

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**FILTROS PASSA-BAIXAS PONDERADOS E DADOS SRTM
APLICADOS AO ESTUDO DO PANTANAL DA BAIXA
NHECOLÂNDIA, MS: ASPECTOS TECTÔNICOS E DE
DISTRIBUIÇÃO DE LAGOAS HIPERSALINAS**

Deborah Mendes

Orientador: Prof. Dr. Teodoro Isnard Ribeiro de Almeida

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO
Programa de Pós-Graduação em Recursos Minerais e Hidrogeologia

SÃO PAULO
2008



UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

Relatório de Defesa

Relatório de defesa pública de Dissertação do(a) Senhor(a) Deborah Mendes no Programa: Geociências (Recursos Minerais e Hidrogeologia), do(a) Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo.

Aos 25 dias do mês de agosto de 2008, no(a) Auditório 5 do IGc/USP realizou-se a Defesa da Dissertação do(a) Senhor(a) Deborah Mendes, apresentada para a obtenção do título de Mestre em Ciências - Área: Recursos Minerais e Meio Ambiente, intitulada:

"Filtros passa-baixas ponderados e dados SRTM aplicados ao estudo do pantanal da Baixa Nhecolândia, MS: Aspectos tectônicos e de distribuição de lagoas hipersalinas"

Após declarada aberta a sessão, o(a) Sr(a) Presidente passa a palavra aos examinadores para as devidas arguições que se desenvolvem nos termos regimentais. Em seguida, a Comissão Julgadora proclama o resultado:

| Nome dos Participantes da Banca | Vínculo do Docente | Sigla da Unidade | Resultado |
|--|--------------------|------------------|-----------|
| Teodoro Isnard Ribeiro de Almeida | Presidente | IGc - USP | Aprovado |
| Antonio Conceição Paranhos Filho | Titular | UFMS - Externo | Aprovado |
| Mônica Mazzini Perrotta | Suplente | CPRM - Externo | Aprovado |
| Resultado Final: Aprovado | | | |
| Parecer da Comissão Julgadora * | | | |

Comentários da Defesa (opcional)

Eu, Ana Paula Cabanal Ana Paula, Chefe Administrativo de Serviço - Pós-Graduação, lavrei a presente ata, que assino juntamente com os(as) Senhores(as). São Paulo, aos 25 dias do mês de agosto de 2008.

Antonio Conceição Paranhos Filho
Antonio Conceição Paranhos Filho

Mônica Mazzini Perrotta
Mônica Mazzini Perrotta

Homologado pela CPG em reunião

Teodoro Isnard Ribeiro de Almeida
Teodoro Isnard Ribeiro de Almeida
Orientador(a)

realizada em: 26/08/08
Prof. Dr. Marcos Egidio Silva
Prof. Dr. Marcos Egidio Silva
Presidente
Comissão de Pós-Graduação

* Obs: Se o candidato for reprovado por algum dos membros, o preenchimento do parecer é obrigatório.
Nos termos do artigo 110, do RG-USP, encaminhe-se o presente relatório à CPG, para homologação.

Impresso em: 25/08/2008

AUTORIZO A REPRODUÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Ficha catalográfica preparada pelo Serviço de Biblioteca e Documentação do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo

Mendes, Deborah

Filtros passa-baixas ponderados e dados SRTM aplicados ao estudo do Pantanal da Baixa Nhecolândia, MS: aspectos tectônicos e de distribuição de lagoas hipersalinas. / Deborah Mendes. - São Paulo, 2008.

vii, 67 f. : il.

Dissertação (Mestrado) : IGc/USP

Orient.: Almeida, Teodoro Isnard Ribeiro
de

1. Sensoriamento remoto 2.
Geoprocessamento 3. Nhecolândia (MS): Neotectônica
4. Nhecolândia (MS): Lagoas salinas 5. Nhecolândia
(MS): Lagoas hiposalinas I. Título

*Dedico esta Dissertação a meu pai, poeta e
enxadrista sem fama nem currículo com alguma
perspicácia, que me mostrou que vale a pena viver
com intenção, porque viver por viver é muito pobre.*

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Teodoro Isnard Ribeiro de Almeida pela orientação, paciência e amizade, e por ter me levado a trabalhar neste mundo maravilhoso chamado Pantanal;

À USP pela possibilidade de realizar o presente estudo, à Coordenadoria de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES pela concessão de bolsa de mestrado através do Programa de Demanda Social – DS, cota da Pró-Reitoria de Pós-Graduação, e ao Programa de Apoio à Pós-Graduação – PROAP pelo financiamento parcial dos trabalhos de campo, que resultaram na minha Dissertação de Mestrado;

Ao Prof. Dr. Paulo César Boggiani, do IGc-USP, Ricardo Wey Marques, Diretor do Parque Estadual do Pantanal do Rio Negro (PEPRN), e Instituto Forpus, pela viabilização dos trabalhos de campo;

Ao Fábio Cardinale Branco, que me ajudou nas minhas primeiras incursões nas imagens de satélites e pelo desenvolvimento dos filtros utilizados nesta dissertação;

Às secretárias da Seção de Pós-Graduação, Ana Paula e Magali, sempre prestativas;

Ao Erminio Fernandes, pelas discussões e desabafos nas horas de brabeza;

Ao Prof. Dr. Carlos Roberto Souza Filho, da UNICAMP, pelas prontas respostas às mais diversas dúvidas e pelas imagens ASTER;

À Mônica Mazzini Perrotta, do CPRM-SP, pelas valiosas dicas de como usar o ENVI;

Ao Antônio Tadashi Kikuda, do LIG;

Ao José Carlos e José Milton (os Zés), da Fibra Consultoria, que, graças a esse trabalho, tornaram-se grandes amigos;

À Liliana e Maria da Glória pela leitura, correções e sugestões, mas, principalmente, pela amizade;

À Sílvia Cremonez, pois sem sua companhia esta odisséia dissertativa não seria a mesma;

Aos meus avós, Erasmo e Martha, de quem herdei o gosto pela ciência;

À minha vó Maria, a mulher mais forte que já conheci;

À minha mãe, Dirce, pois sem seu apoio incondicional eu não estaria aqui;

À minha irmã, Paola, com quem aprendi que mesmo nas maiores adversidades é possível rir e seguir adiante;

Ao César, meu marido, e aos meus filhos, Pedro e Gustavo, pois com eles redescobri que podemos crescer até nos tornarmos gigantes.

