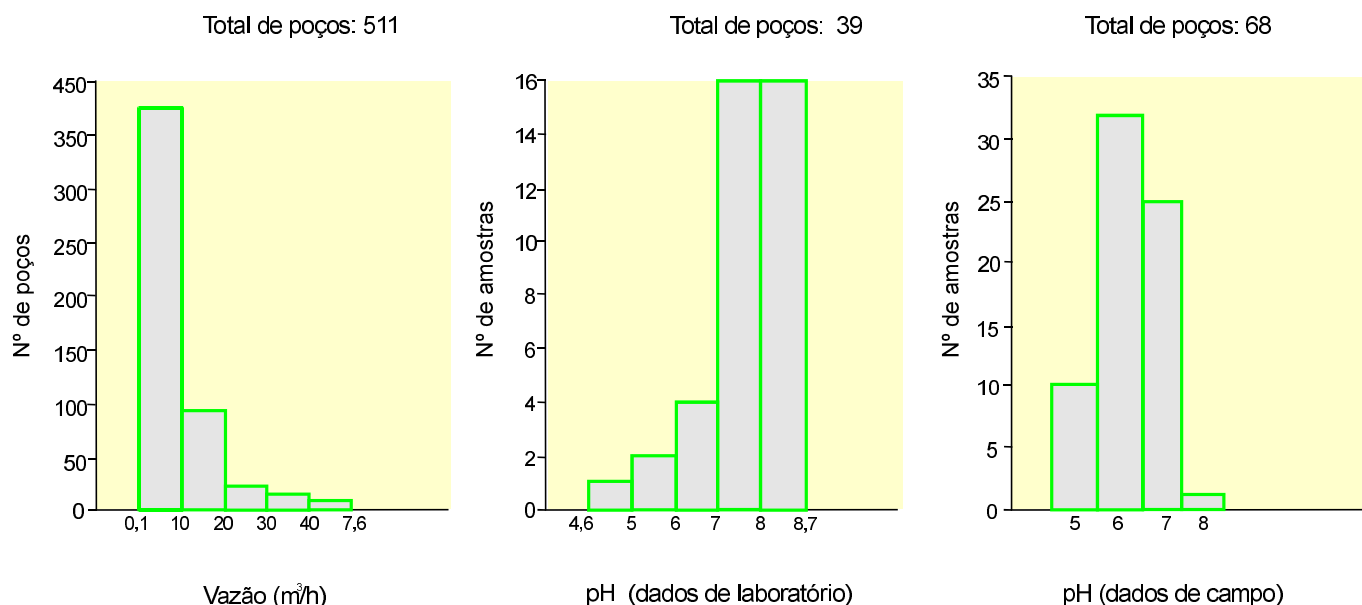


Figura 5.2 – Características dos poços tubulares e pH. Folha SB.23-X-B Caxias.

Tabela 5.1 – Características dos poços tubulares e parâmetros físico-químicos.

CARACTERÍSTICAS	PROF. (m)	NE (m)	ND (m)	VAZÃO (m³/h)	CAPAC. ESPECÍF. (m³/h)/m	RESÍDUO SECO (mg/l)	COND. ELÉT. (µS/cm) (a 25°C)	pH (lab.)	pH (cp.)
MÉDIA*	48,17 (449)	6,34 (354)	12,30 (428)	5,79 (374)	1,451 (354)	219 (60)	534 (58)	7,94 (32)	6,44 (57)
MÁXIMO	354,00	66,00	128,00	76,00	79,00	4.268	9.357	8,70	8,00
MÍNIMO	10,00	0,22	0,50	0,10	0,003	46	27	4,60	5,00
NÚMERO DE POÇOS	548	532	483	511	458	68	108	39	68

PROF.: Profundidade

NE: Nível estático

ND: Nível dinâmico

CAPAC. ESPECÍF.: Capacidade específica

COND. ELÉT.: Condutividade elétrica

lab.: Laboratório

cp.: Campo

*: Média das classes de maior frequência

(60): N° de dados utilizados para cálculo da média.

Tabela 5.2 – Espessura pontual dos aquíferos da Bacia do Parnaíba, segundo mapas de isópacas de Caputo (1984) (m).

Aquífero \ Furo	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12
Itapecuru	100	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0
Codó	80	0	0	0	50	25	0	0	30	10	0	0
Cordeira	0	0	0	0	0	0	0	0	40	0	0	0
Pedra de Fogo	130	100	0	0	140	100	0	0	130	90	0	0
Piauí	140	50	0	0	170	100	0	0	190	160	100	0
Poti	180	150	100	0	250	200	150	100	270	230	180	130
Longá	10	40	50	100	50	100	120	90	110	100	120	150
Cabeças	160	180	220	250	180	235	270	300	250	290	330	350
Pimenteiras	320	320	320	320	350	350	350	350	330	330	320	320
Serra Grande	450	470	520	550	480	520	570	620	520	550	590	680
Topo Embasamento	1.570	1.300	1.210	1.250	1.680	1.630	1.460	1.460	1.870	1.760	1.320	1.630

Profundidade dos principais aquíferos na folha (m).

Piauí	310	100	0	0	200	125	0	0	200	100	0	0
Poti	450	150	0	0	370	225	0	0	390	260	100	0
Cabeças	460	340	150	100	420	525	270	190	770	590	400	280

Tabela 5.3 – Características hidrogeológicas das formações.

PERÍODO	FORMAÇÃO	CONSTITUIÇÃO LITOLÓGICA	CARACTERÍSTICAS HIDROGEOLÓGICAS
QUATERNÁRIO	ALUVIÕES	Siltos, areias e cascalhos.	Permeabilidade média a alta. Recarga direta dos rios e chuvas. Bom para poços de grandes diâmetros e tubulares rasos.
TERCIÁRIO	SEDIMENTOS DETRÍTICOS E/OU LATERÍTICOS	Lateritas, arenitos e argilitos.	Permeabilidade baixa a média. Tem função de realimentar o aquífero subjacente. Recomendado para poços escavados de grandes diâmetros.
CRETÁCEO	ITAPECURU	Siltitos, argilitos e arenitos; lateritas	Permeabilidade baixa, com recarga através de infiltração direta das chuvas.
JURÁSSICO	SARDINHA	Diabásio	Permeabilidade de fraturas.
	CORDEIRA	Arenitos finos a médios.	Permeabilidade média, recarga direta das chuvas e dos rios.
PERMIANO	MOTUCA	Folhelhos e arenitos. Calcários e corpos de gipsita.	Pouco permeável, recarga através da chuva. Potencialidade hídrica fraca.
	PEDRA DE FOGO	Arenito fino intercalado com siltitos e folhelhos calcíferos.	Pouco permeável; potencialidade hídrica fraca.
CARBONÍFERO	POTI / PIAUÍ	Arenitos finos a médios, com intercalações de siltitos e argilitos.	Constituem um sistema aquífero de potencialidade elevada. Permeabilidade média a alta. Alimentação direta das chuvas.
DEVONIANO	LONGÁ	Superposição de folhelhos e arenitos; siltitos e argilitos.	Pouco permeável. Potencialidade hídrica fraca.
	CABEÇAS	Arenitos médios a grosseiros, micáceos, conglomeráticos, mal classificados.	Excelente aquífero, permeabilidade alta e ótima potencialidade para armazenamento e captação de água subterrânea. Atende a demanda de grandes vazões.

Seus litótipos são arenitos médios a grossos, algo conglomeráticos e micáceos.

As características litológicas da formação permitem classificá-la como de boa permeabilidade e porosidade, constituindo um ótimo aquífero, de boa potencialidade hídrica. Sua recarga é realizada pelas águas da chuva nas áreas aflorantes, tendo somente a evapotranspiração como exutório.

Foram identificados 150 poços tubulares (30%) que exploram água dessa formação, com as seguintes características:

	MÉDIA	MÁXIMO	MÍNIMO
Profundidade (m)	70,00 (149)	243,79	10,00
NE (m)	9,47 (147)	39,40	0,70
ND (m)	24,35 (137)	92,00	3,00
Vazão (m ³ /h)	10,00 (144)	76,00	0,10
Capacidade Específica (m ³ /h)/m	2,665 (129)	45,970	0,003

(149) N° de dados para o cálculo da média.

Mais de 67% desses poços apresentam valores de vazão acima de 10m³/h.

As características hidrodinâmicas dessa formação, citadas por Cruz (1969) (*in* Leal, 1977) para a localidade de Lameiro (Oeiras-PI), são representadas pelos seguintes valores médios:

$$T = 1,31 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$K = 7,0 \times 10^{-6} \text{ m/s}$$

$$S = 5,9 \times 10^{-4}$$

5.3.2 Aquífero Longá

A Formação Longá – DCI, aflora por toda a porção leste da folha, de norte a sul. A área de ocorrência cobre cerca de 2.536km², correspondendo a 13,8% da área total. A sua espessura média é de 86m.

Constitui-se de folhelhos, siltitos, argilitos e arenitos finos. Devido a essas características é considerada um aquíclude, cuja função principal é confinar o Aquífero Cabeças (Leal, *op. cit.*).

Apresenta uma permeabilidade fraca e, conseqüentemente, uma baixa potencialidade hídrica. Possui pequena importância para exploração das águas subterrâneas, atendendo apenas a poços que se destinam a pequenas demandas.

Sua recarga é realizada pela pequena infiltração das águas da chuva e tem como exutórios o rio Longá e a evapotranspiração.

Foram cadastrados 33 poços tubulares e oito escavados. Os poços tubulares apresentam as seguintes características:

	MÉDIA	MÁXIMO	MÍNIMO
Profundidade (m)	44,15 (33)	77,00	23,00
NE (m)	8,70 (32)	13,30	4,50
ND (m)	14,90 (32)	25,00	7,00
Vazão (m ³ /h)	7,00 (30)	16,00	2,00
Capacidade Específica (m ³ /h)/m	1,900 (30)	7,500	0,114

(33) N° de dados para o cálculo da média.

5.3.3 Sistema Aquífero Poti-Piauí

A Formação Poti – Cpo₁ aflora na porção centro-leste da folha (2.842km²), localmente subjacente às Coberturas Terciárias, com espessura média de 176m. Devido a sua composição arenosa é considerada um bom aquífero, apresentando-se como uma boa alternativa para a captação de água.

A Formação Piauí aflora por toda a parte central da folha, distribuída espacialmente de norte a sul (3.118km²). Apresenta uma espessura média de 143m. Seu nível inferior, segundo Leal (*op. cit.*), é considerado um bom aquífero, entretanto a parte superior, constituída por siltitos, é uma zona pouco promissora.

A recarga desse sistema é realizada pela infiltração das águas da chuva, tendo somente a evapotranspiração como exutório.

Foram identificados 354 poços tubulares (70%) que exploram água dessas formações, com os valores apresentados no quadro a seguir (*).

Segundo Cruz (*in* Leal, *op. cit.*), as características hidrodinâmicas da Formação Poti, no município de Barras (PI), possuem os seguintes valores: T = 1,7 x 10⁻³ m²/s; K = 1,7 x 10⁻⁵ m/s.

Para a Formação Piauí, testes realizados nas cidades de Miguel Alves e Altos (PI) forneceram os seguintes valores médios: T = 1,7 x 10⁻³ m²/s; K = 5,1 x 10⁻⁶ m/s.

Baseado nesses dados, constitui-se, este sistema aquífero como de alta potencialidade hídrica para armazenamento e liberação de água subterrânea.

5.3.4 Aquífero Pedra de Fogo

A Formação Pedra de Fogo – Ppf, ocorre, descontinuamente, de norte a sul por toda parte central da área, margeando o rio Parnaíba, abrangendo

(*)	MÉDIA		MÁXIMO		MÍNIMO	
	POTI	PIAUÍ	POTI	PIAUÍ	POTI	PIAUÍ
Profundidade (m)	84,00 (136)	80,00 (217)	351,00	354,00	14,00	22,00
NE (m)	8,70 (132)	12,00 (216)	27,00	66,00	1,00	0,22
ND (m)	23,30 (112)	21,50 (200)	128,00	75,00	3,00	0,50
Vazão (m ³ /h)	9,62 (124)	10,31 (199)	72,00	45,00	0,20	1,29
Capacidade específica (m ³ /h)/m	2,977 (105)	3,121 (191)	27,990	40,000	0,010	0,070

(105) N° de dados para o cálculo da média.

1.556km², correspondente a 8,4% da folha, e apresentando uma espessura média de 115m.

Seus litótipos são arenitos finos a médios, intercalados com siltitos e folhelhos calcíferos. Seu caráter mais argiloso lhe confere uma baixa permeabilidade e fraca potencialidade hídrica.

Sua alimentação é através das águas das chuvas na área de afloramento. A evapotranspiração e o rio Parnaíba, se constituem nos principais exutórios.

Foram cadastrados quatro poços tubulares, com as seguintes características:

	MÉDIA	MÁXIMO	MÍNIMO
Profundidade (m)	142,25 (4)	154,00	111,00
NE (m)	6,63 (4)	13,00	1,80
ND (m)	52,31 (4)	44,70	60,40
Vazão (m ³ /h)	12,45 (4)	18,00	7,40
Capacidade Específica (m ³ /h)/m	0,266 (4)	0,402	0,156

(4) N° de dados para o cálculo da média.

Provavelmente, as elevadas vazões observadas para os poços cadastrados neste aquífero são oriundas dos aquíferos subjacentes, a exemplo dos aquíferos constituídos pelas formações Cabeças, Poti e Piauí, captados a profundidades superiores a 100m.

5.3.5 Aquitardo Motuca

A Formação Motuca – Pm aflora em pequenas áreas situadas no canto sudoeste da folha (8,4%), ocupando uma área de 1.560km².

Litologicamente, constitui-se de folhelhos, arenitos e calcários. Caracteriza-se como um meio pouco permeável, representando um aquitardo. No presente trabalho, não foram cadastrados poços tubulares desta unidade.

5.3.6 Aquífero Corda

Os sedimentos da Formação Corda – Jc, afloram a sudoeste da folha, ocupando aproximada-

mente 360km², correspondendo a 1,9% da área total.

São arenitos finos a médios, com níveis de siltitos e folhelhos no topo. Apresentam permeabilidade e potencialidade hídrica de fraca a média.

Sua recarga é realizada através da infiltração direta das águas da chuva. São exutórios, o rio Itapecuru, seus afluentes, a evapotranspiração e as infiltrações.

Nesse aquífero foram cadastrados nove poços escavados, além de 13 poços tubulares com as seguintes características:

	MÉDIA	MÁXIMO	MÍNIMO
Profundidade (m)	86,15 (13)	200,00	17,80
NE (m)	24,36 (5)	41,00	3,30
ND (m)	31,13 (5)	45,00	14,00
Vazão (m ³ /h)	6,15 (7)	12,96	0,72
Capacidade Específica (m ³ /h)/m	0,943 (5)	3,240	0,108

(13) N° de dados para o cálculo da média.

5.3.7 Formação Sardinha

A Formação Sardinha – Ks, situa-se na extremidade nordeste da área, com afloramentos de pequena expressão, abrangendo 18,75km².

Constituída por diabásio, apresenta uma fraca permeabilidade e, conseqüentemente, uma baixa potencialidade hídrica. Possui pequena importância para exploração das águas subterrâneas. Não existem dados hidrogeológicos pertinentes a esta unidade na folha estudada.

5.3.8 Aquífero Itapecuru

Os sedimentos aflorantes da Formação Itapecuru – Ki, ocupam as porções norte e noroeste da folha. A área é de, aproximadamente, 1.780km², correspondendo a 9,6% do total da folha estudada.

Sua espessura média situa-se em torno de 50m, ficando mais espessa a oeste, fora da área.

Constitui-se de argilitos arroxeados, com intercalações silíticas e arenosas. Apresenta uma baixa potencialidade hídrica, com reservas de água subterrânea apenas nos níveis arenosos. Sua alimentação é realizada pela infiltração das águas da chuva nas áreas aflorantes. A evapotranspiração, os rios e a infiltração para os aquíferos subjacentes são os exutórios.

Foram cadastrados somente três poços tubulares com as seguintes características:

	MÉDIA	MÁXIMO	MÍNIMO
Profundidade (m)	86,30 (3)	118,00	61,00
NE (m)	5,61 (3)	7,18	2,10
ND (m)	31,14 (2)	41,43	3,13
Vazão (m ³ /h)	11,00 (2)	18,00	3,13
Capacidade Específica (m ³ /h)/m	0,710 (2)	1,333	0,080

(3) Nº de dados para o cálculo da média.

As elevadas vazões observadas para os poços cadastrados neste aquífero, possivelmente são dos aquíferos subjacentes, a exemplo dos aquíferos constituídos pelas formações Cabeças, Poti e Piauí, captados a profundidades superiores a 100m. Corroborando a premissa, o único poço com profundidade inferior a 100m (nº 2 com 61m), fornece uma vazão de 3,2m³/h, compatível com as características hidrogeológicas do aquífero do item 5.3.8.

5.3.9 Coberturas Detríticas e/ou Lateríticas

As Coberturas do Terciário ocupam uma área aproximada de 3.865km² (20,9% da folha).

São representadas por lateritas, arenitos, argilitos e conglomerados. Possuem permeabilidade entre baixa e média e sua realimentação é realizada pela chuva. Os exutórios principais são a evapotranspiração, os rios e infiltrações para os aquíferos subjacentes. Podem ser muito bem aproveitadas por poços de grandes diâmetros.

Foram cadastrados sete poços escavados, com profundidades variando de 4,75 a 34,80m. A profundidade média é de 15,93m e nível estático médio de 6,82m.

5.3.10 Aluviões

As aluviões ocorrem com maior expressão nas planícies dos rios Parnaíba e Itapecuru, ocupando uma área aproximada de 276km² (1,5% da folha).

Constituem-se de areias, siltes e cascalhos, possuindo coeficientes de permeabilidade de médio a alto. Sua alimentação é constante, dada a contribuição direta dos rios e, também, através da chuva. Os exutórios são os rios e a evapotranspiração.

Formam ótimos reservatórios e podem ser explorados por poços de grandes diâmetros, tubulares rasos, ou através de poços coletores com ponteiros radiais.

5.4 Reservas de Água Subterrânea

Na determinação das reservas de águas subterrâneas, foram consideradas a pluviometria e as características dimensionais e hidrodinâmicas das formações aquíferas.

5.4.1 Volume Hídrico Precipitado

Para o cálculo dos volumes precipitados, considerou-se a precipitação média anual sobre cada área aflorante das formações, utilizando-se a seguinte expressão:

$$V_p = A \times P_e, \text{ onde,}$$

V_p = volume precipitado (m³/ano); A = área aflorante do aquífero (km²); P_e = precipitação média (mm/ano).

Os resultados obtidos encontram-se na tabela 5.4.

Tabela 5.4 – Volume hídrico precipitado.