“Uma idéia-síntese diante do Pantanal. Uma idéia de paisagem que instiga a imaginação dentro da própria esfera do científico. No jogo entre o imaginário e a paisagem, a expressão Mar de Xaraés não foi cunhada por nenhum cronista-viajante, mas sim pela impressão – comparativa e, no limite, poética – da paisagem, impressa nos textos dos cronistas, e suas posteriores interpretações; impressa também nos pesquisadores contemporâneos diante do fato poético-geográfico da imaginação de que a paisagem, em si mesma, lembra o mar. ‘A imagem poética, em sua novidade, abre o porvir da linguagem’ (Bachelard, 1988). Uma imagem elaborada talvez muito mais do impacto poético da paisagem do que da geografia dela. Nesse sentido, essa imagem elabora entrecruzamentos essenciais para a minha perspectiva de pensar o espaço-paisagem-Pantanal. Uma imagem-espaço desse ‘incessante mar que na afável manhã segue sulcando a areia infindável’ (Borges, 1999).”

Mar de Xaraés ou as “reinações” do Pantanal

Mário Cezar Silva Leite

Sociedade e Cultura, V. 5, N. 1, Jan./Jun. 2002, P.

23

RESUMO

MENDES, D. **Filtros passa-baixas ponderados e dados SRTM aplicados ao estudo do Pantanal da Baixa Nhecolândia, MS: aspectos tectônicos e de distribuição de lagoas hipersalinas.** 2008 67 f. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

O Pantanal Matogrossense divide-se em onze sub-regiões com características muito distintas, entre elas a Nhecolândia, cuja porção oeste, a Baixa Nhecolândia, apresenta uma fisiografia única no planeta, com milhares de lagoas salinas e hipossalinas intercaladas de forma aparentemente aleatória. Este ambiente, inserido em uma planície muito mais ampla, tem parte de seus limites bruscos e retilíneos. Um deles, a NW, reconhecido na literatura como de origem tectônica, é dado por reativação do Lineamento Transbrasiliano que soergueu a Baixa Nhecolândia. O outro, a SW, embora também retilíneo, não tem na literatura menção a uma possível origem tectônica. Considerando a dificuldade de se encontrar em areias inconsolidadas evidências diretas de possíveis estruturas, optou-se por buscar em variações topográficas evidências deste evento. A região tem gradiente topográfico extremamente baixo, com declividade para SW dando-se em cm/km e a diferença de altitude encontrada no limite NW da ordem de 4 m. Considerando usar modelos digitais de terreno gerados por imagens SRTM para obter perfis altimétricos das porções lineares dos limites daquele ambiente, encontrou-se o problema de ruídos de alta frequência inerentes ao método, gerando variações de até 16 m na altitude indicada, portanto, várias vezes superiores às variações do terreno. Sendo quase perfeitamente gaussiana a distribuição dos erros em valores negativos e positivos desenvolveu-se um filtro passa-baixas ponderado baseado no princípio dos de média móvel, utilizados para esse fim há décadas. Aplicado este filtro pôde-se não apenas confirmar as variações de altitude do limite NW como obter indicações do limite SW. Com isso pôde-se formular a hipótese de estar toda a Baixa Nhecolândia soerguida em relação às planícies vizinhas, hipótese que tem como corolário a de que a origem do campo de lagos seria função de tal soerguimento, com o rebaixamento do nível de base isolando segmentos das drenagens pré-existentes. A este limite SW nomeou-se Lineamento do Rio Negro, o qual em sua continuidade para NW captura o rio Paraguai e se confunde com o Lineamento Tucavaca, na Bolívia. Por outro lado foi realçada a distribuição das lagoas, utilizando filtros passa-baixas ponderados desenvolvidos previamente para realçar feições geológicas de baixa frequência. Com isso pôde-se verificar padrões diferenciados na distribuição de lagoas salinas e hipossalinas, com concentração de lagoas salinas dando-se, aparentemente, em porções mais elevadas da planície, como confirmado em uma região, no extremo oeste da Nhecolândia. Não se descarta, portanto, uma influência da tectônica na distribuição das lagoas salinas da Baixa Nhecolândia.

Palavras-chave: Baixa Nhecolândia, lagoas salinas e hipossalinas, tectônica ativa, SRTM.

ABSTRACT

MENDES, D. *Weighted low-pass filter and SRTM data applied to Low Nhecolândia Pantanal (MS) study: tectonics aspects and hipersalines ponds arrangement.* 2008 67 f. Dissertation (Master Degree) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

The Pantanal Matogrossense is divided in eleven sub-regions that present highly distinct characteristics. Among these sub-regions is the Nhecolândia, whose West portion presents a unique physiography in the globe, with thousands of randomly disposed saline ponds. This environment is part of a much wider plain and shows part of its limits sharp and straight. The NW limit has a tectonic origin resulting from reactivation of the Transbrasiliano Lineament, which caused the uplift of the Low Nhecolândia. The SW limit is also straight, but no mention to its possible tectonic origin exists. As the sands present are incohesive, there are no direct records of these possible tectonic structures and we opted to use topographic variations to search for evidences. The area has an extremely low topographic gradient and shows cm/km SW-verging declivities, as well as circa 4 m levels differences in the NW limit. Attempts of using digital models generated by SRTM images in order to obtain altimetric profiles of the linear portions in its limits, problems regarding the high-frequency noises that are part of the method were found. This generated up to 16 m variations in the topography, much higher than the real variations on the terrain. As the distribution of both positive and negative errors is nearly gaussian we developed a weighted low-pass filter based on the mobile average principle, which has been used for decades. The application of this filter allowed to confirm not only the variations in the topography in the NW limit but also to obtain information about the SW limit. This lead to the hypothesis that the whole Low Nhecolândia must have been uplifted in relation to the neighboring plains and the field of ponds would have its origin as a function of such uplift as the base level is goes down and isolates segments from former drainages. The SW limit is being called Rio Negro Lineament, which continues to NW and gets the Paraguai River and mix with the Tucavaca Lineament, in Bolivia. On the other hand the distribution of the ponds was remarked when using the weighted low-pass filter previously developed to enhance low-frequency geological features. We could then verify different patterns in the distribution of both saline and hyphosaline ponds. The first concentrates apparently in higher portions in the plain, as confirmed in a region at the West part of Nhecolândia. The tectonic influence in the distribution of the saline ponds in the Low Nhecolândia cannot be discarded.

Keywords: active tectonics, Low Nhecolândia, salty and hyposaline ponds, SRTM.

SUMÁRIO

| | |
|---|----|
| Agradecimentos..... | ii |
| Resumo | iv |
| Abstract..... | v |
| Capítulo 1 – Introdução | 1 |
| Capítulo 2 – Distribuição espacial de diferentes classes de lagoas no Pantanal da Nhecolândia, MS, a partir de dados vetoriais e SRTM: uma contribuição ao estudo de sua compartimentação e gênese..... | 15 |
| Capítulo 3 – Lineamentos Transbrasiliano e Rio Negro: possíveis limites tectônicos do Pantanal da Nhecolândia – MS .. | 29 |
| Capítulo 4 – Resultados Obtidos e Discussão | 47 |
| Capítulo 5 – Conclusões | 57 |
| Capítulo 6 – Referências Bibliográficas..... | 60 |
| Anexo 1 – Carta de submissão do artigo do Capítulo 3 à Revista Brasileira de Geociências | |
| Anexo 2 – Resumo do trabalho apresentado no XLIII Congresso Brasileiro de Geologia, 2006, Aracajú (SE) | |
| Anexo 3 – Resumo do trabalho apresentado no 1º Simpósio de Geotecnologias no Pantanal, 2006, Campo Grande (MS) | |

LISTA DE FIGURAS

Capítulo 1 – Introdução

| | |
|------------------|----|
| Figura 1.1 | 3 |
| Figura 1.2 | 7 |
| Figura 1.3 | 10 |
| Figura 1.4 | 12 |

Capítulo 2 – Distribuição espacial de diferentes classes de lagoas no Pantanal da Nhecolândia, MS, a partir de dados vetoriais e SRTM: uma contribuição ao estudo de sua compartimentação e gênese

| | |
|----------------|----|
| Figura 1 | 19 |
| Figura 2 | 20 |
| Figura 3 | 21 |
| Figura 4 | 22 |
| Figura 5 | 23 |
| Figura 6 | 24 |
| Figura 7 | 24 |
| Figura 8 | 25 |

Capítulo 3 – Lineamentos Transbrasiliano e Rio Negro: possíveis limites tectônicos do Pantanal da Nhecolândia – MS

| | |
|----------------|----|
| Figura 1 | 31 |
| Figura 2 | 36 |
| Figura 3 | 39 |
| Figura 4 | 40 |
| Figura 5 | 41 |
| Figura 6 | 42 |

Capítulo 4 – Resultados Obtidos e Discussão

| | |
|------------------|----|
| Figura 4.1 | 49 |
| Figura 4.2 | 50 |
| Figura 4.3 | 51 |
| Figura 4.4 | 52 |
| Figura 4.5 | 54 |
| Figura 4.6 | 55 |
| Figura 4.7 | 56 |

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1.1. APRESENTAÇÃO

Esta dissertação será apresentada incluindo textos na forma de artigos científicos, em dois artigos redigidos em língua portuguesa, um já publicado e outro submetido à publicação, incluídos no corpo do texto. Cada um deles trata de aspectos do tema abordado ao longo desta pesquisa.

O capítulo introdutório contém a localização da área de pesquisa e apresentação do tema abordado, incluindo a descrição geológica e a metodologia utilizada no processamento das imagens. O segundo e o terceiro capítulos se referem aos artigos. O quarto e o quinto capítulos abrangem as discussões sobre os dados obtidos e a conclusão deste trabalho.

Em anexo encontram-se a carta de submissão do artigo citado, um resumo e um trabalho completo apresentados em eventos científicos ao longo do desenvolvimento da pesquisa.

1.2. LOCALIZAÇÃO E ACESSO

O acesso à área de estudo se dá a partir de Campo Grande, sentido Corumbá, pela Rodovia BR-262, onde, 100 km após a cidade de Miranda, chega-se ao entroncamento denominado Buraco das Piranhas, que dá acesso à Estrada Parque Pantanal, a qual compreende trechos da MS-184 e da antiga rodovia da Integração, MS-228 (**Figura 1.1**).

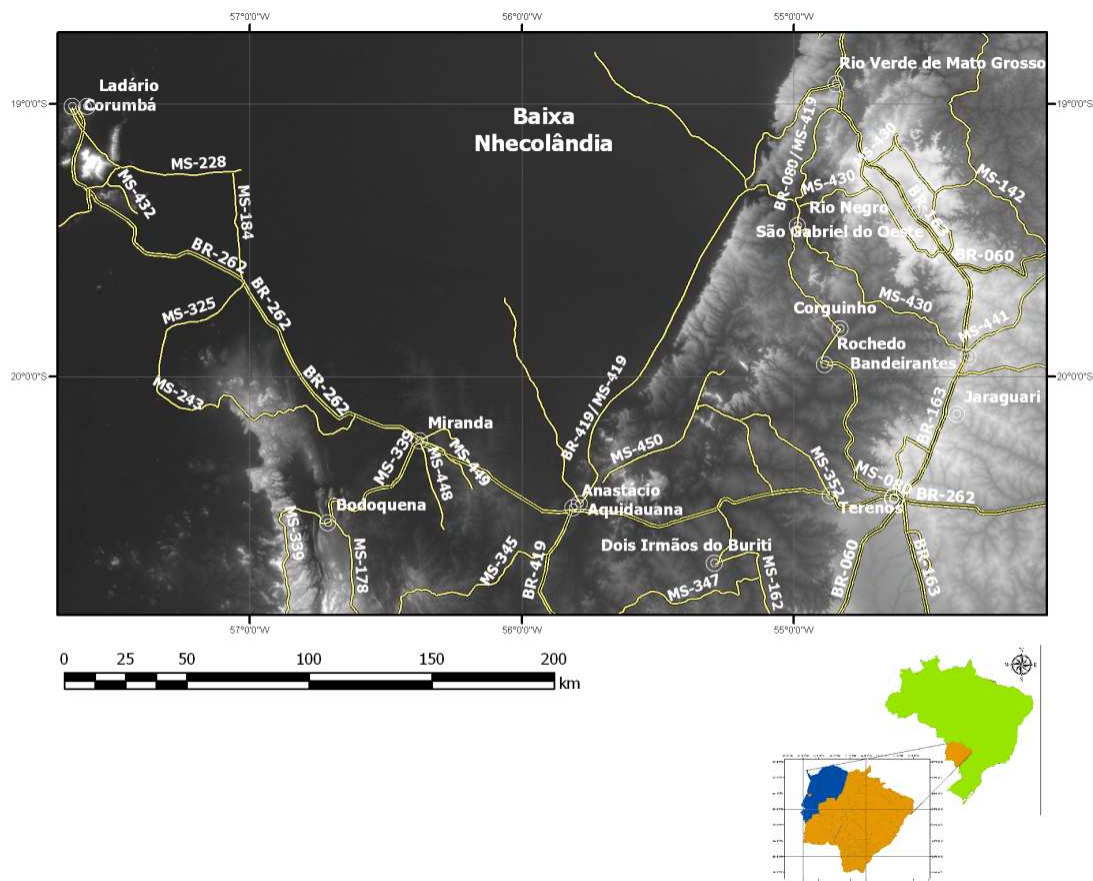


Figura 1.1 – Mapa de acesso à região da Baixa Nhecolândia.