Formação	Área aflorante (km ²)	Precipitação média anual (mm/ano)	Volume anual precipitado (m ³ /ano)
Aluviões	276	1.588	0,43 x 10 ⁹
Coberturas	3.865	1.650	6,37 x 10 ⁹
Itapecuru	1.780	1.604	2,85 x 10 ⁹
Corda	360	1.500	0,54 x 10 ⁹
Motuca	1.560	1.532	2,38 x 10 ⁹
Pedra de Fogo	1.556	1.635	2,54 x 10 ⁹
Piauí	3.118	1.554	4,84 x 10 ⁹
Poti	2.842	1.546	4,39 x 10 ⁹
Longá	2.536	1.500	3,83 x 10 ⁹
Cabeças	585	1.450	0,84 x 10 ⁹
Total			28,50 x 10 ⁹

Deve-se salientar que parte desse volume de água precipitado é perdido na evapotranspiração e no escoamento superficial.

5.4.2 Reservas Renováveis

Para o cálculo das reservas renováveis, considerou-se a porosidade efetiva e a precipitação média anual sobre cada área aflorante das formações, utilizando-se a seguinte expressão:

$R_r = A \times P_e \times \mu$, onde:

R_r = reserva renovável (m^3/ano);

A = área aflorante do aquífero (km^2);

P_e = precipitação média (mm/ano);

μ = porosidade efetiva.

Os resultados obtidos encontram-se na tabela 5.5.

Tabela 5.5 – Reservas renováveis.

Formação	Área aflorante (km^2)	Precipitação média anual (mm/ano)	Porosidade efetiva (μ)	Reserva renovável (m^3/ano)
Itapecuru	1.780	1.604	$2,8 \times 10^{-2}$	$79,8 \times 10^6$
Corda	360	1.500	$2,8 \times 10^{-3}$	$1,5 \times 10^6$
Piauí	3.118	1.554	$2,5 \times 10^{-2}$	$121,1 \times 10^6$
Poti	2.842	1.546	$2,8 \times 10^{-2}$	$123,0 \times 10^6$
Longá	2.536	1.500	$2,8 \times 10^{-3}$	$10,6 \times 10^6$
Cabeças	585	1.450	$3,2 \times 10^{-2}$	$27,1 \times 10^6$
Total				$363,1 \times 10^6$

5.4.3 Reservas Permanentes

Na obtenção do cálculo das reservas permanentes, foram considerados os volumes de água de saturação e das águas acumuladas sob pressão.

a) Volume de água de saturação

$V_s = A \times B \times \mu$, onde:

V_s = volume de água de saturação (m^3);

A = área aflorante do aquífero (km^2);

B = espessura média saturada (m);

μ = coeficiente de porosidade efetiva.

b) Volume de água sob pressão

$V_p = A_p \times h \times S$, onde:

V_p = volume de água sob pressão (m^3);

A_p = área do aquífero sob pressão (km^2);

h = carga hidráulica média (m);

S = coeficiente de armazenamento.

Os valores de μ e S foram extraídos de trabalhos anteriores, realizados na área por Leal (1977). Os resultados encontram-se na tabela 5.6.

5.5 Uso Atual e Condições de Exploração

O uso da água subterrânea na Folha Caxias, destina-se, principalmente, ao consumo humano; secundariamente, na atividade pecuária, na irrigação e pequena parcela na indústria.

Nas aluviões, a água é utilizada para o consumo humano e dos animais, sendo explotada através de poços rasos de grandes diâmetros ou tubulares rasos.

Nas Coberturas Terciárias, é utilizada para o consumo humano e animal através de poços rasos, ou ainda de poços tubulares que explotam águas do aquífero subjacente, com profundidade de 60 a 100m.

Na porção definida pelas formações Itapecuru, Motuca e Pedra de Fogo, seu uso é destinado ao consumo humano, animal, na irrigação e pequenas indústrias. As profundidades dos poços tubulares oscilam de 60 a 150m com vazão média de $11,00m^3/h$. São poços com diâmetros de 6 ou 8 polegadas, equipados com bombas submersas.

Na Formação Corda, a água subterrânea é explotada através de poços escavados e tubulares. O seu uso é destinado ao consumo humano, aos animais e às indústrias. Os poços tubulares são de 6 polegadas, com profundidade média de 86m e vazão de $6,00m^3/h$. São equipados com bombas submersas.

A Formação Cabeças e o Sistema Aquífero Poti-Piauí são os mais explotáveis, detendo a maior concentração de poços tubulares (84%). O uso da água é destinado para o consumo humano, pecuária, irrigação e indústrias. Os poços tubulares têm média de 78,00m e vazão média de $9,92 (m^3/h)$. Analisando esses dados, tem-se o rebaixamento médio de 3,39m, isto é, um rebaixamento pequeno para a coluna de água existente. Portanto, o índice de aproveitamento de grande parte desses poços poderia ser bem maior, apenas aumentando o rebaixamento.

5.6 Condições das Áreas de Exposição dos Sistemas Aquíferos

É de grande importância a delimitação das áreas de exposição dos aquíferos. As relações de contato das águas subterrâneas com o meio exterior irão influenciar seguramente no aproveitamento e preservação do potencial hídrico subterrâneo.

Crítérios como: relevo, que está diretamente relacionado com as condições de recarga/descarga; e constituição litológica, que relaciona-se com os graus de porosidade e permeabilidade, foram considerados quando da definição das áreas.

Tabela 5.6 – Reservas permanentes.

Aqüífero	Área (km ²)		Coeficiente		Água de Saturação			Água sob Pressão		Reservas Permanentes (x10 ⁹ m ³) (1) + (2)
	Água de saturação (livre)	Água sob pressão (confinada)	Porosidade efetiva (μ)	Armazenamento (S)	Espessura Saturada (m)	Volume de Rocha Saturada (x10 ⁹ m ³)	Volume de Rocha Saturada (x10 ⁹ m ³) (1)	Carga Hidráulica (m)	Volume de água sob pressão (x10 ⁹ m ³) (2)	
Itapecuru	1.780	–	2,8 x 10 ⁻²	–	50	89	2,40	–	–	2,40
Corda	360	–	2,8 x 10 ⁻³	–	25	9	0,02	–	–	0,02
Piauí	3.118	9.400	2,5 x 10 ⁻²	1,4 x 10 ⁻³	143	445	11,10	180	2,3	13,40
Poti	2.842	12.518	2,8 x 10 ⁻²	1,4 x 10 ⁻³	176	500	14,00	280	4,9	18,90
Longá	2.536	15.360	2,8 x 10 ⁻³	5,0 x 10 ⁻⁵	86	218	0,60	350	0,2	0,80
Cabeças	585	17.896	3,2 x 10 ⁻²	5,9 x 10 ⁻⁴	250	146	4,60	390	4,1	8,70
Total	–	–	–	–	–	1.407	32,72	–	11,5	44,22

A seguir, estão relacionadas as cinco áreas de condições de exposição dos aquíferos, determinadas para esta folha, apresentadas no mapa de encarte.

1) Área de recarga em aquífero de elevada a média permeabilidade:

Corresponde às aluviões e às áreas aflorantes das formações Cabeças, Poti, Piauí e Corda. Por serem constituídas, principalmente, de arenitos, formam grandes reservatórios de águas subterrâneas, que devem ser protegidos e preservados de cargas contaminantes.

2) Área de recarga em aquífero de baixa permeabilidade:

Abrange as áreas aflorantes das formações Pedra de Fogo, Motuca e Itapecuru; constituída de folhelhos calcíferos, calcários e arenitos, é uma área de importância local, por tratar-se de zona de recarga.

3) Área de recarga em Coberturas Detriticas e/ou Lateríticas:

Corresponde às Coberturas Terciárias, que constituem importante área de recarga para os aquíferos subjacentes.

4) Área de recarga em Coberturas Detriticas e/ou Lateríticas sobre aquíferos de elevada a média permeabilidade:

Corresponde às Coberturas Terciárias situadas na porção central da folha, recobrimdo parte das formações Poti e Piauí, constituindo importante área de recarga.

5) Área de rochas impermeáveis e pouco permeáveis:

Corresponde aos diabásios e folhelhos das formações Sardinha e Longá, respectivamente. Nessa área a infiltração é dificultada pelo caráter litoló-

gico, sendo difícil a assimilação de cargas contaminantes.

5.7 Vulnerabilidade Natural dos Aquíferos à Poluição

O termo vulnerabilidade à poluição é aplicado para representar um conjunto de características essenciais que determinam a maior ou menor facilidade de um aquífero vir a ser afetado por uma carga poluente.

Tomando por base a escala de vulnerabilidade elaborada por Foster (*op. cit.*), foram definidas quatro classes: alta, moderada, baixa e negligenciável, apresentadas no mapa de encarte.

a) Vulnerabilidade alta – abrange as áreas das aluviões e as formações Cabeças, Poti e Piauí. Nessa classe existe uma maior facilidade dos aquíferos virem a ser afetados por uma carga poluente, isto devido as suas características de boa permeabilidade e porosidade, possibilitando rápido acesso do poluente à zona de saturação.

b) Vulnerabilidade moderada – corresponde às formações Pedra de Fogo, Corda e Itapecuru. Nessa classe, o risco de contaminação existe moderadamente, considerando que a permeabilidade e a porosidade dos aquíferos são de média a baixa.

c) Vulnerabilidade baixa – abrange os sedimentos detriticos e/ou lateríticos, correspondentes às Coberturas Terciárias. O risco de contaminação ainda existe, mas é de menor possibilidade, devendo-se, entretanto, ressaltar que esses sedimentos têm função de aquíferos de transferência, ou seja, realimentam os aquíferos subjacentes, e, se forem poluídos, poderão comprometê-los.

d) Vulnerabilidade negligenciável – corresponde às formações Longá, Motuca e Sardinha. Nessa classe a vulnerabilidade é praticamente nula, devido a baixa permeabilidade e porosidade dos litótipos que poderão reter a carga contaminante, impossibilitando seu acesso aos aquíferos subjacentes.

5.8 Qualidade das Águas Subterrâneas

5.8.1 Generalidades

O conhecimento da composição química das águas é de grande importância, pois é determinante para sua utilização no uso doméstico, industrial, na agricultura e pecuária.

A caracterização química das águas foi realizada pela interpretação das análises físico-químicas, cálculo de relações iônicas e utilização de diagramas específicos, tais como: de Piper, Shoeller e Berkaloff, onde foram plotadas as concentrações dos elementos químicos envolvidos.

Esse estudo hidroquímico baseou-se em 35 análises levantadas através do cadastramento, e em 13 amostras coletadas em trabalhos de campo executados pelo projeto e analisadas no laboratório da Companhia de Água e Esgoto do Ceará–CAGECE.

As amostras foram coletadas diretamente na boca do poço, antes de cair no reservatório, condicionadas posteriormente em recipiente plástico, que era hermeticamente fechado e rotulado. Durante a etapa de campo, quando possível, foram realizadas medidas da condutividade elétrica (condutivímetro portátil), temperatura (termômetro de louça) e do pH (papel pH Fix 0-14 da Macherey-Nagel) das águas subterrâneas nos pontos cadastrados.

5.8.2 Composição Química

A seguir, são apresentados os dados hidroquímicos e tecidas algumas considerações sobre a composição química das águas subterrâneas, onde os valores médios citados são das classes de maior frequência.

Condutividade Elétrica

A condutividade elétrica é a capacidade que uma solução possui de conduzir corrente elétrica e resulta da soma das contribuições dos íons presentes, podendo ser utilizada para estimar o grau de

mineralização das águas na ausência de análises químicas (Logan, 1965 *in Cavalcante, 1990*).

Parte dos valores relacionados no catálogo foram determinados em campo (33%) e complementados com resultados de laboratório e do cadastro. Para as águas dos poços tubulares, o valor médio obtido de 108 medidas é 524 $\mu\text{S/cm}$ a 25°C, sendo o máximo e o mínimo de 9.357 e 27 $\mu\text{S/cm}$, respectivamente.

Nas formações Cabeças, Poti e Piauí, onde estão concentrados 94% dos dados, apresentam-se os seguintes valores em $\mu\text{S/cm}$:

	MÉDIA	MÁXIMO	MÍNIMO
Formação Piauí	474	5.000	200
Formação Poti	527	6.000	27
Formação Cabeças	523	1.233	50

Resíduo Seco

O resultado analítico das águas indica para o resíduo seco um valor médio de 219 mg/l, qualificando-as como de boa potabilidade. As águas provenientes dos poços tubulares das formações Piauí (82%), Poti (76%) e Cabeças (63%), apresentam valores inferiores a 500mg/l. Na tabela 5.7 observa-se que 64% das amostras apresentam valores de resíduo seco inferiores a 500mg/l, enquadrando-se nos padrões de qualidade de águas para abastecimento, segundo as Normas e Padrões Ambientais - Resolução CONAMA Nº 20/86 (*in* Compilação de Padrões Ambientais, 1990).

Tabela 5.7 – Distribuição de frequência dos resíduos secos.

Resíduo Seco (mg/l)	Nº de Amostras	Frequência (%)	
		Relativa	Acumulada
0 – 250	20	37,7	37,7
251 – 500	14	26,4	64,1
501 – 1.000	16	30,2	94,3
> – 1.000	03	5,7	100,0
Total	53	100,0	–

pH

O pH (potencial do íon hidrogênio) representa a força de um ácido ou de uma base, sendo expressa

em moles de íons de hidrogênio por litro de solução, variando de 0 a 14 (Suguio,1992).

Os dados de campo mostram que o valor médio de pH das águas é de 6,44, demonstrando um caráter levemente ácido. Os valores obtidos em laboratório apresentam média de 7,94, identificando um caráter ligeiramente alcalino. No universo de 107 poços, 57% apresentam pH entre 6 e 7, e 30% têm valores superiores a 7, e o restante (13%) detém valores inferiores a 6.

Os valores de pH, por formações geológicas com mais amostras analisadas, estão apresentados na tabela 5.8.

Tabela 5.8 – Valores de pH por formações geológicas.

pH	Formações (%)		
	Piauí (36)	Poti (32)	Cabeças (28)
< 7	25,0	46,6	64,2
7	41,6	28,1	25,0
> 7	33,3	25,0	10,7
Caráter predominante	Neutro	Ácido	Ácido

(36) Nº de dados utilizados para o cálculo de (%).

Dureza

A dureza total é uma medida da concentração de cálcio e magnésio. Segundo a classificação de Klut Olszewski (quadro 5.1 *in* Lima,1993) as águas dos poços localizados na porção oeste da folha, onde situam-se as formações Itapecuru, Motuca e Pedra de Fogo, oscilam de “muito moles” a “moles”, pois apresentam valores abaixo de 120mg/l de CaCO₃. Em setores localizados, nas porções norte e nordeste, aparecem poços com águas “muito duras”, com valores maiores que 200mg/l de CaCO₃. O valor médio da dureza para 36 amostras é 13,98mg/l de CaCO₃, sendo que 66,6% são classificadas como “muito moles” a “moles”; 8,4% são águas “algo duras” e 25 % são “muito duras”.

Quadro 5.1 – Classificação de Dureza (Klut Olszewski).

Dureza (°F) (1°F = 10mg/l de CaCO ₃)	Tipo de Água
0 – 7	“muito mole”
7 – 12	“mole”
12 – 20	“algo dura”
> 20	“muito dura”

Relações Hidrogeoquímicas

As relações entre os íons dissolvidos numa água podem retratar o tipo de terreno do qual ela provém. Na tabela 5.9 encontra-se o valor médio de cada relação referente a 32 análises, demonstrando que as águas subterrâneas da área estudada são de origem continental.

Tabela 5.9 – Relações hidroquímicas.

Relações	Valor Médio	Características
$\frac{rCl - r(Na + K)}{rCl}$	- 1,63	Terrenos continentais
rMg / rCa	1,17	Terrenos continentais
rCl / rHCO ₃	1,90	Terrenos continentais
rSO ₄ / rCl	0,45	Terrenos continentais

5.8.3 Fácies Hidroquímicas

Na determinação das fácies químicas das águas foi utilizado o Diagrama de Piper, procurando-se definir as diferentes classes e tipos predominantes de águas existentes nos sistemas aquíferos da região.

Inicialmente se procedeu à análise das amostras através do cálculo do balanço iônico, onde foi considerado um erro máximo de 10%, para se verificar a validade das análises.

As vinte e oito amostras analisadas foram agrupadas de acordo com a formação explorada, a exemplo das formações Cabeças, Poti, Piauí, Itapecuru e Corda, como mostra o diagrama de Piper (figura 5.3).

No âmbito da Folha Caxias existe uma predominância das águas bicarbonatadas (64,3%) seguidas pelas cloretadas (28,5%), como é exposto na tabela 5.10.

Águas Bicarbonatadas

Foram consideradas as águas onde as concentrações de CO₃+HCO₃ são iguais ou superiores a 50% do total, e elas representam 64,3%. Nesta classe, predominam as sódicas com 50%, seguidas pelas mistas (33%) e magnesianas (17%).

Trata-se de águas captadas por poços tubulares, das formações Cabeças, Poti e Piauí. Os valores médios de resíduo seco e pH são de 301mg/l e 7,91, respectivamente. Quanto à dureza, 14 (73%) amostras são classificadas como “moles” a “muito moles”; 3 (15%) “algo duras” e 2 (10%) “muito duras”.

Tabela 5.10 – Fácies químicas das águas subterrâneas.

Fácies Químicas	Nº do Poço	Nº de Amostras	Frequência Relativa (%)
Águas Bicarbonatadas		18	64,3
a – Sódica	93, 141, 155, 196, 203, 347, 350, 359 e 469	09	32,2
b – Mista	29, 53, 360, 372, 402 e 473	06	21,4
c – Magnesiana	65, 417 e 593	03	10,7
Águas Cloretadas		08	28,5
a – Sódica	137, 150, 586 e 587	04	14,2
b – Mista	58, 187, 280 e 480	04	14,2
Águas Mistas		02	7,2
a – Sódica	02 e 446	02	7,2
Total		28	100,0

Águas Cloretadas

Foram consideradas as águas com predominância igual ou superior a 50% do ânion cloreto sobre os demais, e representam 28,5%. Neste tipo não existe predominância catiônica, com as sódicas e as mistas detendo a representatividade. São águas de poços tubulares provenientes das formações Cabeças, Poti, Piauí e Corda.

O resíduo seco médio é de 741mg/l e, quanto à dureza 40% são classificadas como “muito moles” a “moles”, 20% “algo duras” e o restante “muito duras”. O pH médio é de 7,34.

Águas Mistas

São águas situadas na parte central dos diagramas triangulares, por não apresentarem concentração superior a de um ânion qualquer sobre os demais. Elas constituem 7,2% das amostras analisadas, com representatividade para as sódicas.

O resíduo seco tem média de 280mg/l, pH de 7,61 e os valores de dureza revelam águas “moles” a “muito moles”.