1.3. OBJETIVO

Um dos objetivos deste trabalho é mostrar a aplicabilidade do uso de imagens Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) em associação a filtros de convolução passa-baixas lineares de grandes dimensões na identificação de discretas feições de relevo em regiões de baixo gradiente topográfico, especificamente no Pantanal da Nhecolândia, feições possivelmente associadas à gênese do ambiente e de origem tectônica, como o já conhecido Lineamento Transbrasiliiano, brusco limite norte da Nhecolândia.

Outro objetivo foi testar a aplicação de filtros da mesma família, em desenho não linear, a mapas de lagoas do Pantanal da Nhecolândia para realçar a distribuição não aleatória de lagoas salinas e hipossalinas. Com este conjunto de dados, finalmente, buscar a correlação de eventos de origem tectônica com a disposição dos elementos daquele ambiente, incluindo o desaparecimento em direção ao sul das lagoas existentes na Baixa Nhecolândia, em lineamento ao qual se associa o rumo do rio Negro.

1.4. JUSTIFICATIVA

O Pantanal da Nhecolândia a par de suas características únicas, mesclando em uma planície de grande monotonia sedimentar lagoas ácidas e hiperalcalinas, tem sua gênese recente pouco conhecida. A possibilidade de influência tectônica é grande, pois se trata de uma região reconhecidamente com sismicidade ativa e falhas reativadas. Como trabalhar com este tema no interior no Pantanal, se as areias inconsolidadas daquela bacia mascaram registros de eventuais movimentos de blocos?

Por outro lado a diversidade de lagoas apenas sugere, intuitivamente, uma distribuição não aleatória. Como trabalhar dados pré-existentes para realçar a distribuição de lagoas e permitir o cruzamento desta informação com outras, de origem diversa?

A aplicação e o desenvolvimento de filtros passa-baixas aplicáveis à região estudada permitiram responder às perguntas acima e avançar nos objetivos da pesquisa. A publicação dos resultados naturalmente abre perspectivas não apenas para aplicações futuras das filtragens, incluídos os filtros desenvolvidos nesta pesquisa especialmente para o uso daqueles dados em regiões de muito baixo gradiente topográfico, como para releituras das interpretações aqui feitas e para o avanço no conhecimento do Pantanal.

1.5. TRABALHOS DE CAMPO

Os trabalhos de campo foram realizados em maio e novembro de 2006 e tiveram o intuito de verificar eventuais feições que pudessem auxiliar na interpretação tectônica da área. Tratando-se de uma bacia com sedimentos arenosos inconsolidados e relevo plano, as perspectivas de se encontrar evidências diretas de atividade em seu interior eram sabidamente pequenas. A visualização dos vários elementos superficiais em campanha destinada à obtenção de dados de hidroquímica, em outro viés de pesquisa do orientador, foi fundamental para o desenvolvimento do trabalho. Por outro lado a verificação em campo das diferentes características dominantes nas barrancas a SSW e NNE do rio Negro reforçou a interpretação de soerguimento relativo da Nhecolândia em relação à planície vizinha

1.6. CONTEXTO GEOLÓGICO

A Bacia do Pantanal é uma extensa planície aluvial com cerca de 200.000 km², caracterizada pela presença de grandes leques aluviais (Soares *et al.*, 2003). Nas épocas de chuva, que vão de março a julho, as águas inundam toda região, o que justifica a denominação Pantanal (Assine, 2003).

Assine e Soares (2004) definem o Pantanal como um complexo e incomum local de sedimentação, que além de controles climáticos e dinâmicos, possui também atividade tectônica. Postula-se que a sedimentação tenha tido início ainda no Terciário, após o tectonismo que causou o desmantelamento da superfície de aplainamento, que se encontra recoberta pelos sedimentos das formações Pantanal e Xaraiés, esta última aflorante nos arredores de Corumbá, além dos Aluviões Recentes. Os sedimentos, essencialmente arenosos, têm suas fontes em rochas sedimentares do planalto, principalmente arenitos paleozóicos e mesozóicos da Bacia do Paraná (Assine & Soares, 2004).

A Formação Xaraiés possui quatro litotipos principais, com passagens transicionais entre si: tufo calcário, com vegetais; fósseis, tufo calcário leve, muito esponjoso; travertino, com gastrópodes, e conglomerados com cimento calcífero. Ocorrem, também, rochas estratificadas que resultaram da substituição de folhelhos da Formação Tamengo pelo calcário Xaraiés. Apresenta coloração branca, estrutura esponjosa e baixa densidade. A origem desta formação está diretamente relacionada com os processos intempéricos atuantes sobre as litologias carbonáticas preexistentes (Godói *et al.*, 2001). Esta formação ocorre nos arredores de Corumbá e Ladário.

A Formação Pantanal é identificada por, além dos sedimentos aluvionares do Pantanal, depósitos de leques aluviais, de taludes e lateritos ferruginosos. Tais depósitos situam-se em áreas não inundáveis e originaram-se sob condições climáticas distintas da atual, possivelmente no Quaternário Antigo. Esta unidade pode ser subdividida em três unidades, sendo que a mais antiga representa a planície aluvial antiga, com sedimentos de natureza arenosa e conglomerática; a segunda, aflorante nas zonas alagáveis do Pantanal, mais argilosa; e a terceira encontra-se restrita às calhas dos principais drenos da planície, sendo predominantemente areno-argilosa. Os sedimentos da Formação Pantanal se distribuem amplamente pela área, estendendo-se, para oeste, nas repúblicas do Paraguai e da Bolívia. Sua presença é mais acentuada nas porções

ocidentais da área; a leste penetram em áreas cristalinas arrasadas, em franco processo de erosão remontante (Godói *et al.*, 2001).

Os Aluviões Recentes são depósitos restritos às calhas e margens dos principais rios e córregos da área, fora da zona de influência da planície do Pantanal. Os sedimentos variam de argila a areia, sendo que termos mais grosseiros são ocasionais. Algumas ocorrências aluvionares estão localizadas em drenagens provenientes da serra da Bodoquena. Os sedimentos são depositados próximo ao início da planície pantaneira, quando as drenagens que os transportam atingem o seu perfil de equilíbrio no limite oriental do Pantanal (Godói *et al.*, 2001).

1.6.1. Contexto Tectônico Regional

A deposição das faixas Paraguai e Tucavaca é contemporânea, resultante do rifteamento relacionado à abertura da Laurentia a sudeste de Gondwana (Pimentel *et al.*, 1999). Estes cinturões encontram-se orientados segundo um *trend* paralelo à Cadeia Andina, limitados a NE pelo Cráton Amazônico e a SW pelo Maciço Arequipa, ambos estabilizados por volta de 2,0 Ga. O Cinturão Móvel San Ignacio com idade de 1,3 Ga é o primeiro deles, seguido pelos cinturões Sunsás na Bolívia e Aguapeí-Cuiabá no Brasil, com idades de 1,0 Ga. Os cinturões mais novos seriam o Tucavaca na Bolívia e os cinturões Paraguai-Araguaia e Corumbá no Brasil, com idades entre 0,9 e 0,55 Ga (Sousa, 1991).

A Faixa Tucavaca ocorre como uma grande estrutura na Bolívia e exibe discreta deformação compressiva, destacando-se apenas amplas ondulações e raros cavalgamentos. Sua disposição é sub-ortogonal à Faixa Paraguai (WNW-ENE) (Ruiz, 2005).

A Bacia Sedimentar do Pantanal tem origem relacionada ao contraste de densidade entre as placas litosféricas Sul-Americana (continental) e de Nazca (oceânica), geradora de zona de subducção que causa esforços compressivos na borda oeste do continente com conseqüente soerguimento da Cordilheira dos Andes (Assumpção, 1998). Este movimento provoca uma sobrecarga na crosta continental, instalando-se a leste da cordilheira um sistema típico de *foreland* (**Figura 1.2**) que inclui as zonas geográficas denominadas Zonas Subandinas orientais, quais sejam: Planície do Chaco e Pantanal, as quais se localizam no *foredeep* e *backbulge*, respectivamente. Os padrões de drenagem existentes na planície do Chaco gradam para um nível de base diferente do Pantanal, sugerindo que o *forebulge* age como um alto topográfico que barra os sedimentos no

lado do *foredeep* (Horton & DeCelles, 1997).

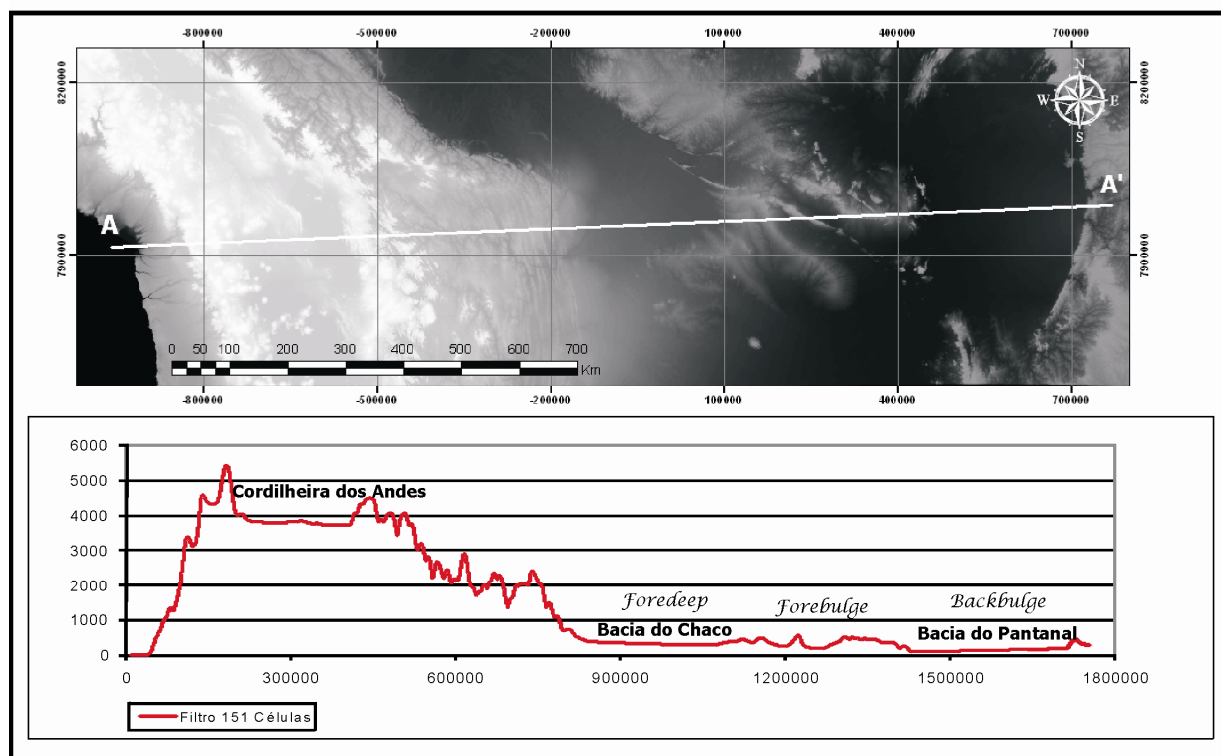


Figura 1.2 – Perfil topográfico Cordilheira dos Andes – Pantanal Matogrossense obtido de Modelo Digital de Elevação gerado de dados SRTM filtrados por filtro passa-baixas ponderado. Observar a bacia de foreland a leste da cordilheira.

No setor da Cordilheira dos Andes que fica entre a Bolívia e o norte da Argentina, o mergulho da Placa de Nazca sob a Placa Sul-americana é de aproximadamente 30°, onde a cordilheira fica consideravelmente mais estreita e a placa subductada fica mais rasa e sub-horizontal (Allmendinger *et al.*, 1997). Horton & DeCelles (1997) postulam que a subsidência que se observa atualmente na bacia pode ser reflexo tanto dos efeitos dinâmicos do baixo ângulo de subducção, produzindo uma deflexão horizontal da litosfera (Mitrovica *et al.*, 1989) quanto dos efeitos isostáticos das rochas alcalinas que compõem a Província Alto Paraguai, referentes ao evento magmático Permo-Triássico (250-240 Ma) que ocorreu ao redor da Bacia do Paraná (Riccomini *et al.*, 2005).

Observam-se algumas áreas de fluxos de alta temperatura na plataforma brasileira, sendo uma delas no Mato Grosso, na borda noroeste da Bacia do Paraná, incluindo também áreas adjacentes aos cinturões brasileiros. Esta região é caracterizada pela presença de grande número

de saltos térmicos que se propagam ao longo de uma zona E-W (Hamza & Muñoz, 1996). Estes fatores, aliados às baixas velocidades das ondas *s* sob as bacias do Pantanal e do Chaco (Assumpção *et al.*, 2006) indicam que a bacia encontra-se em subsidência.