5.8.4 Potabilidade das Águas

A determinação do grau de potabilidade de uma água para o uso do homem é medida através de

suas características físicas, químicas e bacteriológicas.

Neste trabalho não foram efetuadas análises bacteriológicas. Para a avaliação da potabilidade das águas foram utilizados os padrões do Ministério da Saúde e da Organização Mundial da Saúde (quadro 5.2 - *in* Compilação de Padrões Ambientais, 1990). Quanto ao método de avaliação e comparação dos resultados, as amostras das formações Poti, Piauí e Cabeças foram agrupadas em um só diagrama de análise de água (diagrama logaritmico de Scholler & Berkloff – figura 5.4), onde se pode observar as áreas de concentração das amostras para cada formação.

Quadro 5.2 – Padrões de potabilidade (valores em mg/l).

Parâmetros	Ministério da Saúde portaria nº 36	Organização Mundial da Saúde – OMS
Sabor	Não objetável	inofensivo
Resíduo seco	1.000	1.000
Na	–	200
Cl	250	250
SO ₄	400	400

As quatro amostras da Formação Cabeças estão enquadradas na faixa de potabilidade permanentemente boa, apenas com a amostra de nº 347 apresentando uma concentração de HCO₃ acima do normal (354mg/l) porém, não ao ponto de tornar-se imprópria para o consumo humano. As dez amostras da Formação Poti estão enquadradas como de potabilidade permanentemente boa e, apenas uma amostra (nº 150) apresenta valores de pH, Cl, Na e dureza que, excedendo o limite, atinge as faixas de potabilidade permanentemente passável a má. Para a Formação Piauí, as onze amostras situam-se na faixa de potabilidade permanentemente boa a passável.

5.8.5 Qualidade das Águas para Irrigação e Consumo Animal

Para a utilização da água subterrânea na irrigação é preciso considerar vários fatores, tais como a salinidade da água, tipo de solo, de cultura e de drenagem.

O diagrama utilizado para a classificação das águas foi o do U.S. Salinity Laboratory (figura 5.5), o qual consta de um gráfico semi-logaritmico, onde

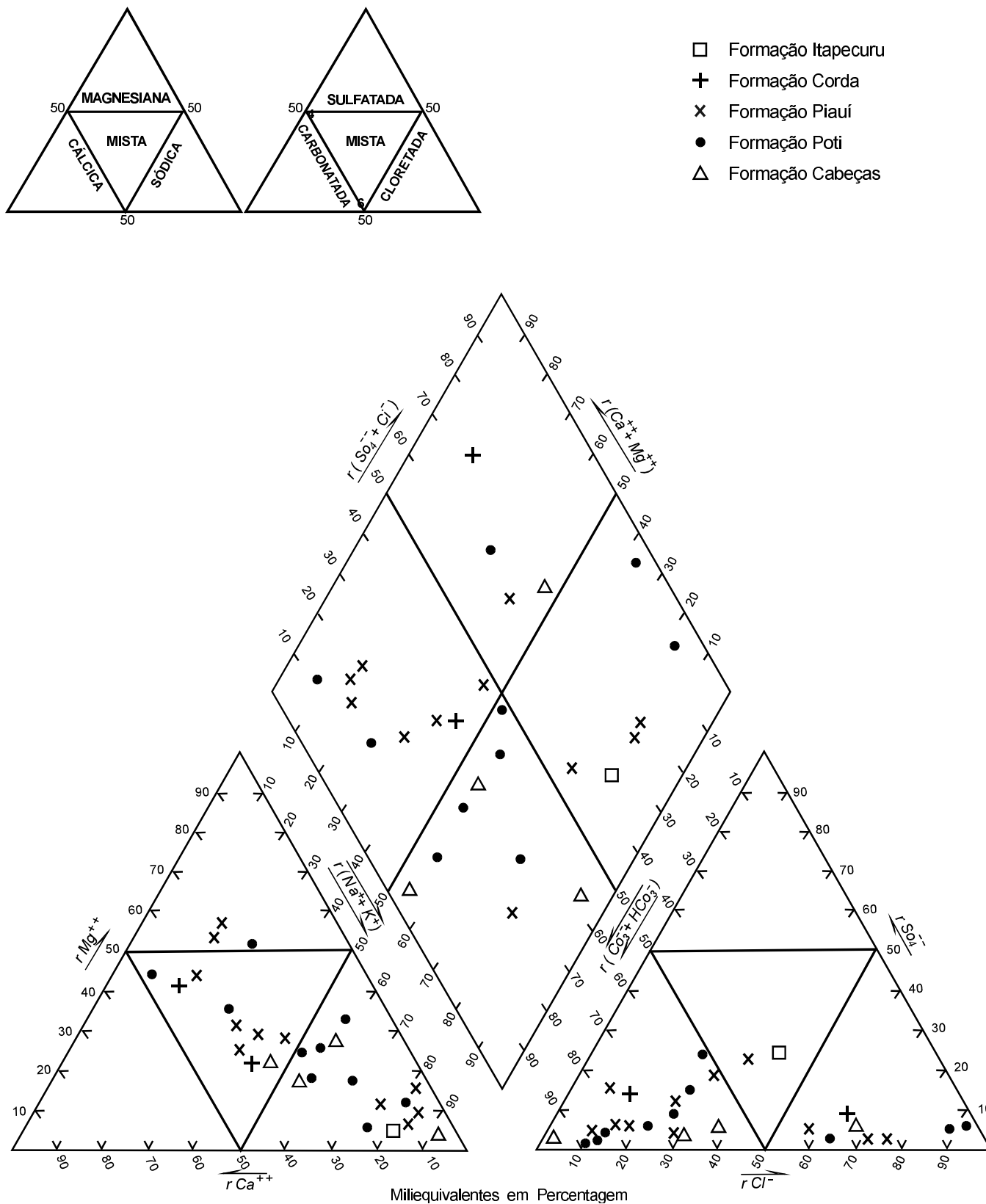


Figura 5.3 – Diagrama de Piper – Fácies hidroquímicas das águas subterrâneas. Folha SB.23-X-B – Caxias.

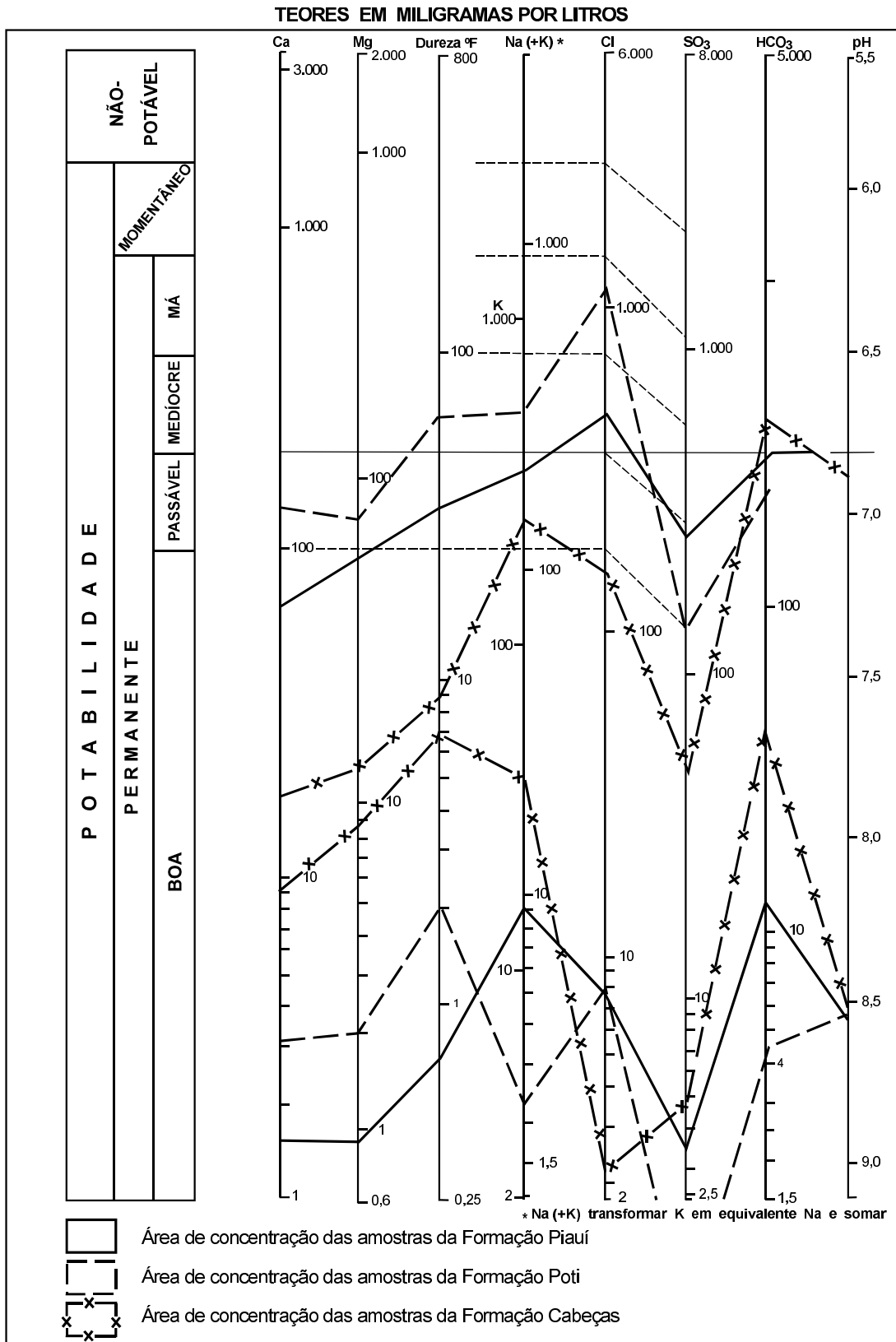


Figura 5.4 – Diagrama de análises d' água, de Shoeller & Berkloff (modificado).
Folha SB.23-X-B – Caxias.

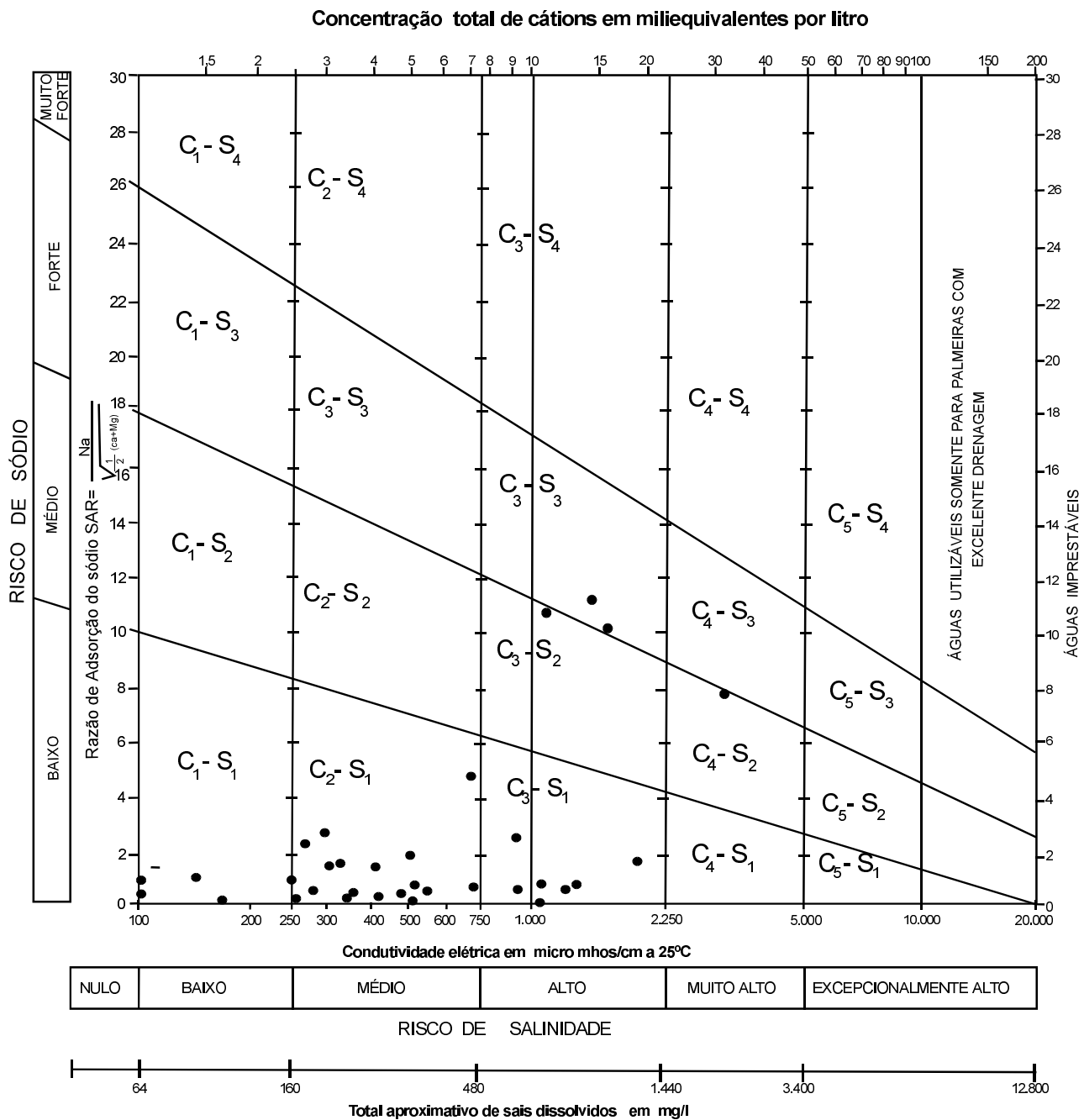


Figura 5.5 – Classificação das águas para irrigação, segundo o diagrama do U.S. Salinity Laboratory. Folha SB.23-X-B – Caxias.

na abcissa localiza-se a condutividade elétrica da água a 25° C e na ordenada o SAR (*Sodium Adsorption Ratio*), que é calculado pela expressão:

$$SAR = \frac{rNa}{\sqrt{\frac{1}{2}(rCa+rMg)}}$$

A partir dos resultados das trinta e três análises, foi elaborada a tabela 5.11 onde está representada a distribuição de frequência dos tipos de água para irrigação.

Tabela 5.11 – Tipos de água para irrigação.

Tipo	Nº de Amostras	Frequência (%)	
		Relativa	Acumulada
C ₁ – S ₁	05	15,2	15,2
C ₂ – S ₁	17	51,5	66,7
C ₃ – S ₁	07	21,3	88,0
C ₃ – S ₂	01	3,0	91,0
C ₃ – S ₃	02	6,0	97,0
C ₄ – S ₂	01	3,0	100,0
Total	33	100,0	–

Os resultados indicam que 66,7% das amostras pertencem às classes C₁-S₁ e C₂-S₁, identificando um risco de salinidade variando de baixo a médio e valores do SAR excelentes (0 a 10), enquadrando-se na faixa de baixo risco de sódio, podendo ser usada para irrigação em muitos tipos de lavouras e diferentes tipos de solos. Este grupo é constituído por 18 amostras de água cap-

tadas do sistema aquífero intergranular, extenso, livre e em parte confinado (Cabeças, Poti e Piauí).

Os 33,3% restantes das amostras pertencem às classes C₃-S₁, C₃-S₂, C₃-S₃ e C₄-S₂, as quais apresentam alto risco de salinidade e com oscilação de baixo a forte para o risco de sódio.

São águas que podem ser utilizadas para irrigação, desde que sejam tomados cuidados especiais, em solos bem drenados e plantas de altíssima resistência salina.

Na pecuária, as águas que apresentam altos valores de resíduo seco podem muito bem ser aproveitadas. Os critérios químicos utilizados são influenciados pela espécie e variedade do animal, tamanho/peso, clima e, particularmente, pelo condicionamento, isto porque esses seres geralmente se adaptam às concentrações iônicas diversas das águas. Os limites de resíduo seco, admitidos na Austrália Ocidental (Lima, 1993) para o consumo de alguns animais são:

ANIMAL	RESÍDUO SECO (mg/l)
Aves	2.800
Porcos	4.290
Cavalos	6.435
Gado leiteiro	7.150
Gado de corte	10.000
Carneiros	12.900

Baseado nos valores acima, verifica-se que as águas dos diferentes sistemas aquíferos podem ser utilizadas para qualquer tipo de animal.

6

CONSIDERAÇÕES FINAIS

6.1 Conclusões

Os trabalhos realizados na Folha Caxias compreendendo o levantamento geológico e a avaliação dos potenciais mineral e hidrogeológico, cartografados na escala 1:250.000, permitiram as seguintes considerações e conclusões:

1) A coluna sedimentar apresentada, subdividida em unidades litoestratigráficas, foi elaborada a partir do estudo seqüencial dos diversos litótipos associados, pertencentes ao domínio geotectônico da Bacia sedimentar do Parnaíba. Essas unidades são delimitadas com base nas suas descontinuidades e distribuem-se em amplas faixas de direção norte-sul;

2) A natureza da sedimentação é predominantemente siliciclástica, compreendendo arenitos quartzosos intercalados com siltitos, argilitos e folhelhos. Ocorrem subordinadamente calcários e sílex, e rochas intrusivas básicas, originadas de eventos magmáticos, datados do Eo-Cretáceo, além de coberturas terciárias e aluviões quaternárias;

3) As unidades analisadas constituem tratos de sistemas deposicionais e mostram que a deposição foi controlada pelas variações do nível do mar, pela taxa de subsidência e suprimento sedimentar,

que, à exceção da eustasia glacial/geoidal e clima, tem como causa principal a tectônica. No início do Devoniano ocorreu uma invasão marinha que depositou os constituintes da Formação Cabeças que, na área, traduzem um contexto litorâneo;

4) Os sedimentos carboníferos depositados em seguida, evidenciam, um evento regressivo, definido nos turbiditos distais da Formação Longá, continuando com os sedimentos de fácies deltaica, planície de maré e eólicas das formações Poti e Piauí. Na realidade, os sedimentos Longá constituem uma fácies especial dos ambientes marinhos do fim do Devoniano. Depósitos intermediários com níveis evaporíticos da Formação Pedra de Fogo marcam o fim dessa regressão;

5) Os arenitos que constituem os depósitos deltaicos da Formação Poti, recobertos por arenitos de origem eólica, correspondem a interação de processos subaquosos com seus equivalentes continentais. Os arenitos de ação eólica, associados à lobos de suspensão, representam fluxo de massa pelo retrabalhamento de ondas devido a pequenas invasões do mar;

6) Os depósitos de dunas eólicas e interdunas mais evidenciados na Formação Piauí, correspondem a um sistema desértico e equivale ao nível do

mar baixo; os depósitos costeiros associados correspondem ao nível ainda elevado ou estacionário do mar. Os calcários fossilíferos intercalados com pelitos identificados nessa unidade diagnosticam ambiente marinho, de plataforma rasa, de baixa a moderada energia.