No platô andino, em altitudes acima de 3000 m, stresses N-S predominam. Estresses compressionais E-W são observados nas regiões sub-andinas e plataformas que se prolongam até 1000 km a leste da cordilheira. O estresse horizontal máximo ($Sh_{m\acute{a}x}$) é uniformemente orientado na direção E-W através do oeste da América do Sul (Assumpção, 1992). Isto define uma zona sísmica que inclui parte do Cráton Amazônico e as bacias do Chaco e Pantanal (Assumpção, 1998).

Outro fator que define uma zona de baixas velocidades das ondas sísmicas é o Lineamento Transbrasiliano (Feng *et al.*, 2004), que em conjunção ao contexto do *foreland*, é uma zona estrutural que tem papel especial no desenvolvimento atual da Bacia do Pantanal, definindo alinhamentos das vazantes no sentido NE na sua zona axial e controlando o rio Paraguai por cerca de 50 km (Soares *et al.*, 1998). O corte causado pelo Lineamento Transbrasiliano é visível no limite norte da Baixa Nhecolândia, onde as lagoas características da região desaparecem dando lugar às áreas aplainadas com poucas e dispersas elevações métricas e grande quantidade de depressões alongadas orientadas no sentido NE-SW. Este corte vai desde os limites da Alta Nhecolândia até a confluência dos rios Taquari e Paraguai, denominado de área da Vazante do Corixinho (Fernandes, 2000).

O lobo atual do rio Taquari vem sofrendo avulsões na altura das Fazendas Caronal e Santa Luzia, além da Avulsão Zé da Costa, todas a norte da área estudada, resultando num novo canal distributário (Assine, 2005). Observa-se um desnível entre o bloco norte, onde se situa o rio Taquari e o bloco sul, onde se situa a Baixa Nhecolândia (BN), já observado por Assine & Soares (2004), indicando que o bloco norte subsidiu em relação ao bloco sul, o que poderia explicar os canais abandonados formando lagoas nesta região e a nova configuração do leque aluvial.

1.6.2. Tectônica Ativa e Rios Aluviais

As movimentações tectônicas na área alteraram o nível de base do Pantanal aumentando o espaço de acomodação dos sedimentos ou rebaixando o perfil de equilíbrio dos rios (Assine, 2003). Rios são particularmente sensíveis às inclinações ocasionadas pelas mudanças de gradiente, especialmente em áreas de baixo gradiente (Holbrook & Schumm, 1999).

A análise das imagens de satélite tem revelado que grande parte das estruturas registradas nas rochas subjacentes é refletida nos sedimentos que constituem a planície pantaneira (Godói *et al.*, 2001). A maior parte do sistema fluvial da Planície do Chaco flui paralelamente ao eixo do *forebulge*, exceto o rio Tucavaca, que o corta no sentido ESE. No Pantanal, os rios fluem a partir da Bacia do Paraná na direção oeste e são desviados para sul ao atingirem o rio Paraguai, que corre paralelamente ao eixo do *forebulge* e define a borda oeste da bacia (Ussami *et al.*, 1999).

A velocidade das taxas de deformação determina o ajustamento do canal de drenagem. Isso pode ocorrer lentamente, conforme a progressão da subsidência e movimentos oscilatórios são comuns (Schumm *et al.*, 2000). Kaizuka (1967) *apud* Schumm *et al.* (2000) sumarizou razões de deformação quaternária pelo mundo e determinou que elas variam entre 0,1 mm e 10 mm por ano. A espessura dos sedimentos da Bacia do Pantanal é estimada em 550 metros a partir de dados sísmicos obtidos pela Petrobrás na década de 70, e a taxa estimada de subsidência no quaternário é de 0,22 mm por ano (Assine & Soares, 2004).

As observações mostram que alguns rios que drenam a região tem cursos com direções correspondentes às feições estruturais que afetam a Baixa Nhecolândia, como o caso dos rios Cuiabá, Piquiri, São Lourenço e Taquari, com direção preferencial NE-SW, paralelos ao LTB, e os rios Correntes, Negro, Miranda, Aquidauana, Aquidabã, Branco e Tererê, com direção que varia de WNW-ESE para NW-SE, paralelos ao Lineamento Tucavaca e ao do Rio Negro, definido neste trabalho. Os rios Aquidabã e Branco possuem deflexões em seus canais, mudando seus cursos da direção SW para a direção NW, bem como o rio Negro, que muda de SE para WNW. Já o rio Piquiri mostra deflexão da direção NW para a direção SW.

Dentre os diversos leques aluviais da Bacia Sedimentar do Pantanal, o mais notável é o Leque Aluvial do Rio Taquari, onde Zani *et al.* (2006), estudando a rede de paleocanais existentes na superfície do leque aluvial, caracterizam seis lobos de deposição sedimentar que testemunhariam a evolução hidromorfológica do cone. A área da Baixa Nhecolândia insere-se no lobo 6, sendo a área que preserva feições relictas mais antigas, indicando que a elaboração dos lobos teria um controle hidrodinâmico e influência dos lineamentos regionais. Vale lembrar que as delimitações dos 6 lobos deposicionais apresentados na Figura 1.3 tem concordância espacial com os 6 compartimentos fisiográficos de Fernandes (2000). Os leques continuam ativos, embora muitos lobos estejam abandonados, em parte estabilizados pela vegetação e em parte submetidos a processos de erosão

devido à superimposição de redes de drenagem tributária (Assine, 2003).