7) Embora os depósitos deltaicos sejam mais evidentes na Formação Poti, e os depósitos eólicos na Formação Piauí, esse condicionamento deve ser compreendido como uma alternância dos sistemas deposicionais atuantes (transicional e desértico), com pequenas variações locais.

8) Mudanças ambientais severas, onde mares abertos de livre circulação que ocorreram nos períodos anteriores cederam lugar a mares restritos, remanescentes, marcam a deposição cíclica dos sedimentos permio-triássicos na área. A fácies lacustre da Formação Motuca encontra-se alternada com sedimentos jurássicos, eólicos, retrabalhados, da Formação Corda. A Formação Corda representa as dunas e a Formação Motuca os lagos da região interdunas;

9) O elevado grau de intemperismo que afetou os sedimentos da Formação Itapecuru, dificulta uma interpretação segura quanto ao ambiente deposicional dessa unidade. Há a considerar, entretanto, que em algumas áreas foram identificadas feições depositadas sob condições continentais, sugestivas de leques aluviais proximais. Os processos de laterização que atuaram nessa formação ocorreram também de maneira significativa na maioria dos depósitos que afloram na Folha Caxias, principalmente as de composição pelítica;

10) As coberturas terciárias detríticas e/ou lateríticas recobrem parcialmente todas as unidades estratigráficas mais antigas; correspondem à sedimentação de natureza continental, com alternância de clima semi-árido a úmido. Os depósitos aluviais ocorrem ao longo dos rios Parnaíba e Itapecuru;

11) As unidades que revelam maior interesse econômico, devendo ser consideradas como prioritárias para futuros programas de pesquisa mineral, correspondem aos depósitos argilosos, e às ocorrências de calcário que contêm elevados teores de CaO em relação a MgO, da Formação Motuca. Os processos químicos que controlam a composição das argilas da Formação Motuca, as tornam material de elevado consumo na área;

12) Os calcários fossilíferos da Formação Piauí, localizados na região de José de Freitas, e as faixas restritas de arenitos silicificados, da Formação Longá, contendo quartzo hialino e ametista arroxeada, que ocorrem na região de Batalha, deverão

também constar de programas governamentais visando a atividade extrativa periódica.

13) Foram classificados seis sistemas aquíferos: aquífero intergranular contínuo extenso e livre; aquífero intergranular descontínuo de extensão variável, livre; aquífero intergranular contínuo de extensão variável, semiconfinado; aquífero intergranular local, livre; aquífero intergranular extenso, livre e em parte confinado, e aquífero praticamente ausente.

14) O sistema aquífero intergranular extenso, livre, em parte confinado, constituído pelas formações Cabeças, Poti e Piauí apresenta-se como grande manancial de captação e armazenamento de água subterrânea, para poços com profundidades e vazões superiores a 100m e 10m³/h, respectivamente. Possui potencialidade hídrica elevada e boa permeabilidade e porosidade.

15) Os demais sistemas aquíferos, atendem a poços tubulares de pequena profundidade e poços rasos de grande diâmetro.

16) Cerca de 90% das águas subterrâneas exploradas na área destinam-se ao uso doméstico e animal.

17) Os sistemas aquíferos mais vulneráveis à poluição são aqueles constituídos pelas aluviões e pelas formações Cabeças, Poti e Piauí.

18) Quimicamente são águas de origem continental, de dureza "mole" e de modo geral com boa potabilidade. Entre os tipos químicos predominam as águas bicarbonatadas, em seguida as cloretadas e depois as mistas.

19) Quanto ao uso das águas na irrigação, podem ser bem aproveitadas em muitos tipos de solos e diferentes tipos de lavouras.

6.2 Recomendações

A partir da análise integrada dos dados e da interpretação do mapa geológico juntamente com o cartograma, recomendam-se:

1) Estudos prospectivos para a delimitação das ocorrências de calcários referentes às áreas VI e VII, a fim de que sejam conhecidos a continuidade lateral das camadas mineralizadas e o real dimensionamento desses corpos.

2) A avaliação e delimitação das faixas localizadas a sudeste e a sudoeste da folha, correspondentes aos depósitos argilosos, por vezes caulínicos da Formação Longá (Área I) e da Formação Motuca (Área VIII). Atualmente as argilas vermelhas usadas nas olarias, extraídas precariamente nesses locais, são utilizadas *in natura* para fabrica-

ção de tijolos, blocos e telhas para uso na construção civil. Para uso de argila branca, que exige matéria-prima selecionada e maior controle produtivo, há que se empregar processos e tecnologia adequados.

3) A análise química e de difração de raios-X, na investigação de argilominerais das áreas I, III e VIII, mostrou-se pouco eficaz para a caracterização industrial dos depósitos. Deverão ser efetuados testes de microscopia eletrônica e de ensaios tecnológicos específicos, visando a determinação do ponto ótimo de umidade, teor de argilas e de areia e, as demais variáveis necessárias para o tratamento adequado nos diversos ramos industriais.

4) No atual sistema de extração das pedreiras de Campo Maior e Batalha, há elevada perda do material, em razão da fragilidade do mesmo, de fácil desagregação. Faz-se necessário acompanhamento técnico por parte dos órgãos fiscalizadores para melhor uso e aproveitamento.

5) Que os projetos a serem implantados na área, visando aproveitamento e exploração dos recursos hídricos subterrâneos, sejam precedidos de um estudo detalhado (ex.: tipo de perfuração, profundidade, aquífero captado etc.).

6) As prefeituras deverão alertar os líderes comunitários locais, para a grande importância e benefício que traz um poço (chafariz) à comunidade; por isso, deverão protegê-lo e conservá-lo sempre em bom funcionamento.

7) Estudo hidroquímico (análises da água) para cada área onde vai ser empregada a água subterrânea.

8) Realização de prospecção sistemática que vise maior utilização e adequada preservação dos aquíferos como mananciais exploráveis para suprimento das necessidades de demanda de água, em detrimento daqueles recursos de superfície, sujeitos a grande poluição devido às baixas condições de higiene em que se encontram as populações ribeirinhas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGUIAR, G.A. de. Bacia do Maranhão; geologia e possibilidade de petróleo. Belém, PETROBRAS 1969, 55p. il. (Relatório Inédito, 371).
- _____. Revisão Geológica da Bacia Paleozóica do Maranhão. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 25, São Paulo, 1971. *Anais do...* São Paulo, SBG, 1971. V.3, p.113-122.
- ALBUQUERQUE, O.R. de e DEQUECH, V. Contribuição para a Geologia do Meio-Norte especialmente Piauí e Maranhão. Brasil. *In*: CONGRESSO PANAMERICANO DE ENGENHARIA DE MINAS E GEOLOGIA, 2, Petrópolis, 1946. *Anais do...* Rio de Janeiro, 1946. V.3, p. 69-109.
- ANELLI, L.E. Pelecípodes da Formação Piauí (Neocarbonífero), bacia do Parnaíba, Brasil. São Paulo, USP/Instituto de Geociências, 1993. 20p. il. (Dissertação de Mestrado).
- ARAÚJO, C.C. de (org.). Projeto Especial Mapas de Recursos Minerais, de Solos e de Vegetação para a área do Programa Grande Carajás. Subprojeto Recursos Minerais. Folha SA.23-Z-C, Itapeturu-Mirim, estado do Maranhão. Fortaleza, CPRM/DNPM, 1989.
- ARAÚJO, C.C. de. Projeto Estudo Global dos Recursos Minerais da Bacia Sedimentar do Parnaíba - Subprojeto Hidrogeologia; Relatório Final. Folha 12. Teresina SO. Recife, DNPM/CPRM, 1979. 2v.
- ARAÚJO, C.C. de & MIRANDA, J.L.F. de. Projeto Estudo Global dos Recursos Minerais da Bacia Sedimentar do Parnaíba. Subprojeto Hidrogeologia; Relatório Final. Folha 17 - São Francisco NO. Recife, DNPM/CPRM, 1979. 2v.
- BAR, P. e RIEGEL, W. Les Microflores des Series Paleozoiques du Ghana (África Occidentale) et leurs Relations Paleofloristiques. *In*: CAPUTO, M.V. Stratigrafy.... Califórnia, 1984. p.330.
- BEURLEN, K. Bacias Sedimentares no Bloco Brasileiro. *Est. Sedimentol.*, 1(2): 7-32, 1971.
- BLANKENNAGEL, R.K. de Bacia do Maranhão. *In*: LIMA, E. de A.M. & LEITE, J.F. Projeto Estudo Global dos Recursos Minerais da Bacia Sedimentar do Parnaíba. Recife, DNPM/CPRM, 1978. Cap. 2, p.48-223.
- BRASIL. DNPM. Projeto RADAM Folha SB.23-Teresina e parte da Folha SB.24 – Jaguari-be; geologia, geomorfologia: solos, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro, 1973, v.2. il. (Levantamento de recursos naturais, 2).
- BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Anuário mineral brasileiro. Brasília. DNPM, 1989. il.
- _____. Ministério de Minas e Energia. Anuário mineral brasileiro. Brasília., DNPM, 1990. il.
- _____. Ministério de Minas e Energia. Anuário mineral brasileiro. Brasília. DNPM, 1991. il.
- _____. Ministério de Minas e Energia. Anuário mineral brasileiro. Brasília. DNPM, 1992. il.
- BRASIL. SUDENE. Dados pluviométricos do Nordeste; Maranhão. Recife, 1990. 103p. il. (Série Pluviometria, 1).
- _____. SUDENE. Dados pluviométricos do Nordeste; Piauí. Recife, 1990. 236p. il. (Série Pluviometria, 2).
- BRAUN, O.P.G. Contribuição à geomorfologia do Brasil Central. *Revista Brasileira de Geografia*, Rio de Janeiro, 3: 3-39, 1971.

- BRITO, I.M. & SANTOS, A.S. Contribuição ao conhecimento dos microfósseis silurianos e devonianos da bacia do Maranhão: Os Netromorphitae (Leiofusidae). Rio de Janeiro, DNPM, 1965. 129p.
- CALDASSO, A.L. da S. A sedimentação mesozóica e seu relacionamento com a evolução geomorfológica da bacia do Parnaíba. Recife, CPRM, 1978. (Relatório Interno).
- CAMARGO, A. P. de. *Balanço hídrico do estado de São Paulo*. Campinas, Inst. Agrônomo, 1960. (Boletim, 1160).
- CAMPBELL, D.F. *et al.* Relatório preliminar sobre a geologia da bacia do Maranhão. Rio de Janeiro, CNP, 1949 (boletim, 1).
- CAMPANHA, V. & CAMPOS, A.C.R. Alguns microfósseis da Formação Piauí (Neocarbonífero), bacia do Parnaíba. São Paulo, USP/Inst. de Geociências, 1979. p-10-67.
- CAPUTO, M.V. Stratigraphy tectonics paleoclimatology and paleogeography of northern basins of Brazil. Santa Bárbara, University of California, 1984. 593p. il. (Tese de Doutorado).
- CAROZZI, A.V. *et al.* Análise ambiental e evolução tectônica sin-sedimentar da seção siluro-eo-carbonífera da bacia do Maranhão. Rio de Janeiro. PETROBRAS/CENPES, 1975 (Petrobras - seção de exploração de petróleo, 7).
- CAVALCANTE, I.N. Estudo hidrogeológico de terreno cristalino com manto de intemperismo - Área piloto de Atibaia. São Paulo, USP/IG, 1990. (Dissertação de mestrado).
- COLARES, J.Q. dos S. & ARAÚJO, C.C. de. Projeto especial mapas de recursos minerais, de solos e de vegetação, para a área do Programa Grande Carajás: Subprojeto Recursos Minerais. Folha SA.23-Y-D, Santa Inês, Estado do Maranhão. Brasília, DNPM/CPRM, 1990.
- COLARES, J.Q. dos S.; ARAÚJO, C.C. de & PARENTE FILHO, J. Projeto especial mapas de recursos minerais, de solos e de vegetação, para a área do Programa Grande Carajás: Subprojeto Recursos Minerais - Folha SB.23-V-B, Vitorino Freire, Estado do Maranhão. Brasília, DNPM/CPRM, 1990.
- CORDANI, U.G. *et al.* Estudo preliminar de integração do Pré-Cambriano com os eventos tectônicos das bacias sedimentares brasileiras. Rio de Janeiro. PETROBRAS/CENPES/SINTEP, 1984 (Petrobras - seção: exploração de petróleo, 15).
- COSTA, J.L. da *et al.* Projeto Gurupi. Relatório final de etapa. Belém, DNPM/CPRM, 1977. 8v.
- COSTA, M.L. da. Lateritos e lateritização. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 36, Natal, 1990. *Anais...* Natal, SBG, 1990, p. 404-421.
- CUSTÓDIO, E. & LLAMAS, M.R. Hidrogeologia subterrânea. Barcelona, Omega, 1976. 2 v. il.
- CROW, A.T. The rocks of the Sekondi Series of the Gold Coast. In: CAPUTO, M.V. - Stratigrafys, 1952, p.330.
- CRUZ, W.B. *et al.* Projeto carvão da bacia do Parnaíba, relatório final da etapa 1. Recife, DNPM/CPRM, 1973. 3v. il.
- _____. Projeto carvão da bacia do Parnaíba, relatório de progresso das etapas 2 e 3. Recife, 1973. 2v. il.
- CUNHA, B.C.C. da & CARNEIRO, R.G. Interpretação fotogeológica do centro-oeste da bacia do Maranhão. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 26, São Paulo, SBG, 1972. *Anais do...* São Paulo, SBG, 1972, p. 65-79.
- CUNHA, F.M.B. da. A gênese da bacia do Parnaíba e sua evolução no Paleozóico. Rio de Janeiro, UFRJ, 1986. 99p. (Dissertação de Mestrado).
- DELLA FÁVERA, J.C. Tempestitos da bacia do Parnaíba. Porto Alegre, UFRS, 1990. 289p. (Tese de Doutorado).
- FORTES, F.P. Geologia estrutural e tectônica da bacia sedimentar do meio-norte do Brasil (Uma síntese com implicações metalogenéticas). Teresina, CPRM, 1978. 16p. il.
- _____. Os grábens sigmoidais da bacia do Parnaíba e a matriz brasileira. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 37, São Paulo, 1992. *Boletim de resumos*. São Paulo, SBG, 1992, v.1, p. 552-553. il.
- FOSTER, S. & HIRATA, R. - Determinacion del riesgo de contaminacion de aguas subterranas (2a. ed. rev.), Lima, Centro Panamericano de Ingenieria Sanitaria Y Ciencias del Ambiente, 1991. 81p. il.
- FRANCISCONI, O.; THEODOROVICZ, A.M. de G.; CHIEREGATI, L.A. Conteúdo e representação cartográfica para carta do potencial mineral para não-metálicos. In: DELGADO, I. de M. (Org.). Ata do Encontro Nacional dos Coordenadores do PLGB. São Paulo, CPRM, 1991.
- GÓES, A.M. de O.; SOUZA, J.M.P. de & TEIXEIRA, L.B. Estágio exploratório e perspectivas petrolíferas da bacia do Parnaíba. *Bol. Téc.* da PETROBRAS, Rio de Janeiro, 4(1): 55-64, 1990.
- GÓES, A.M. de O.; TRAVASSOS, W.A.S. & NUNES, K.C. Projeto Parnaíba, reavaliação da bacia. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 4, Belém. *Boletim...* Belém, SBG, 1994, p.11-14. il.
- KEGEL, W. Contribuição para o estudo do Devoniano da bacia do Parnaíba: Rio de Janeiro, DNPM, 1953. 46p. il. (Boletim 141).

- KING, L.C. A geomorfologia do Brasil oriental. *Revista Brasileira de Geografia*, Rio de Janeiro, 18(2): 147-265, 1956.
- LANGHE, F.W. & PETRI, S. The Devonian of the Paraná Basin "Problems in Brazilian Devonian Geology", 1967 p. 5-55. (Bol. Paranaense de Geociências).
- LEAL, A. de S. Mapas hidrogeológicos Definição e legenda. Belo Horizonte, CPRM, 1993 (inédito).
- LEAL, J. de M. Inventário hidrogeológico básico do Nordeste, Folha no. 8. Teresina NE. Recife, SUDENE, 1977. 169 p. il. (BRASIL. SUDENE. Hidrogeologia, 52).
- LIMA, E. de A.M. & LEITE, J.F. Projeto estudo global dos recursos minerais da bacia sedimentar do Parnaíba; integração geológica-metalogenética; relatório final da etapa 3. Recife, DNPM/CPRM, 1978. 16v. il. mapas.
- LIMA FILHO, P.F. Fácies e ambientes deposicionais da Formação Piauí (Pensilvaniano), bacia do Parnaíba. São Paulo, USP/IG, 1991. 137p. il. (Dissertação de Mestrado).
- LIMA, J. do E.S. Projeto mapas hidrogeológico-PLGB. Folha SD.23-Z-D-II (Monte Azul), estado de Minas Gerais, Brasília, CPRM, 1993. (Relatório inédito).
- LIMAVERDE, J. de A. O setor mineral no Nordeste. Fortaleza, BNB/ETENE, 1979. 242p. il. (Estudos Econômicos e Sociais, 8).
- MABESOONE, J.M. Formação Longá na bacia do Piauí-Maranhão. *In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO NORDESTE*, 8, Campina Grande, 1977. *Atas do...* Campina Grande, SBG, 1977, v.6, p.29-36. il.
- _____. Origem dos conglomerados da formação Serra Grande e unidades equivalentes (Siluriano Superior - Devoniano Inferior, Nordeste do Brasil). *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA*, 30. Recife, 1978. *Anais do...* Recife, SBG, 1978, v.2, p.709-808. il.
- MESNER, J.C. & WOOLDRIDGE, L.C.P. Estratigrafia das bacias paleozóica e cretácea do Maranhão. *Bol. Téc. da PETROBRAS*, Rio de Janeiro, 7(2): 137-164, 1964.
- MOLNAR, A.B. & URDININEA, J.S.A. Reconhecimento geológico entre as bacias do Amazonas e Maranhão - PETROBRAS, Belém, 1966. 62p. il. (PETROBRAS - Relatório Técnico, 506).
- MOORE, B. South central Maranhão field project. Belém, PETROBRAS, 1961 (Relatório Técnico).
- MOURA, P. de. Rio Gurupy. Rio de Janeiro, 1936. 66p. (*B. Serv. Geol. Mineral*, 78).
- _____. Estados do Pará e Maranhão (região limitrophe). Rio de Janeiro, DNPM, 1937. (Bol., 18).
- NIMER, E. & BRANDÃO, A.M.P.M. (Coords) Balanço hídrico e clima da região dos cerrados. Rio de Janeiro, IBGE, 1989. 166p. il.
- NORTHFLEET, A.A. & MELO, M.T. Geologia da região norte de Balsas-Maranhão. Belém, PETROBRAS, 1967. 55p. il. (PETROBRAS. Relatório Técnico, 259).
- NUNES, K.C. Interpretação integrada da bacia do Parnaíba com ênfase nos dados aeromagnéticos. *In: CONGRESSO INTERNACIONAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE GEOFÍSICA*, 3. Rio de Janeiro, SBGf, 1993. *Resumos expandidos*. Rio de Janeiro, SBGf, 1993, v.1, p. 152-157. il.
- PEDREIRA, A.J. Relatório interno de viagem 03/91. Programa Grande Carajás. Salvador, CPRM, 1991.
- PESSOA, M.D. Inventário hidrogeológico básico do Nordeste; Folha no. 18. São Francisco NE. Recife, SUDENE, 1979. 237p. il. (BRASIL. SUDENE. Hidrogeologia, 59).
- PINTO, U.R. Consolidação da legislação mineral e ambiente. Brasília- DMG, 1991. 374p.
- RODRIGUES, T.L. das N.; LOVATO, O.G. & CAYE, B.R. Contribuição à estratigrafia da Folha São Luís (SA.23-Z-A)/MA. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA*, 36. Natal, SBG, 1990. *Anais do...* Natal, SBG. Núcleo Nordeste, 1990, v.1, p.124-133.
- RODRIGUES, T.L. das N.; VERÍSSIMO, L.S.; CAMOZZATO, E. & FAVILLA, C.A.C. (orgs.) Projeto especial mapas de recursos minerais, de solos e de vegetação para a área do Programa Grande Carajás. Subprojeto Recursos Minerais. Folha SB.23-X-A, (Bacabal), estado do Maranhão, Brasília, DNPM/CPRM, 1993 (no prelo).
- SANTOS, E.J. dos *et al.* A região de dobramentos nordeste e a bacia do Parnaíba, incluindo o cráton de São Luís e as bacias marginais. *In: SCHOBENHAUS, C. et al.* (Coords.). Geologia do Brasil. Brasília, DNPM, 1984. Cap. 4, p.131-189.
- SCHOBENHAUS, C. *et al.* (Coords.). Geologia do Brasil; texto explicativo do mapa geológico do Brasil e da área oceânica adjacente incluindo depósitos minerais. Escala 1:2.500.000. Brasília, DNPM, 1984. 501p. il.
- SOARES, P.C. *et al.* Avaliação preliminar da evolução geotectônica das bacias intracratônicas brasileiras. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA*, 28, Porto Alegre. SBG, 1974. *Anais do...* Porto Alegre, SBG, 1974, v.4, p.61-83.

- SOUZA, A.S. de; ARAÚJO, C.C. de & VERÍSSIMO, L.S. (orgs.) Projeto especial mapas de recursos minerais, de solos e de vegetação para a área do Programa Grande Carajás. Subprojeto recursos minerais. Folha SB.23-V-C, Imperatriz, estado do Maranhão. Fortaleza, CPRM/DNPM, 1990. Cap. 4, p. 29-58.
- SUGUIO, K. Dicionário de geologia marinha. São Paulo: T.A. Queiroz, Editor, 1992.
- ZEMBRUSCKI, S.G. & CAMPOS, J.N. dos P. Comportamento geotérmico regional e provável movimentação de fluídos na bacia do Parnaíba, Maranhão. Boletim Geociências da PETROBRAS, 2(24): 133-145, 1998.

APÊNDICES

SÚMULA DE DADOS DE PRODUÇÃO

1 - Levantamento Geológico

Caminhamento geológico (km)	9.500
Afloramentos estudados	235
Amostras coletadas.	40
Cadastramento mineral.	42
Tipos de Análises	
Macropaleontologia.	01
Micropaleontologia	04
Palinologia completa	04
Difração de Raios-X	10
Química de elementos maiores (argila e folhelho)	10
Química de elementos-traço	01
Espectrografia de emissão	01
Calcário completo	05
Granulometria	01
Petrografia	12

2 - Levantamento Hidrogeológico

Estações pluviométricas analisadas	04
Estações fluviométricas analisadas	02
Cadastro de Pontos de Água	
Poços tubulares	548
Poços escavados	44
Poços abandonados	03
Poços tubulares jorrantes.	07
Análises Físico-Químicas	
Cadastradas	48
Analisadas	13

ILUSTRAÇÕES FOTOGRÁFICAS



Foto 1 – Camadas delgadas de arenitos finos, de geometria tabular, intercalados com lâminas de siltito cinza, mergulhando para sudoeste. Constitui um turbidito oscilatório gerado em águas profundas. No local há extração de placas para uso na construção civil. Formação Longá. Estrada PI-113, 4,5km a sul de Batalha. Afloramento JA-95.



Foto 2 – Turbiditos constituídos de siltitos e arenitos subhorizontais, com truncamentos. Marcas de sola na base das camadas de arenitos, bioturbações e icnofósseis. Formação Longá, bairro Santa Rita-Campo Maior. Afloramento JA-209.



Foto 3 – Estrutura de escape de fluido (dobramento convoluto) em arenitos finos. Encontram-se associados a lobos de arenitos maciços, com evidências de retrabalhamento por ondas. Representam fluxo de massa devido à invasão marinha. Fácies arenitos bimodais. Formação Poti. Local: rio Maratoan, município de Barras-PI. Afloramento JA-6.



Foto 4 – Dunas tipo seif (longitudinais). Ocorre estratificação cruzada acanalada e em menor proporção do tipo Xi, de Allen, com queda de grãos. Paleoventos indicam bimodalidade com resultantes para 60 e 275. Fácies arenitos bimodais. Formação Poti. Estrada PI-112, rio Longá, 7km a nordeste de Barras. Afloramento JA-5. (No local há atividade extrativa de blocos de arenitos silicificados para uso na construção civil).



Foto 5 – Sigmóides deltaicas, cada uma começando com estratificação plano-paralela terminando com cruzada sigmoidal. Ocorrem estruturas retrabalhadas por ondas, formando SCS (swaley cross stratification). Fácies arenitos sigmoidais. Formação Poti. Local: serra do Campo Maior, estrada Campo Maior-Coivaras, 11km a sul de Campo Maior. Afloramento JA-20.



Foto 6 – Laminações truncadas. Ocorrem linsen, wavy e drapes de argila. Fácies arenitos sigmoidais da Formação Poti. Serra de Campo Maior. Afloramento JA-20.



Foto 7 – Arenitos eólicos bimodais com estratificações cruzada e plano-paralela, de grande porte. Na porção média do afloramento observa-se uma barcana com topo cortado por camadas horizontais, que representam interdunas. Assemelham-se, às estruturas de blow out. Fácies arenitos com estratificação cruzada acanalada. Formação Piauí. Santa Teresa, 27km a norte de Teresina. Afloramento JA-53.



Foto 8 – Arenitos finos, caulinizados, com sets duplamente tangenciais, imbricados (sigmóides). Na base e no topo ocorrem pelitos finamente laminados. Fácies arenitos sigmoidais (deltaicos). Formação Piauí. Estrada PI-112, 14km a sul de União. Afloramento JA-51.



Foto 9 – Escavação mostrando sucessão de arenitos, folhelhos, calcarenitos e calcários estratificados e fossilíferos (parte inferior do afloramento). Fácies calcários fossilíferos. Formação Piauí. Fazenda Mocambo, 20km a sul de José de Freitas. Afloramento JA-8.



Foto 10 – Intercalação de camadas de arenitos, argilito e silexitos dispostas horizontalmente. Presença de dobramentos adiastróficos dish, bolachas e boudins de sílex. Formação Pedra de Fogo. Estrada Coelho Neto-Duque Bacelar (1km a norte de Coelho Neto). Afloramento JA-38.



Foto 11 – Espessos bancos de arenitos em forma de lobos, dispostos horizontalmente. Na base e no topo, siltitos cinza-arroxeados e níveis de sílex ocorrem associados com estruturas flaser e linsen. Formação Pedra de Fogo. Estrada PI-112, Harve de Graça. Afloramento JA-49.



Foto 12 – Pelitos da Formação Motuca capeados por sedimentos laterizados que exibem da base para o topo os horizontes pálido, mosqueado e esferulítico do perfil laterítico. Local: BR-316, município de Caxias, 1,4km a oeste do rio Itapecuru. Afloramento JA-70.



Foto 13 – Camadas alternadas de arenitos avermelhados e folhelhos cinza de aspecto massivo. Sugerem ciclos de coarsening up - sedimentos fluviais da Formação Motuca. Local: 4,6km a NW de Aldeias Altas. Afloramento JA-28.



Foto 14 – Sedimentos arenosos da Formação Motuca submetidos a exposição subaérea, (mud cracks). Local: 4,6km a NW de Aldeias Altas, próximo ao Morro do Café. Afloramento JA-28.



Foto 16 – Detalhe do afloramento JA-76, notando-se a presença de icnofósseis (geralmente característicos de ambiente litorâneo) em arenitos cinza-avermelhados, laminados. Formação Corda. Local: Mulata, 5km a SW de Caxias.



Foto 15 – Aspecto do afloramento de Aarão Reis (JA-173) constituído na base de calcários silicificados sobrepostos por camadas de siltitos, argilitos e calcarenitos, com níveis de sílex, subhorizontais. Local: margem da estrada de ferro Teresina-São Luís. Afloramento JA-173.



Foto 17 – Blocos de rocha desagregada das elevações que ocorrem nos arredores de Buritirana, submetida a intensos processos diagenéticos. Domínios da Formação Itapecuru. Afloramento JA-191.



Foto 18 – Coberturas arenosas, de aspecto massivo, encontram-se sobre sedimentos da Formação Corda, desenvolvendo superfícies endurecidas (stone line) formadas por seixos laterizados. Local: entroncamento da BR-316 com MA-127, 4km a SW de Caxias.



Foto 19 – Extração rudimentar de camadas subhorizontais de calcário dolomítico intercaladas com siltitos argilosos, avermelhados e calcarenitos interestratificados. Formação Motuca. Caieira do Braga. Timon-MA. Afloramento JA-174.



Foto 20 – Lavra intermitente de calcário na fazenda Contendas. José de Freitas-PI. Afloramento JA-235.



Foto 21 – Aspecto rudimentar do beneficiamento de argila aluvionar para fabricação de tijolo, de uso na construção civil. Poões, Campo Maior-PI. Afloramento JA-210.



Foto 22 – Instalação industrial de uma cerâmica localizada em Barra dos Gatos, Campo Maior-PI.
Afloramento JA-206.



Foto 23 – Atividade extrativa rudimentar de lajotas para uso na construção civil. Campo Maior-PI.
Afloramento JA-209.

Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil

Folhas em Execução

NA.19-Z	Alto Rio Negro ⁹	SC.24-V-A-I	Riacho Queimadas ¹	SE.23-Z-D-I	Conceição do Mato Dentro ¹
NA.20	Boa Vista ⁸	SD.22-Z-A	Itapaci ¹	SF.23-Y	Rio de Janeiro SW ⁸
SA.22-X-D	Belém ¹	SD.22-Z-B	Uruaçu ¹	SG.22-X-B	Itararé ¹
SB.22-X-B	Rondon do Pará ⁴	SD.24-Y-B	Ilhéus ¹	SH.22	Porto Alegre ⁸
SC.20	Porto Velho ⁸	SE.22-V-A	Guiratinga ¹		
SC.21-Z-A	Ilha 24 de Maio ¹	SE.23-Z-B-IV	Serro ¹		

Folhas Impressas

	Borda Oeste	SB.24-Z-D-II	Juazeirinho ¹	SD.23-Z-D-V	Rio Pardo de Minas ³
	Creporizão (Geoquímica)	SB.24-Z-D-IV	Monteiro ¹	SD.24-V-A	Seabra ² (CD-ROM)
NA.20-X	Roraima Central ⁹ (CD-ROM)	SB.24-Z-D-V	Sumé ¹	SD.24-V-A-I	Seabra ¹
NA.20-Y	Serra Imeri ¹ (CD-ROM)	SB.25-V-C	Natal ²	SD.24-V-A-II	Utinga ¹
NA.20-X-C-III	Paredão ¹	SB.25-V-C-IV	João Câmara ¹	SD.24-V-A-V	Lençóis ¹
NA.20-X-C-VI	Serra do Ajarani ¹	SB.25-Y-C-V	Limoeiro ¹	SD.24-V-C	Livramento do Brumado
NA.20-Z	Caracará ¹	SC.20-V-B-V	Porto Velho ¹	SD.24-V-C-II	Mucugê ¹
NB.20-Z-B-V	Monte Roraima ¹	SC.20-V-C-V	Abunã ¹	SD.24-Y-A	Vitória da Conquista ²
NB.20-Z-B-VI	Monte Caburai ¹	SC.20-V-C-VI	Mutumparaná ¹	SD.24-Y-B-V	Ibicaraí ¹
NB.20-Z-D-II	Rio Quino ¹	SC.20-V-D-I	Jaciparana ¹	SD.24-Y-B-VI	Itabuna ¹
NB.20-Z-D-III	Rio Cotinho ¹	SC.20-Z-C-V	Paulo Saldanha ¹	SE.21-Y-D	Corumbá ¹
NB.20-Z-D-V	Vila Pereira ¹	SC.20-Z-C-VI	Rio Pardo ¹	SE.22-V-B	Iporá ²
NB.20-Z-D-VI	Rio Viruquim ¹	SC.22-X-A	Redenção ⁴ (CD-ROM)	SE.22-V-B	Iporá ¹ (1999)
NB.21-Y-A-IV	Sem denominação	SC.22-X-B	Conceição do Araguaia ⁴	SE.22-X-A	São Luis de Montes Belos ²
NB.21-Y-C-I	Sem denominação	SC.23-Y-D	Formosa do Rio Preto ¹	SE.22-X-A-II	Sanclerlândia ¹ (CD-ROM)
SA.20-V	Rio Cuiuni ¹	SC.23-X-D-IV	Campo Alegre de Lourdes ¹	SE.22-X-A-III	Itaberai ¹
SA.23-Z	São Luis NE/SE ⁸ (CD-ROM)	SC.23-Z-A/Y-B	Curimatá/Corrente ¹	SE.22-X-A-VI	Nazário ¹
SA.23-Z-C	Itapeturu-Mirim ⁴	SC.23-Z-C	Santa Rita de Cássica ¹	SE.22-X-B	Goiânia ²
SA.22-Y-D	Altamira ⁴	SC.24-V-A	Paulistana ¹	SE.22-X-B	Goiânia ⁸ (1999)
SA.23-V-C	Castanhal ⁴ (CD-ROM)	SC.24-V-A-II	Paulistana ¹	SE.22-X-B-I	Nerópolis ¹
SA.23-V-D	Turiação ⁴	SC.24-V-A-III	Santa Filomena ¹	SE.22-X-B-II	Anápolis ¹
SA.23-V/Y	São Luis SW/NW ⁸	SC.24-V-A-IV	Barra do Bonito ¹	SE.22-X-B-IV	Goiânia ¹
SA.23-X-C	Cururuçu ⁴	SC.24-V-A-V	Afrânio ¹	SE.22-X-B-V	Leopoldo de Bulhões ¹
SA.23-Y-B	Pinheiro ⁴	SC.24-V-A-VI	Riacho do Caboclo ¹	SE.22-X-B-VI	Caraiíba ¹
SA.23-Z-A	São Luis ⁴	SC.24-V-B-IV	Cristália ¹	SE.22-X-D	Morrinhos ²
SA.23-Y-D	Santa Inês ⁴	SC.24-V-C	Petrolina ¹	SE.23-V-B	São Romão ²
SA.24-Y-D-V	Irauçuba ³ (CD-ROM)	SC.24-V-C-III	Petrolina ¹	SE.23-Z-B	Guanhães ²
SB.20-Z-B-VI	Mutum ¹	SC.24-V-D	Uauá ²	SE.23-Z-C	Belo Horizonte ²
SB.21-V-D	Vila Mamãe Anã ⁸ (CD-ROM)	SC.24-V-D-I	Itamotinga ¹	SE.23-Z-C-VI	Belo Horizonte ¹ (CD-ROM)
SB.21-X-C	Caracol ⁸ (CD-ROM)	SC.24-X-A	Belém de S. Francisco ¹ (CD-ROM)	SE.23-Z-D	Ipatinga ²
SB.21-Y-B	Jacareacanga ⁸ (CD-ROM)	SC.24-X-C-V	Santa Brígida ¹	SE.23-Z-D-IV	Itabira ¹ (CD-ROM)
SB.21-Z-A	Vila Riozinho ⁸ (CD-ROM)	SC.24-X-C-VI	Piranhas ¹	SE.24-V-A	Almenara ²
SB.21-Z-C	Rio Novo ⁸ (CD-ROM)	SC.24-X-D-V	Arapiraca ¹	SE.24-Y-C-V	Baixo Guandu ¹
SB.22-Y-B	São Félix do Xingu ⁴	SC.24-Y-B	Senhor do Bonfim ²	SE.24-Y-C-VI	Colatina ¹
SB.22-X-C	Serra Pelada ⁴	SC.24-Y-B-VI	Euclides da Cunha ³	SF.21	Campo Grande ⁸ (CD-ROM)
SB.22-X-D	Marabá ⁴	SC.24-Y-C	Jacobina ²	SF.21-V-B	Aldeia Tomásia ¹
SB.22-Z-A	Serra dos Carajás ⁴	SC.24-Y-C-V	Morro do Chapéu ¹	SF.21-V-D	Porto Murinho ¹
SB.22-Z-B	Xambioá ⁴	SC.24-Y-D	Serrinha ¹ (rev.)	SF.21.X.A	Aquidauana ¹
SB.22-Z-C	Xinguara ⁴	SC.24-Y-D	Serrinha ²	SF.23-V-D-V-4	São Gonçalo do Sapucaí ¹
SB.22-Z-C	Xinguara ⁴ (CD-ROM)	SC.24-Y-D-II	Gavião ¹	SF.23-X-B-I	Mariana ¹
SB.22-Z-D	Araguaína ⁴	SC.24-Y-D-IV	Mundo Novo ¹	SF.23-X-B-II	Ponte Nova ¹
SB.23-V-A	Açailândia ⁴ (CD-ROM)	SC.24-Y-D-V	Pintadas ¹	SF.23-X-B-IV	Rio Espera ¹
SB.23-V-B	Vitorino Freire ⁴	SC.24-Y-D-VI	Serrinha ¹	SF.23-X-C-III	Barbacena ¹
SB.23-V-C	Imperatriz ⁴	SC.24-Z-A-II	Jeremoabo ¹	SF.23-X-C-VI	Lima Duarte ¹
SB.23-V-D	Barra do Corda ⁴	SC.24-Z-A-III	Carira ¹	SF.23-X-D-I	Rio Pomba ¹
SB.23-X-A	Bacabal ⁴	SC.25-V-A-II	Vitória de Santo Antão ¹	SF.23-Y-B-II-2	Heliodora ¹
SB.23-X-B	Caxias ¹	SD.21-Y-C-II	Pontes e Lacerda ¹	SF.24-V-A-II	Afonso Cláudio ¹
SB.23-X-C	Presidente Dutra ⁴	SD.21-Z-A	Rosário do Oeste ²	SF.24-V-A-III	Domingos Martins ¹
SC.24-X	Aracaju NE ⁸ (CD-ROM)	SD.21-Z-C	Cuiabá ²	SF.24-V-A-V	Cachoeira de Itapemirim ¹
SB.24-Y	Jaguaribe SW ⁸ (CD-ROM)	SD.22-X-D	Porangatu ²	SF.24-V-A-VI	Piúma ¹
SB.24-Z	Jaguaribe SE ⁸ (CD-ROM)	SD.22-Z-B	Uruaçu ²	SG.22-X-D-I	Curitiba ⁸ (CD-ROM)
SB.24-V-C-III	Crateús ¹	SD.22-Z-C	Ceres ²	SG.22-Z-B	Joinville ²
SB.24-V-D-V	Mombaça ¹	SD.22-Z-C-II	Morro Agudo ¹	SG.22-Z-D-I-2	Botuverá
SB.24-X-B/D	Areia Branca/Mossoró ²	SD.22-Z-C-V	Goiás ¹	SG.22-Z-D-II-1	Brusque ¹
SB.24-Y-B	Iguatu ¹	SD.22-Z-C-VI	Itaguara ¹	SG.22-Z-D-V	Florianópolis ¹
SB.24-Y-B-II	Catarina ¹	SD.22-Z-D	Goianésia ²	SG.22-Z-D-VI	Lagoa
SB.24-Y-C-V	Patos ¹ (PI)	SD.22-Z-D-IV	Jaraguá ¹	SH.22-V-C-IV	Santa Maria
SB.24-Y-C-VI	Simões ¹	SD.22-Z-D-V	Pirenópolis ¹	SH.22-X-B-IV	Criciúma ¹ (CD-ROM)
SB.24-Z-B	Caico ¹	SD.23-X-B	Ibotirama ²	SH.22-Y-A	Cachoeira do Sul ²
SB.24-Z-B-II	Curráis Novos ³	SD.23-X-C-V	Coribe ¹	SH.22-Y-A	Cachoeira do Sul ² (CD-ROM)
SB.24-Z-B-V	Jardim do Seridó ³	SD.23-X-D	Bom Jesus da Lapa ²	SH.22-Y-C	Pedro Osório ¹ (CD-ROM)
SB.24-Z-C	Serra Talhada ¹	SD.23-Y-C	Brasília ²	SH.22-Y-A-I-4	Passo do Salsinho ¹
SB.24-Z-C	Serra Talhada ¹ (1999)	SD.23-Y-D	Buritis ²	SH.22-Y-B	Porto Alegre ¹
SB.24-Z-C-VI	Afogados da Ingazeira ¹	SD.23-Z-D-II	Monte Azul ³		
SB.24-Z-D-I	Patos ¹ (PB)	SD.23-Z-D-IV	Janaúba ³		