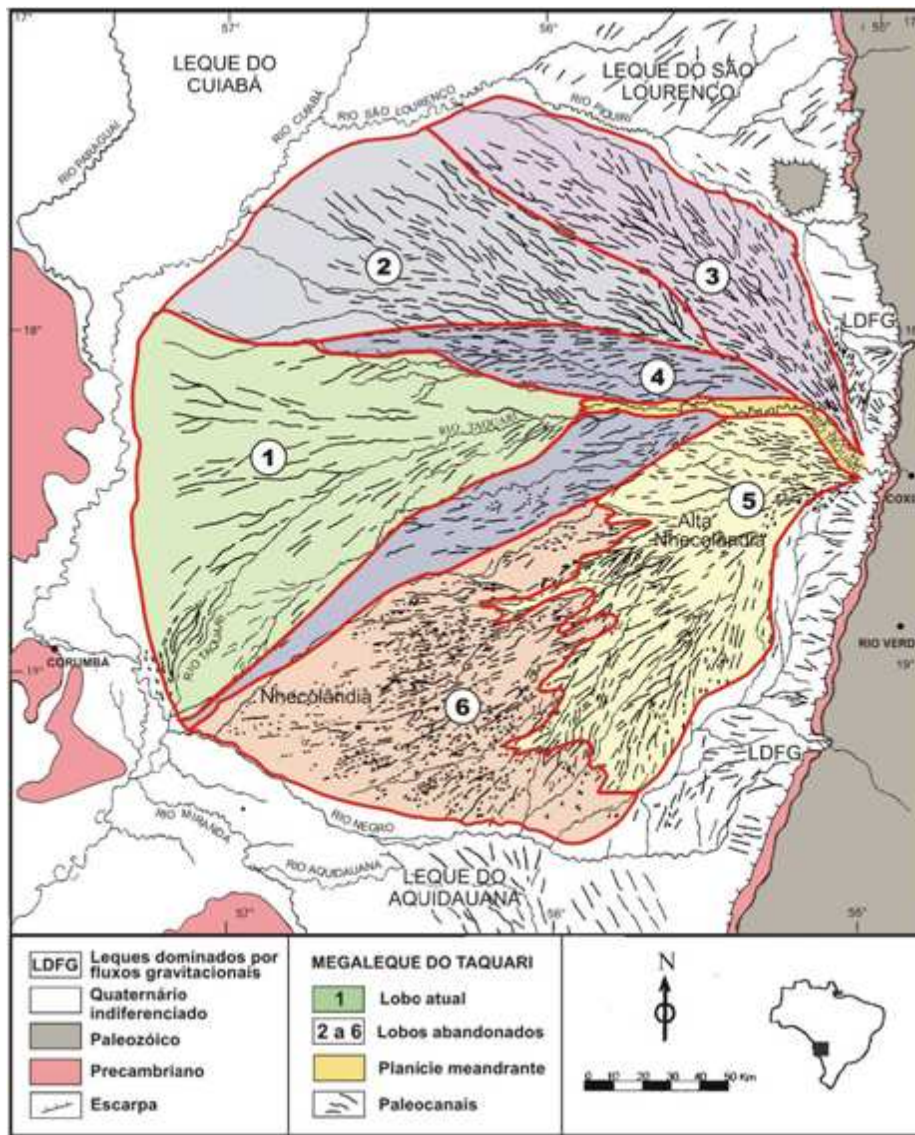


Figura 1.3 – Lobos de deposição sedimentar do Leque Aluvial do Rio Taquari (Zani *et al.*, 2006)

De acordo com Fernandes (2007), o rio Negro, que apresenta linearidades em seu traçado, desce as escarpas da Serra de Maracajú na direção E-W e desemboca na planície pantaneira com curso meandrante em planície estreita e encaixada com nível mais baixo que a planície. Ao encontrar o córrego Anhumas o rio Negro muda de direção, para NNE-SSW, paralelo à Serra de Maracajú-Campo Grande, em curso anastomosado, alcançando estreitas áreas de inundação. Ainda em seu terço superior o rio corre numa área de alagamento, onde seu nível se iguala ao da planície. A partir da confluência com a Vazante Santa Clara ele sofre deflexão de seu canal, mudando sua direção para WNW-ENE e apresentando curso novamente meândrico em estreita planície, com

leito encaixado e nível mais baixo que a planície, onde inicia seu trecho de terço médio. Neste traçado meândrico observam-se deflexões com ângulos próximos aos 90° e quebras de direção de WNW para SW. Mais adiante o rio Negro entra numa área brejosa, o Pantanal do Negro que caracteriza seu terço inferior, tornando-se ramificado, onde recebe águas das vazantes da Baixa Nhecolândia pela margem direita (**Figura 1.4**).

Após sua deflexão, este rio define o fim da Baixa Nhecolândia, onde deságuam vazantes e desaparecem as lagoas características da região dando lugar a uma área brejosa, muito plana e freqüentemente alagada, que coalesce com as planícies dos rios Miranda e Aquidauana (Facincani *et al.*, 2006)

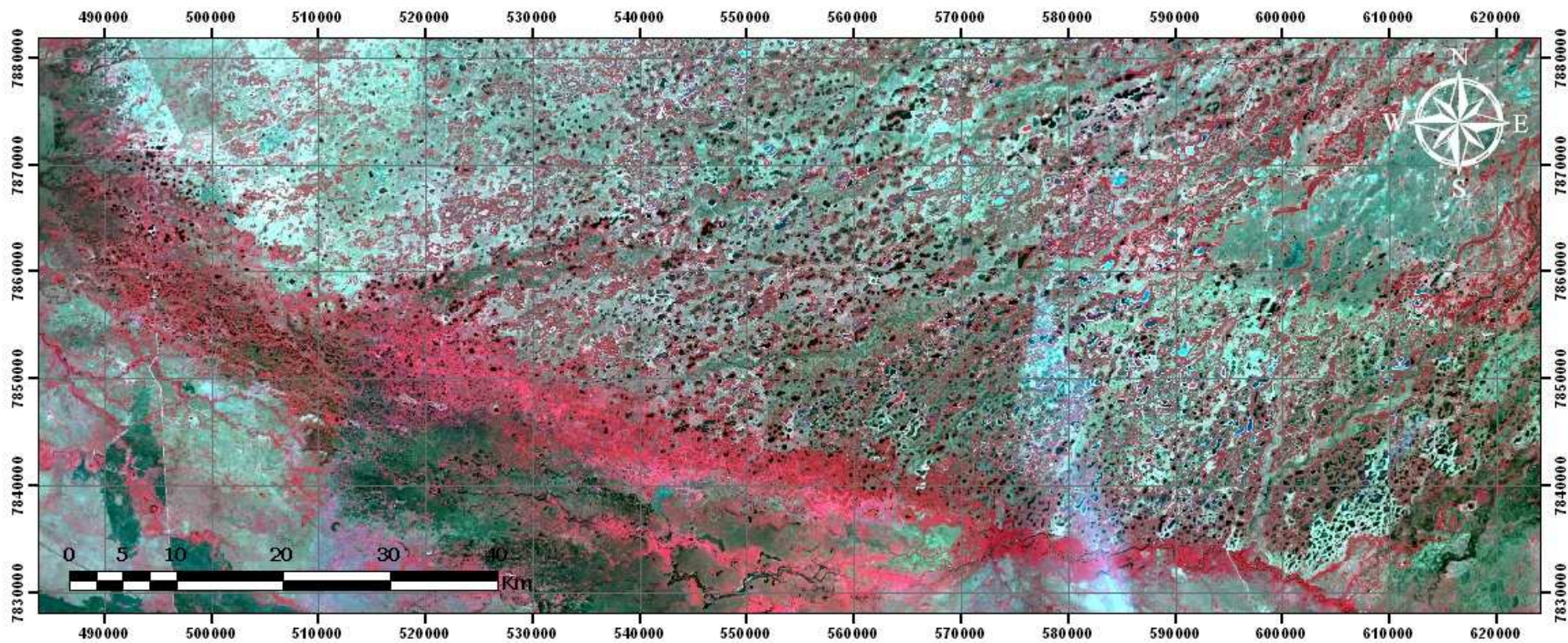


Figura 1.4 – Rio Negro e arredores. Recorte de mosaico de composição colorida de imagens das bandas 321 do sensor ASTER, satélite Terra.