Folhas em Editoração

SB.23-X-B	Caxias ⁴	SC.24.V	Aracaju NW ⁸	SE.22-V-B	Iporá ¹
SB.24-Z-C	Serra Talhada ¹	SC.24-Z	Aracaju SE ⁸	SH.22-Y-C-II	Piratini ¹
SC.23-Z-A/Y-B	Curimatá/Corrente ¹	SC.24.Y	Aracaju SW ⁸		

¹ Levantamento Geológico/Geoquímico/Metalogenético nas escalas 1:500.000, 1:250.000, 1:100.000, 1:50.000; ² Mapas Metalogenéticos e de Previsão de Recursos Minerais escala 1:250.000; ³ Mapas de Previsão de Recursos Hídricos Subterrâneos escala 1:100.000; ⁴ Projeto Especial Mapas de Recursos Minerais, de Solos e de Vegetação para a Área do Programa Grande Carajás - Subprojeto Recursos Minerais; ⁵ Levantamento geológico visando ao meio ambiente; ⁶ Levantamentos aerogeofísicos; ⁷ Integração geológica/geoquímica de regiões metropolitanas; ⁸ Integração geológica/metalogenética nas escalas 1:500.000 e 1:250.000; ⁹ Mapeamento Geológico/Metalogenético da Região Amazônica na escala 1:500.000.

Folhas Concluídas

NA.20-X-B	Uraricoera ²	SC.24-V-B	Salgueiro ²	SE.24-Y-C	Colatina ²
NA.21-V-A	Conceição do Mau ²	SC.24-X-A	Floresta ²	SF.21-V-B	Baía Negra ²
NA.20-X-D	Boa Vista ²	SC.24-X-B	Garanhuns ²	SF.21-X-A	Miranda ²
NA.20-Z-B	Caracaraí ²	SC.24-X-C	Paulo Afonso ²	SF.23-V-A-II.2	Rio São Lourensinho ⁷
NB.20-Z-B e		SC.24-X-D	Santana do Ipanema ²	SF.23-V-A-III.1	Itanhaém ⁷
NB.21-Z-A	Monte Roraima ²	SC.24-Y-A	Mirangaba ²	SF.23-V-A-III.2	Mangagua ⁷
NB.20-Z-D	Vila Surumu ²	SC.24-Z-A	Jeremoabo ²	SF.23-Y-A-V.4	Campinas ⁷
NB.21-Y-C	Rio Mau ²	SC.24-Z-B/D	Aracaju/Estância ²	SF.23-Y-A-VI.3	Valinhos ⁷
NA.21-Z-B	Rio Citaré ²	SC.24-Z-C	Tobias Barreto ²	SF.23-Y-C-II.2	Indaiatuba ⁷
NA.22-V-B	Rio Oiapoque ²	SC.25-V-A	Recife ²	SF.23-Y-C-II.4	Cabreúva ⁷
NB.22-Y-D	Cabo Orange ²	SC.25-V-C	Maceió ²	SF.23-Y-C-III.1	Jundiá ⁷
NA.22-V-D	Lourenço ²	SD.20-V-B	Príncipe da Beira ²	SF.23-Y-C-III.2	Atibaia ⁷
NA.22-Y-A	Serra do Tumucumaque ²	SD.20-X-A	Pedras Negras ²	SF.23-Y-C-III.3	Santana do Parnaíba ⁷
NA.22-Y-B	Rio Araguari ²	SD.20-X-B	Vilhena ²	SF.23-Y-C-III.4	Guarulhos ⁷
NA.22-Y-D	Macapá ²	SD.20-X-C	Ilha do Sossego ²	SF.23-Y-C-V.2	São Roque ⁷
SA.21-X-B	Rio Maicuru ²	SD.20-X-D	Pimenteiras ²	SF.23-Y-C-V.4	Juquitiba ⁷
SA.24-Y-A	Parnaíba ²	SD.21-Y-C	Mato Grosso ²	SF.23-Y-C-VI.1	Itapeçerica da Serra ⁷
SA.24-Y-B	Acarau ²	SD.21-Y-D	Barra do Bugres ²	SF.23-Y-C-VI.2	São Paulo ⁷
SA.24-Y-C	Granja ²	SD.22-X-A	Araguaçu ²	SF.23-Y-C-VI.3	Imbu-Guaçu ⁷
SA.24-Y-D	Sobral ²	SD.22-X-B	Alvorada ²	SF.23-Y-C-VI.4	Riacho Grande ⁷
SA.24-Z-C	Fortaleza ²	SD.22-X-C	São Miguel do Araguaia ²	SF.23-Y-D-I.1	Piracaia ⁷
SB.22-X-C	Rio Itacaiúnas ²	SD.22-Y-D	Barra do Garças ²	SF.23-Y-D-I.2	Igaratá ⁷
SB.22-X-D	Marabá ²	SD.22-Z-A	Mozarlândia ²	SF.23-Y-D-I.3	Itaquacetuba ⁷
SB.22-Z-A	Rio Paraopebas ²	SD.23-V-A	Arraias ²	SF.23-Y-D-I.4	Santa Isabel ⁷
SB.24-V-A	Piripiri ²	SD.23-V-C	Campos Belos ²	SF.23-Y-D-II.3	Jacarei ⁷
SB.24-V-B	Quixadá ²	SD.23-X-A	Barreiras ²	SF.23-Y-D-IV.1	Suzano (Mauá) ⁷
SB.24-V-C	Crateús ²	SD.23-X-C	Santa Maria da Vitória ²	SF.23-Y-D-IV.2	Mogi das Cruzes ⁷
SB.24-V-D	Quixeramobim ²	SD.23-Y-A	São João d'Aliança ²	SF.23-Y-D-IV.3	Santos ⁷
SB.24-X-A	Aracati ²	SD.23-Z-A	Manga ²	SF.23-Y-D-IV.4	Bertioga ⁷
SB.24-X-C	Morada Nova ²	SD.23-Z-B	Guanambi ²	SF.23-Y-D-V.1	Salesópolis ⁷
SB.24-Y-A	Valença do Piauí ²	SD.24-V-A	Seabra ²	SF.23-Y-D-V.2	Pico do Papagaio ⁷
SB.24-Y-B	Iguatu ²	SD.24-V-B	Itaberaba ²	SF.23-V-A	Franca ²
SB.24-Y-C	Picos ²	SD.24-V-D	Jequié ²	SF.23-V-B	Furnas ²
SB.24-Y-D	Juazeiro do Norte ²	SD.24-X-C	Jaguaribe ²	SF.23-V-C	Ribeirão Preto ²
SB.24-Z-A	Souza ²	SD.24-X-A	Salvador ²	SF.23-V-D	Varginha ²
SB.24-Z-B	Caicó ²	SD.24-Y-B	Ilhéus ²	SF.23-X-A	Divinópolis ²
SB.24-Z-D	Patos ²	SD.24-Z-A	Itacaré ²	SF.23-X-B	Ponte Nova ²
SB.25-Y-A	Cabedelo ²	SD.24-Y-C	Rio Pardo ²	SF.23-X-C	Barbacena ²
SB.25-Y-C	João Pessoa ²	SD.24-Y-D	Itapetinga ²	SF.23-X-D	Juiz de Fora ²
SC.20-V-C	Abunã ²	SD.24-Z-C	Canavieiras ²	SF.23-Y-A	Campinas ²
SC.20-V-D	Ariquemes ²	SE.21-V—D-V	Morraria do Insua ¹	SF.23-Y-B	Guaratinguetá ²
SC.20-Y-B	Alto Jamari ²	SE.21-Y-B-II	Lagoa de Mandioré ¹	SF.23-Y-C	São Paulo ²
SC.20-Y-D	Serra dos Uopianes ²	SE.21-Y-B-III	Amolar ¹	SF.23-Y-D	Santos ²
SC.20-Z-A	Rondonia ²	SE.23-V-A	Unai ²	SG.22-X-A	Telêmaco Borba ²
SC.20-Z-B	Rio Branco ²	SE.23-V-C	Paracatu ²	SG.22-X-B	Itararé ²
SC.20-Z-C	Presidente Médici ²	SE.23-V-D	João Pinheiro ²	SG.22-X-C	Ponta Grossa ²
SC.20-Z-D	Pimenta Bueno ²	SE.23-X-A	Montes Claros ²	SG.22-X-D	Curitiba ²
SC.21-Z-B	Vila Guarita ²	SE.23-X-B	Araçuaí ²	SG.23-V-C	Cananéia ²
SC.22-X-D	Miracema do Norte ²	SE.23-X-C	Pirapora ²	SG.23-V-A	Iguaçu ²
SC.22-Z-B	Porto Nacional ²	SE.23-X-D	Capelinha ²	SG.22-Z-D	Florianópolis ²
SC.22-Z-D	Gurupi ²	SE.23-Y-A	Patos de Minas ²	SH.21-Z-D	Bagé ²
SC.23-X-D	São Raimundo Nonato ²	SE.23-Y-B	Três Marias ²	SH.21-Z-B	São Gabriel ²
SC.23-Y-C	Natividade ²	SE.23-Y-C	Uberaba ²	SH.22-X-B	Criciúma ²
SC.23-Z-B	Xique-Xique ²	SE.23-Y-D	Bom Despacho ²	SH.22-Y-D	Pelotas ²
SC.23-Z-D	Barra ²	SE.23-Z-A	Curvelo ²	SH.22-Z-C	Mostarda ²
SC.24-V-A	Paulistana ²	SE.24-V-C	Teófilo Otoni ²	SI.22-V-A	Jaguarão ²
		SE.24-Y-A	Governador Valadares ²		

Memória Técnica

- Mapas de serviço disponíveis para cópias heliográficas (*)
- Disquetes de computador com análises químicas, petrográficas, mineralógicas etc (*)
- Sistema de Informações em Recursos Naturais – SIR (**)
- Bases de Dados:

GEOB e GTM – Bibliografia
 META – Ocorrências Minerais
 AFLO – Descrição de Afloramento
 PETR – Análises Petrográficas

SIGEO – Projetos de Geologia, Geoquímica e Geofísica
 SISON – Dados de Sondagem
 DOTE – Acervo Bibliográfico da CPRM
 PROJ – Carteira de Projetos da CPRM

Departamento de Apoio Técnico

Giuseppina Giaquinto de Araújo

Divisão de Cartografia

Paulo Roberto Macedo Bastos

Divisão de Editoração Geral

Maria da Conceição C. Jinno

EQUIPES DE PRODUÇÃO

Cartografia Digital

Afonso Lobo	José Pacheco Rabelo
Carlos Alberto da Silva Copolillo	Julimar de Araújo
Carlos Alberto Ramos	Leila Maria Rosa de Alcantara
Elaine de Souza Cerdeira	Luiz Guilherme Araújo Frazão
Elcio Rosa de Lima	Marco Antonio de Souza
Hélio Tomassini de O. Filho	Maria José Cabral Cezar
Ivan Soares dos Santos	Maria Luiza Poucinho
Ivanilde Muniz Caetano	Marília Santos Salinas do Rosário
João Batista Silva dos Santos	Paulo José da Costa Zilves
João Bosco de Azevedo	Regina de Sousa Ribeiro
João Carlos de Souza Albuquerque	Risonaldo Pereira da Silva
Jorge de Vasconcelos Oliveira	Sueli Mendes Sathler
José Barbosa de Souza	Valter Alvarenga Barradas
José Carlos Ferreira da Silva	Wilhelm Petter de Freire Bernard
José de Arimatheia dos Santos	

Editoração

Antonio Lagarde	Marília Asfura Turano
Edalair Rizzo	Pedro da Silva
Jean Pierre Souza Cruz	Sandro José Castro
José Luiz Coelho	Sergio Artur Giaquinto
Laura Maria Rigoni Dias	

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA
SECRETARIA DE MINAS E METALURGIA

<i>Ministro de Estado</i>	José Jorge de Vasconcelos Lima
<i>Secretário Executivo</i>	Luiz Gonzaga Leite Perazzo
<i>Secretário de Minas e Metalurgia</i>	Luciano de Freitas Borges

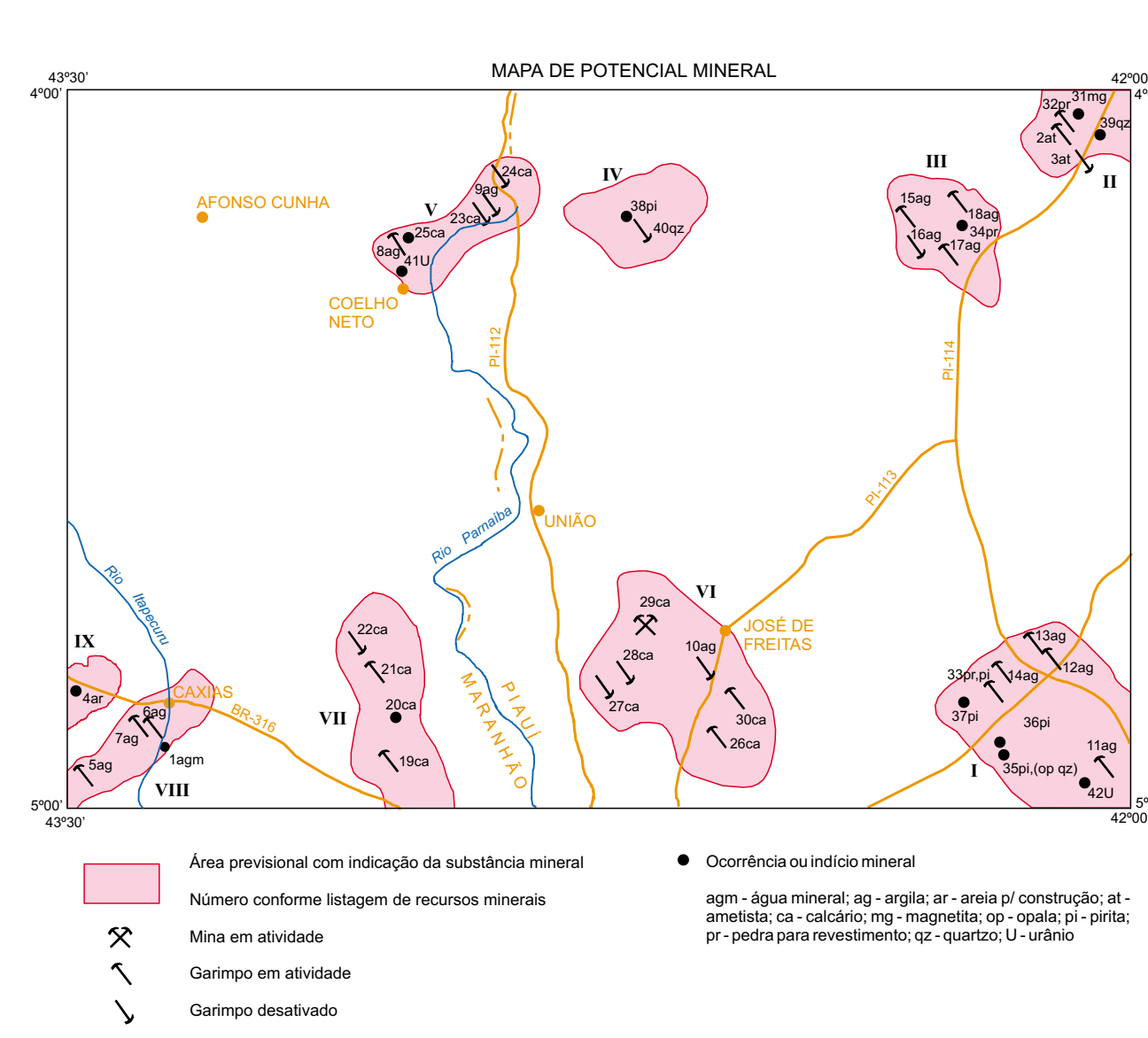
COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS – CPRM
Serviço Geológico do Brasil

<i>Diretor-Presidente</i>	Umberto Raimundo Costa
<i>Diretor de Hidrologia e Gestão Territorial</i>	Thales de Queiroz Sampaio
<i>Diretor de Geologia e Recursos Minerais</i>	Luiz Augusto Bizzi
<i>Diretor de Administração e Finanças</i>	José de Sampaio Portela Nunes
<i>Diretor de Relações Institucionais e Desenvolvimento</i>	Paulo Antonio Carneiro Dias
<i>Chefe do Departamento de Geologia</i>	Sabino Orlando C. Loguércio

SUPERINTENDÊNCIAS REGIONAIS

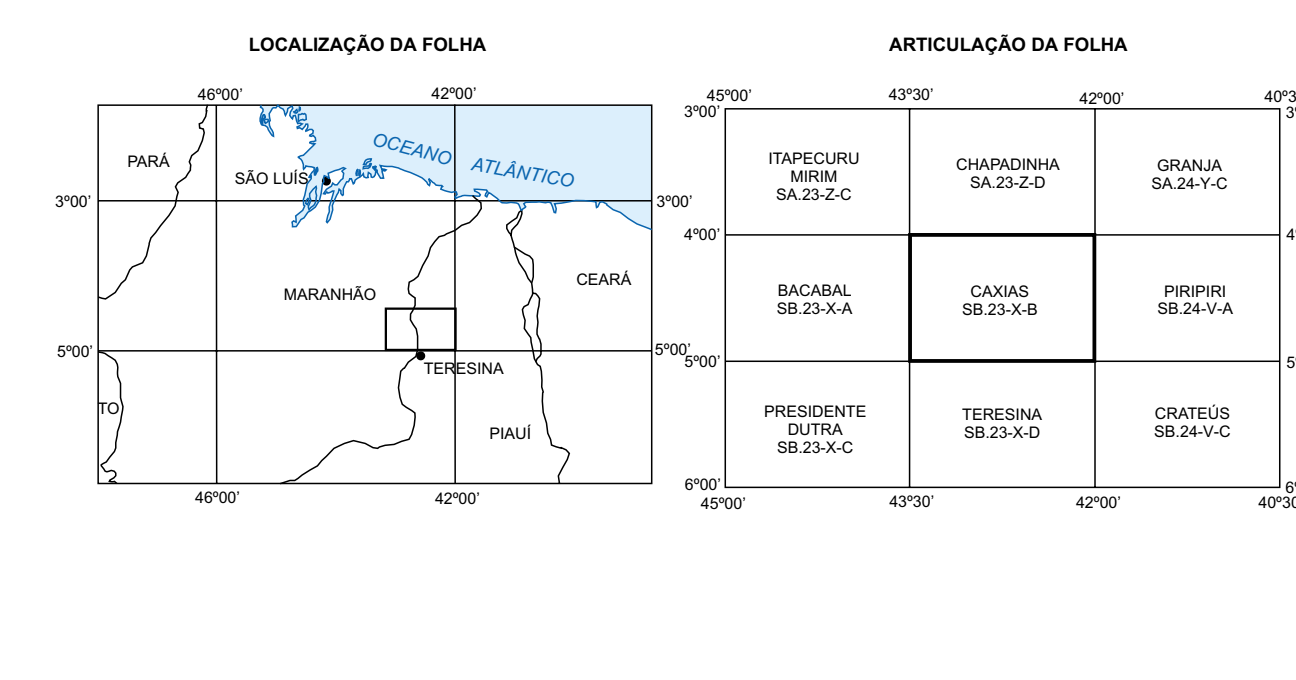
<i>Superintendente de Belém</i>	Xafi da Silva Jorge João
<i>Superintendente de Belo Horizonte</i>	Osvaldo Castanheira
<i>Superintendente de Goiânia</i>	Mário de Carvalho
<i>Superintendente de Manaus</i>	Fernando Pereira de Carvalho
<i>Superintendente de Porto Alegre</i>	Cladis Antonio Presotto
<i>Superintendente de Recife</i>	Marcelo Soares Bezerra
<i>Superintendente de Salvador</i>	José Carlos Vieira Gonçalves da Silva
<i>Superintendente de São Paulo</i>	José Carlos Garcia Ferreira
<i>Chefe da Residência de Fortaleza</i>	Clodionor Carvalho de Araújo
<i>Chefe da Residência de Porto Velho</i>	Rommel da Silva Sousa

ANEXOS

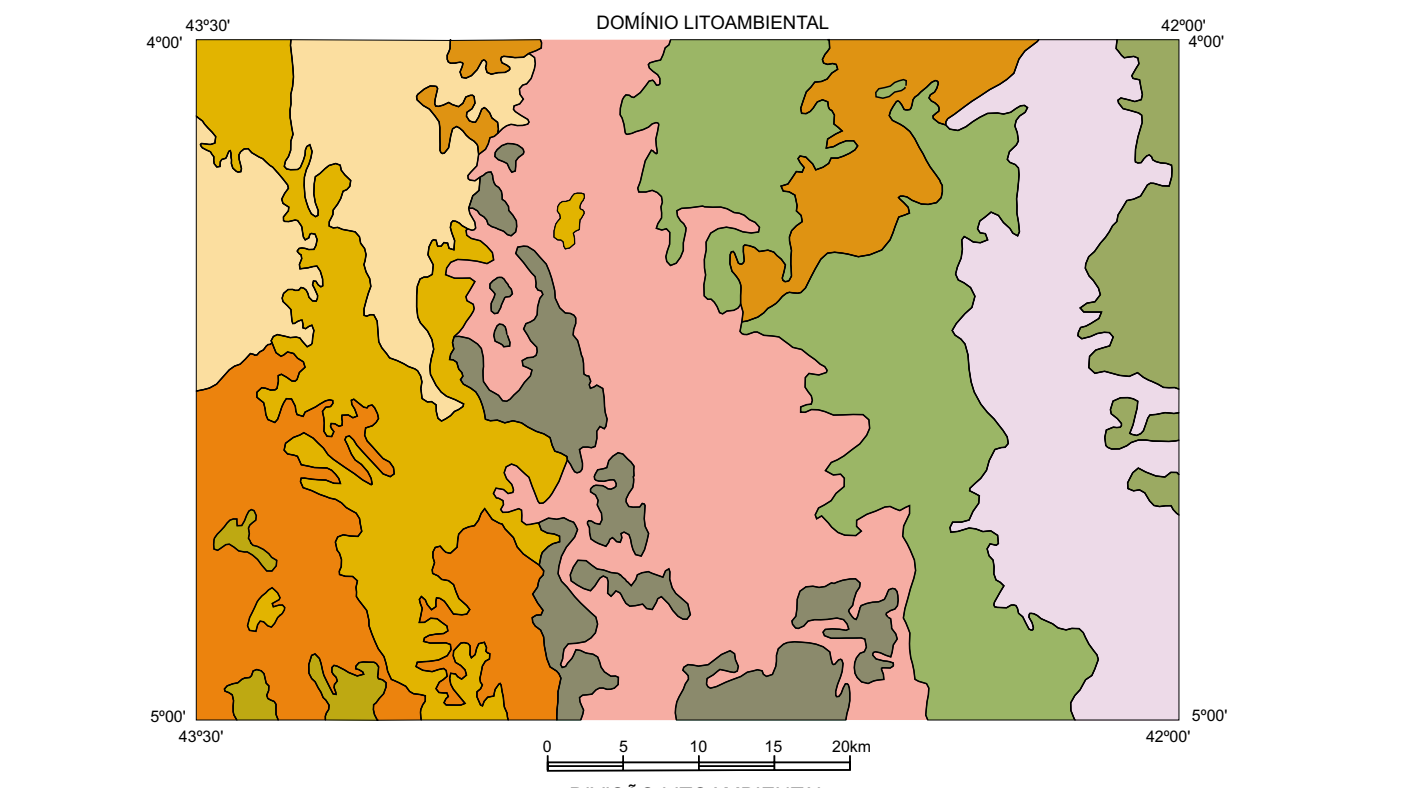
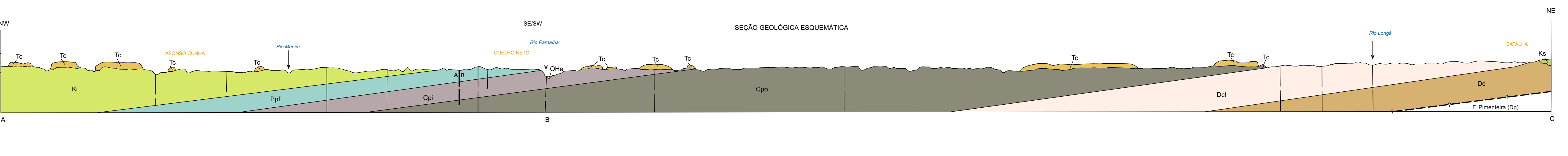
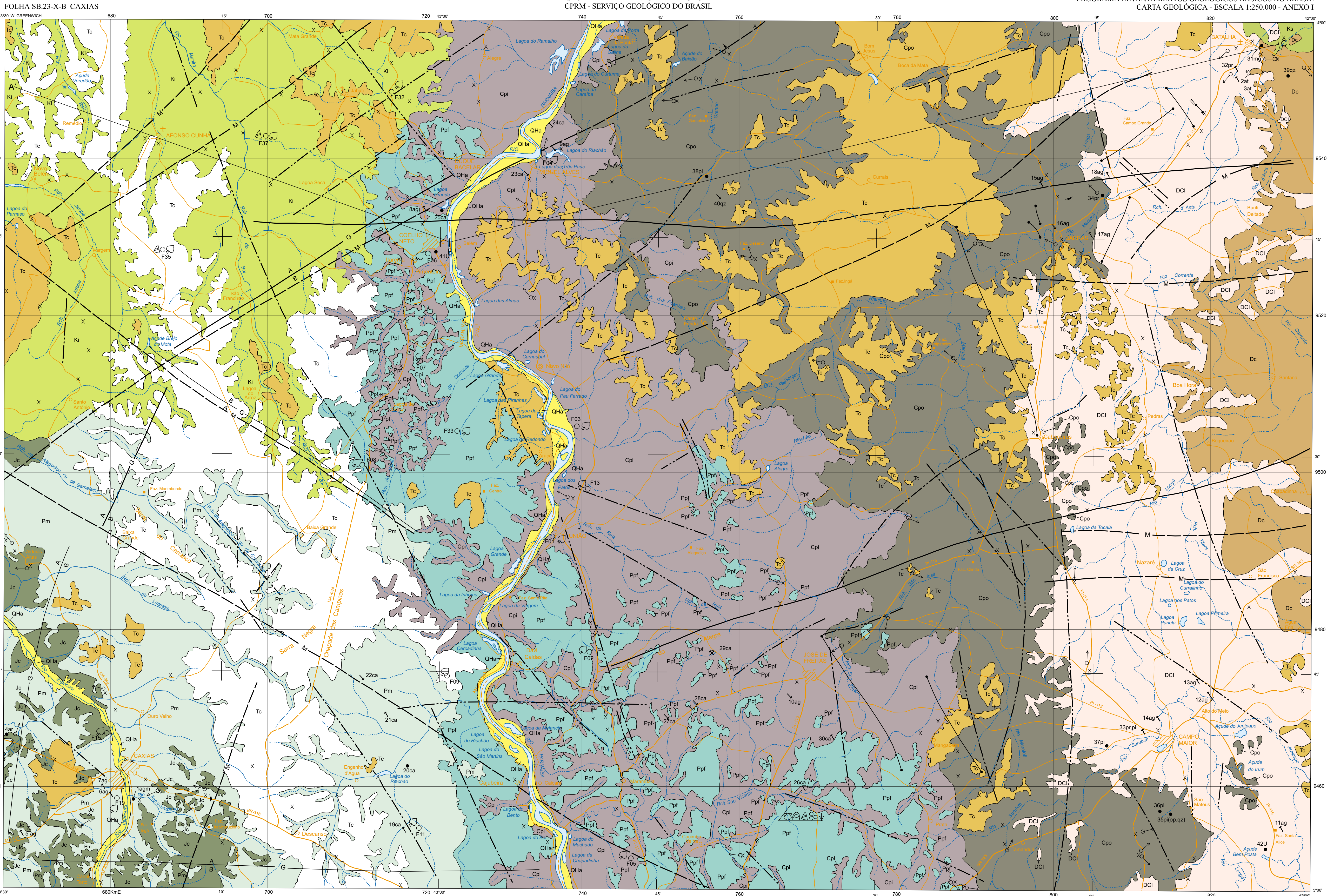


ESPECIFICAÇÃO DAS ÁREAS
Área I - Localizada no extremo-sudeste da folha, abrangendo o município de Campo Maior/PI, os sedimentos da Área I constituem espessuras variadas e são argilas intercaladas com siltos e arenitos. Apresentam caulinita, illita e esmectita em sua composição. Ocorrem nas proximidades de Campo Maior anomalias radiométricas e geoquímicas com indicadores de urânio em folhelhos e arenitos (Lima & Leite, 1978). A associação pirita, opala e quartzo encontra-se disseminada em siltos, cinza micácea, na faixa de contato das Formações Longá/Pot. Faz parte da Faixa Urano-fotólítica de Campo Maior - Península, retida no Cadastro das Províncias Minerais Brasileiras, da CPRM.

LISTAGEM DE RECURSOS MINERAIS
Table with columns: Nº DE REF., SUBSTÂNCIA MINERAL, CLASSE DO AZIMUTAMENTO, ROCHAS ENCAIXANTES E/OU ASSOCIAÇÃO, DADOS ECONÔMICOS.

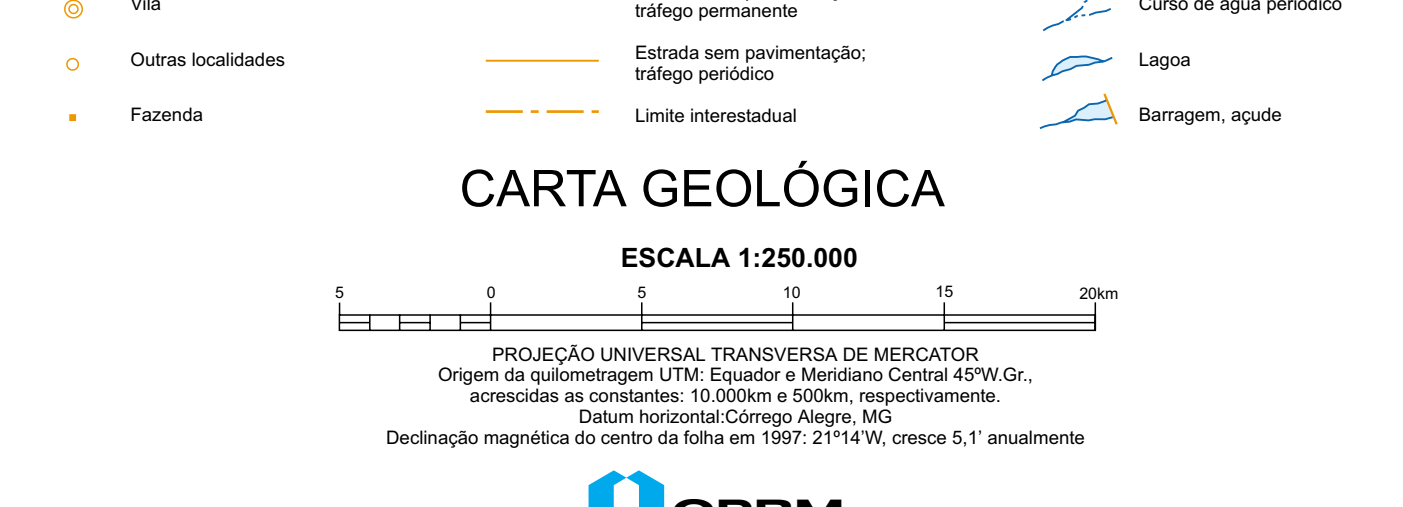
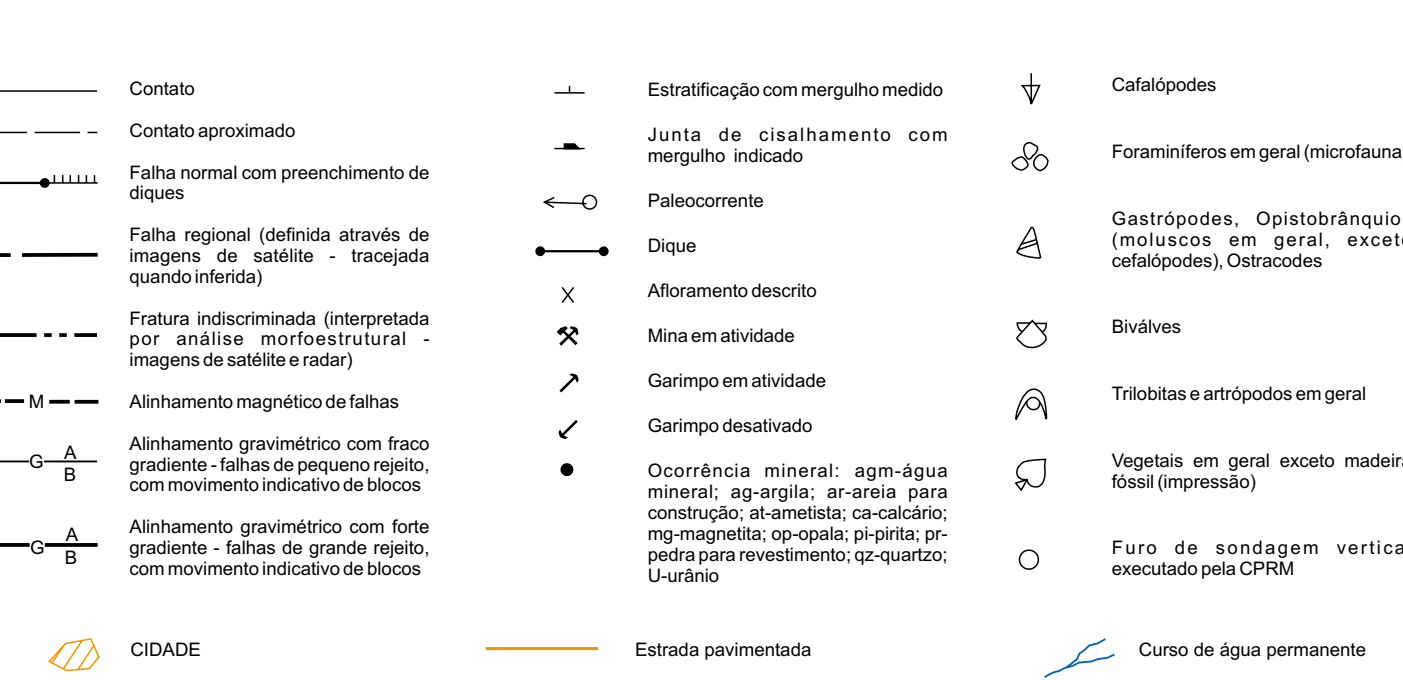


Base planimétrica e tema digitalizados pela Divisão de Cartografia-DICART e partir da folha SB.23.X-B Caxias, escala 1:250.000, 1º Imp. DSG, 1984.
Autores: José Alcyr Pereira Ribeiro, Felício de Melo.



Alteração superficial. Coberturas residuais e/ou transportadas.
Domínio Continental
Leques aluviais. Processos de alteração química.

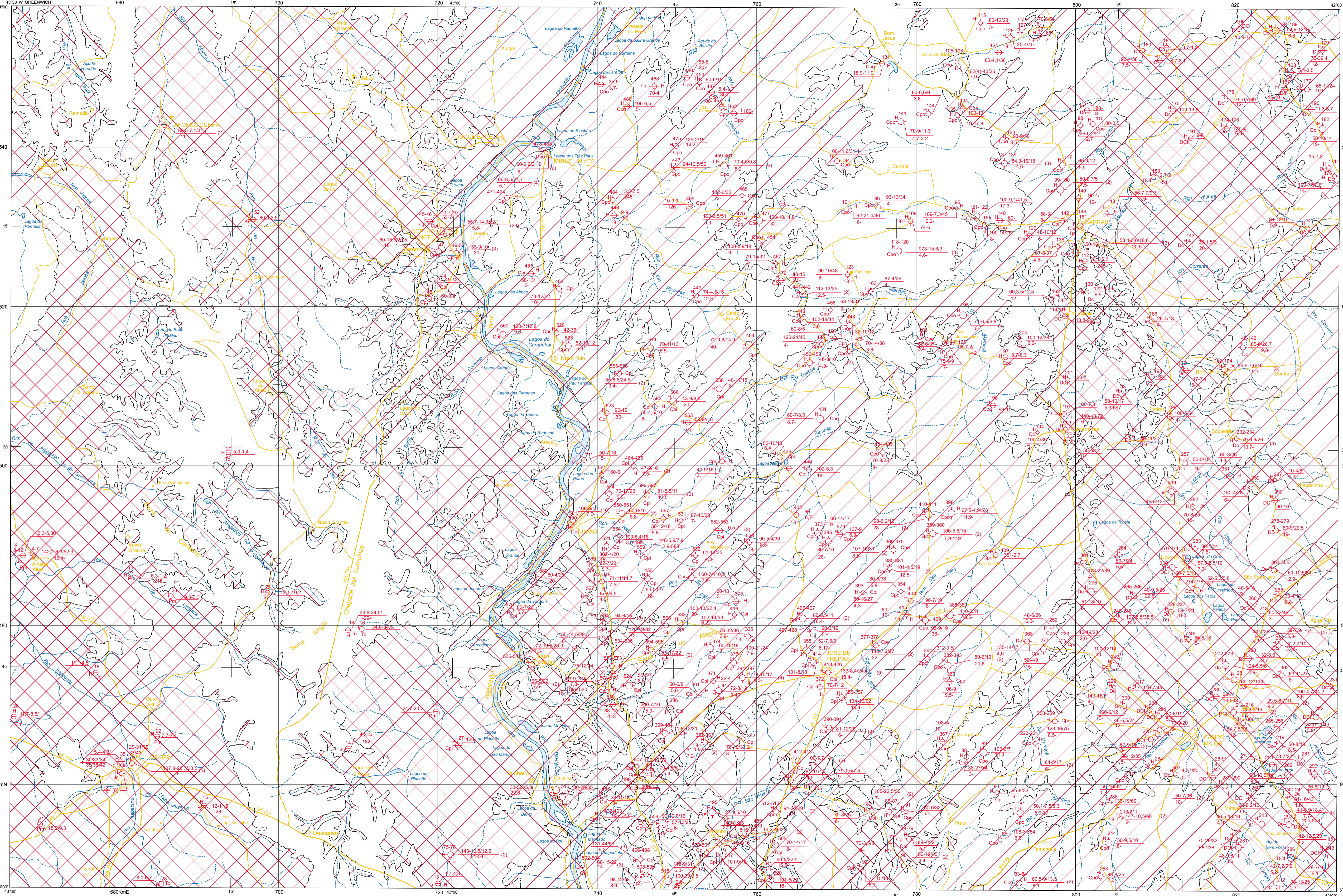
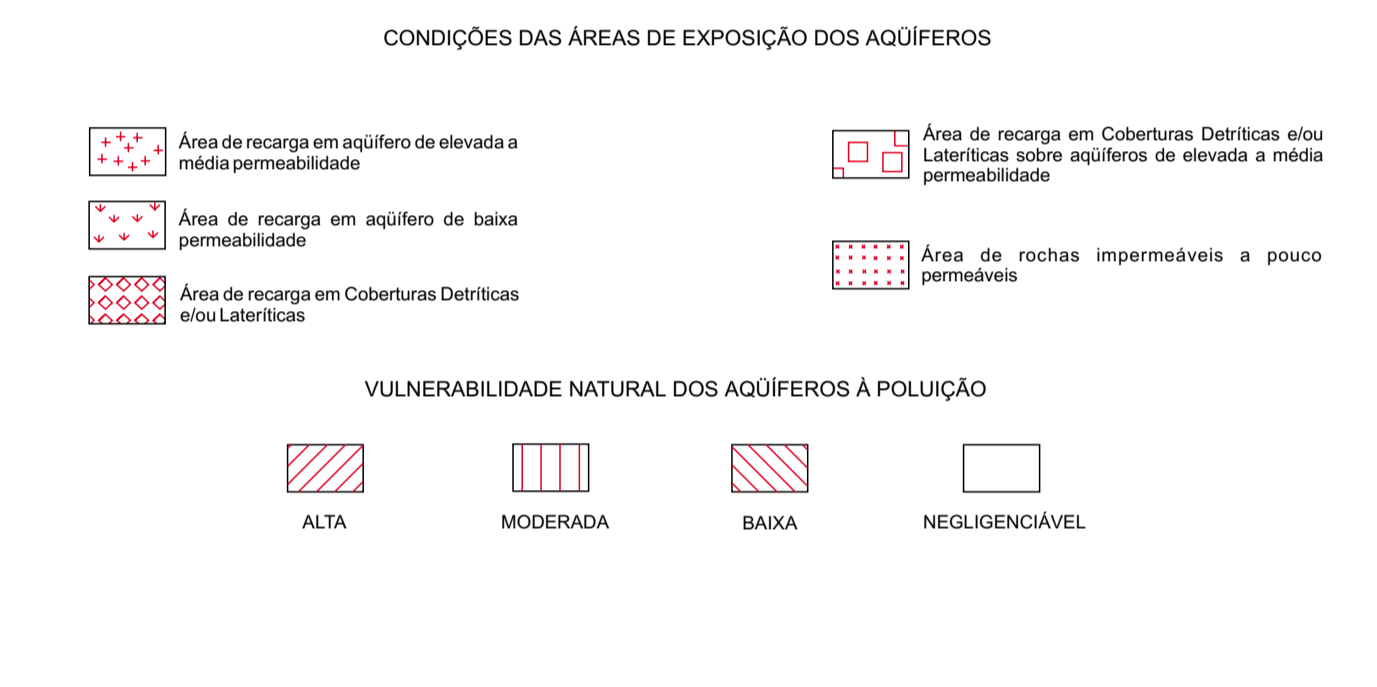
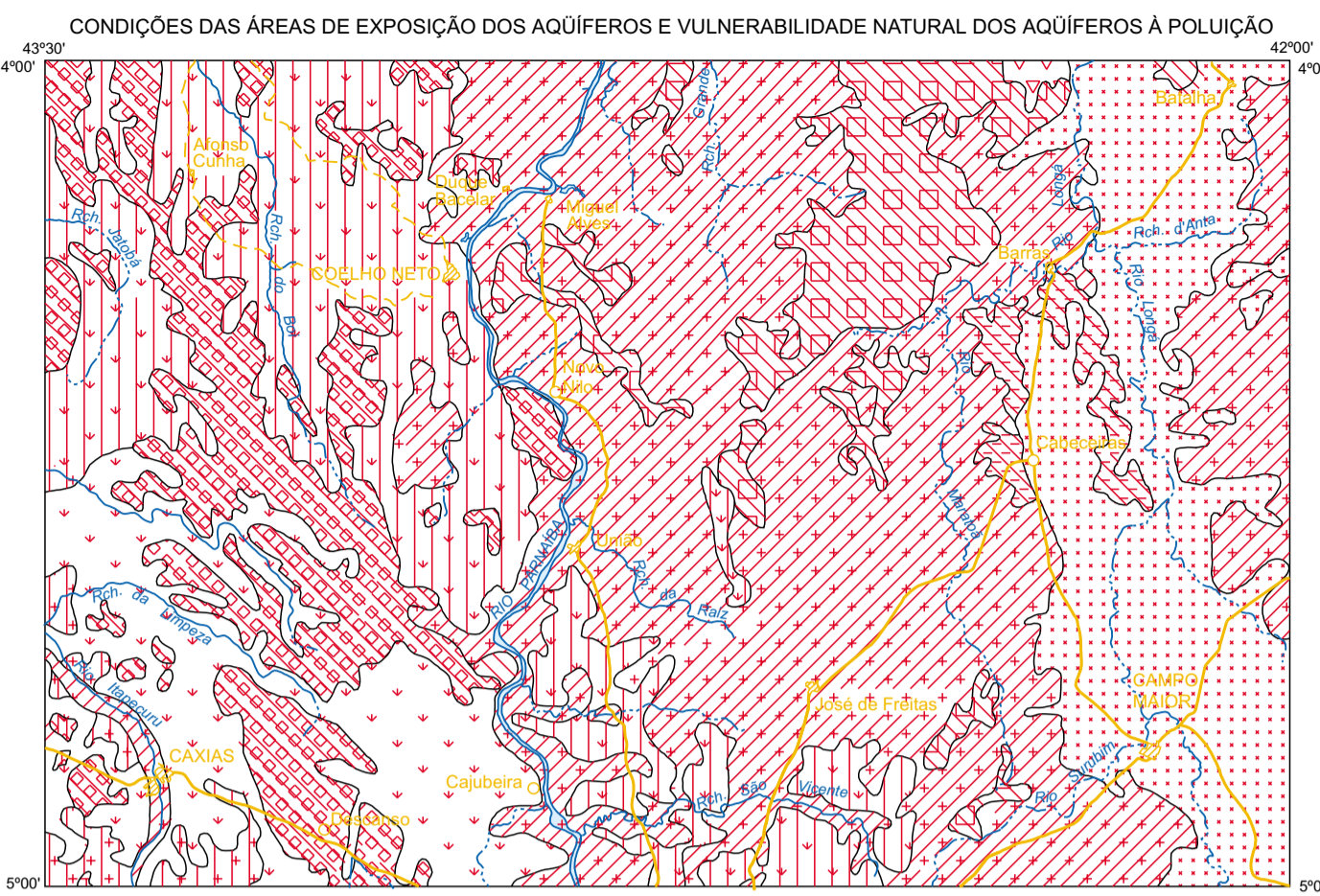
Table with columns: CRONOESTRATIGRAFIA, UNIDADE ESTRATIGRAFICA, DESCRIÇÃO LITOLOGICA/ESTRUTURAS SEDIMENTARES, INTERPRETAÇÃO, POTENCIAL MINERAL.



MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA
SECRETARIA DE MINAS E METALURGIA
CPRM - SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL

PROGRAMA LEVANTAMENTOS GEOLÓGICOS BÁSICOS DO BRASIL
CARTA HIDROGEOLÓGICA - ESCALA 1:250.000 - ANEXO II

FOLHA SB.23-X-B CAXIAS



ZONEAMENTO HIDROGEOLÓGICO

Área com litótipos de elevada permeabilidade e grande potencial hídrico subterrâneo. Indicada para poços com profundidades entre 60 e 350m e vazões de 10 a 70m³/h. Corresponde às áreas aflorantes das formações Cabeças, Poti e Piauí.

Área com litótipos de baixa permeabilidade e fraco potencial hídrico subterrâneo. Indicada para poços com profundidades entre 50 e 80m e vazões de 3 a 10m³/h. Corresponde às áreas aflorantes das formações Longá, Pedra de Fogo, Motuca, Corda, Itapicuru e às Aluviais.

Área de platôs correspondendo às Coberturas. No geral não é recomendada para exploração de água subterrânea por poços profundos. Indicada para poços escavados de grande diâmetro. Subtopo a esses sistemas, localizam-se diferentes formações aquíferas enquadradas nas outras zonas.

PONTOS DE ÁGUA CLASSIFICAÇÃO

Poço escavado Poço Tubular Poço Tubular Abandonado

CARACTERÍSTICAS

1- Aquífero captado (Tc - Cobertura detritico-laterítica; KI - Itapicuru; Jc - Corda; Pm - Motuca; Ppl - Pedra de Fogo; Cpl - Piauí; Cpo - Poti; DCI - Longá; Dc - Cabeças)

2- Número de ordem
3- Profundidade (m)
4 - NE/ND (m)
5 - Vazão (m³/h)
6 - Resíduo Seco (mg/l)

Quando em um ponto forem agrupados diversos poços próximos e da mesma classe:

1 - 22,25 3-4(3) 22,23
5-6 5-6 3-4 5-6

Entre parêntese o número de dados usados para a obtenção da média indicada:
(Ex: 22,25 = 22 a 25) (Ex: 22,23 = 22 a 23)

PRODUTIVIDADE DO POÇO

Alta 3m³/h Entre 40,1 e 100m³/h
Entre 3,1 e 10m³/h > 100m³/h
Entre 10,1 e 40m³/h Não determinada

As vazões são definidas para um rebaixamento de nível de água de 25 metros

USO DA ÁGUA

H - Consumo humano e animal F - Abastecimento industrial I - Irrigação

CIDADE Via Outras localidades Fazenda

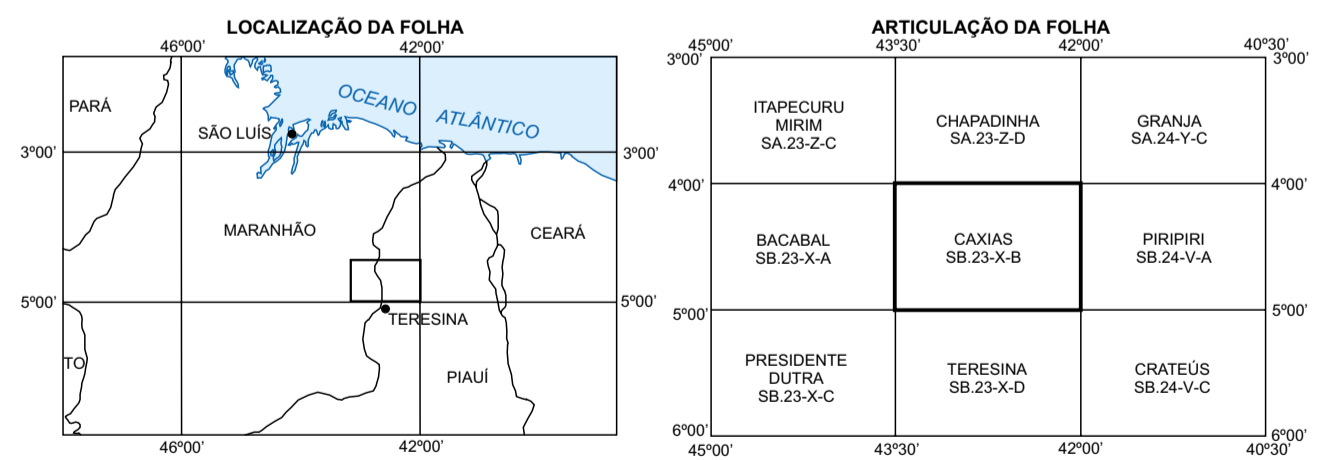
Estrada pavimentada Estrada sem pavimentação, tráfego permanente Estrada sem pavimentação; tráfego periódico Limite intermunicipal

Curso de água permanente Curso de água periódico Lagoa Barragem, açude

Base planimétrica e tema digitalizados pela Divisão de Cartografia-DICART, a partir da folha SB.23-X-B Caxias, escala 1:250.000, 1ª ed., 1ª imp. DSG, 1984. Dados temáticos e atualização da base planimétrica foram referenciados, visualmente, pelos técnicos da Residência de Fortaleza - REFO, responsáveis pelos trabalhos de campo, a partir da interpretação de aerofotos e imagens do satélite. Esta carta foi produzida em meio digital e para publicação no Intranet em março de 2001, utilizando os dados da carta impressa, pela Divisão de Cartografia - DICART / Departamento de Apoio Técnico - DEPAT / Diretoria de Relações Institucionais e Desenvolvimento - DRI. Diretor da DRI: Paulo Antônio Carneiro Dias. Chefe do DEPAT: Giuseppina Giacomini de Araújo. Chefe da DICART: Paulo Roberto Macedo Bastos. Edição Cartográfica: Wilheim Petri de F. Bernard (coord.), Ivanilde Muniz Castanho e Valter Azeiteiro Barradas. Digitalização: Marília S. Salinas do Rosário (coord.), Eloa Rosa de Lima e Carla Cristina Martins da Conceição. Revisão: Carlos Alberto da Silva Copello e Paulo José da Costa Zilves.

Artigos: Liano Silva Veríssimo
Supervisor: Hidrogeólogo: José Carvalho Cavalcante

O Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil - PLGB, e o Programa Grande Carajás - PGC, são executados pela CPRM - Serviço Geológico do Brasil, através de suas Unidades Regionais, sob a coordenação do Departamento de Geologia - DEGEO, Diretoria de Geologia e Recursos Minerais - DGM. Este Projeto foi executado pela Residência de Fortaleza - REFO, tendo sido concluído em 1994. Diretor da DGM: Luiz Augusto Bizzi. Chefe do DEGEO: Sabino Orlando C. Logarico. Coordenador Regional: Márcio Alves da Silva. Coordenador Nacional do PLGB: Inácio de Medeiros Delgado. Coordenador Regional do PLGB: Adelson Alves Wanderley. Coordenador Nacional do PGC: Orlando José Barros de Araújo. Coordenador Nacional do Hidrogeológico: Antônio de Souza Leal.



CARTA HIDROGEOLÓGICA
ESCALA 1:250.000

PROJEÇÃO UNIVERSAL TRANSVERSA DE MERCATOR
Origem da quilômetro UTM: Equador e Meridiano Central 45°W-Gc, coordenadas as constantes: 10.000m e 500km, respectivamente.
Datum horizontal: Córrego Alegre, MG
Declinação magnética do centro da folha em 1997: 2°14'44" W, cresce 5,1" anualmente.

CPRM
Serviço Geológico do Brasil
2000