1.7. PROCESSAMENTO DIGITAL DAS IMAGENS UTILIZADAS

1.7.1. Imagens SRTM

Em fevereiro de 2000 o Shuttle Radar Topography Mission foi colocado em órbita, levando a bordo duas antenas receptoras em arranjo bidimensional, operando nas bandas C e X, sendo a primeira dimensão dada pela posição do sensor ao longo da órbita (azimute) e a segunda a distância na direção de visada do sensor (range). São imagens interferométricas que utilizam radar de abertura sintética (SAR), alternativo ao método estereoscópico tradicional (Santos *et al.*, 2006). Possuem resolução horizontal de 90 metros e exatidão vertical altimétrica de 6 metros (calibrado com pontos de controle no terreno) e 16 metros (sem pontos de controle) (Rabus *et al.*, 2003).

As imagens da banda C foram obtidas no site <ftp://e0srp01u.ecs.nasa.gov>, gratuitamente. O mosaico destas imagens foi feito no software ENVI 4.3. A locação dos perfis foi feita no software ArcGis 9.2 para posterior obtenção dos arquivos ASCII com a informação topográfica novamente no software ENVI, na opção Profile. Os softwares foram utilizados do Laboratório de Informática Geológica – LIG, no Instituto de Geociências da USP.

A filtragem destas imagens foi uma parte essencial da pesquisa. O filtro linear utilizado é de média móvel, com ponderação dada pelo decaimento linear dos pesos das células com o aumento da distância do centro do filtro, como apresentado no capítulo 3. A necessidade desta filtragem vem principalmente dos ruídos de alta frequência do tipo *speckle*, mas também para minimizar a influência de fragmentos florestais esparsos, como apresentado no capítulo 2.

1.7.2. Processamento de Imagens ASTER e ETM+ Landsat7

No processamento das imagens ópticas utilizou-se o software ENVI 4.3 e restringiu-se à montagem de mosaicos ASTER e ETM+, aumento de contraste, composições coloridas e filtragens direcionais para realçar eventuais feições discordantes das impressas pelos processos sedimentares e erosivos, com o intuito de identificar mudanças nos padrões de drenagens, que podem ser indicativas de mudanças de blocos tectônicos. Para montagem do mosaico utilizou-se a banda ETM+ 4, obtida no infravermelho próximo, por esta realçar o contraste entre água e solo com ou sem vegetação, tornando a visualização das feições morfológicas mais fácil.

Foi também utilizado mosaico de imagens ASTER em composição colorida RGB 321 para

distinguir as lagoas salinas das hipossalinas, a fim de cruzar sua localização com eventuais mudanças nos padrões de drenagem, o qual foi também obtido no software ENVI 4.3.

Para integrar os dados vetoriais e os dados raster, além da montagem final das figuras, foi utilizado o software ArcGis 9.2.

1.7.3. Perfis Altimétricos

Os perfis altimétricos utilizados nos capítulos 2 e 3 foram obtidos a partir das imagens SRTM perpendicularmente às feições estudadas, quais sejam, a Baixa Nhecolândia e seus limites, a norte o Lineamento Transbrasiliano e, a sul, o do rio Negro.

Foram testados filtros de convolução passa-baixas lineares ponderados com dimensões de 25, 51, 101 e 151 elementos sobre os arquivos ASCII referentes aos perfis. O conceito de baixa e alta freqüência é relativo, pois em perfis extensos a pequena escala tornará feições consideradas de baixas freqüências em escalas maiores para feições de alta freqüência. O tamanho dos filtros é, assim, função da escala de trabalho. Para perfis altimétricos que cortem toda a Baixa Nhecolândia um filtro de 151 elementos será mais adequado que um de 25, pois este último deixará passar feições que na escala de trabalho serão de alta freqüência.

Para montagem dos perfis a partir dos arquivos ASCII gerados e execução da filtragem foram utilizadas planilhas do software Microsoft Office Excel 2007.

1.7.4. Filtragem dos mapas rasterizados de lagoas salinas e hipossalinas

As cartas temáticas digitais referentes às lagoas salinas e hipossalinas foram filtradas por filtro passa-baixas proporcional definido em Branco (1998), utilizando-se kernels de 25 x 25, 51 x 51, 101 x 101 e 151 x 151 elementos. Os de tamanho intermediário, com 51 x 51 e 101 x 101 elementos, produziram melhores resultados.

CAPÍTULO 2

DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DE DIFERENTES CLASSES DE LAGOAS NO PANTANAL DA NHECOLÂNDIA, MS, A PARTIR DE DADOS VETORIAIS E SRTM: UMA CONTRIBUIÇÃO AO ESTUDO DE SUA COMPARTIMENTAÇÃO E GÊNESE

Trabalho publicado na revista Geologia USP – Série Científica, v.7, n.2, p.95-107, outubro de 2007.

Distribuição Espacial de Diferentes Classes de Lagoas no Pantanal da Nhecolândia, MS, a Partir de Dados Vetoriais e SRTM: uma Contribuição ao Estudo de sua Compartimentação e Gênese

Teodoro Isnard Ribeiro de Almeida¹ (talmeida@usp.br), Ermínio Fernandes², Deborah Mendes¹, Fábio Cardinale Branco³, Joel Barbujianni Sígolo¹

¹Departamento de Geologia Sedimentar e Ambiental - Instituto de Geociências - USP
R. do Lago 562, CEP 05508-080, São Paulo, SP, BRA

²Centro Universitário Senac, São Paulo, SP, BRA

³EnvironMentality, São Paulo, SP, BRA

Recebido em 02 de março de 2007; aceito em 13 de setembro de 2007

Palavras-chave: sensoriamento remoto, SRTM, filtros de convolução, Pantanal, Nhecolândia, lagoas ácidas/alcalinas.

RESUMO

O trabalho apresenta o produto da aplicação de filtros de convolução proporcionais de grandes proporções sobre cartas temáticas rasterizadas de lagoas salinas, hipossalinas e lagoas totais na Nhecolândia. As imagens filtradas mostram diferentes distribuições espaciais das lagoas salinas e hipossalinas bem como as regiões de dominância relativa de um e outro tipo de lagoa. Os resultados demonstram haver relativa independência entre tais distribuições, possivelmente indicando a presença de sutis diferenças ambientais ao longo da gênese recente dos mais peculiares elementos do meio físico da Nhecolândia. Estes dados são cruzados com perfis altimétricos elaborados a partir de dados SRTM. Estes dados foram tornados operacionais após filtragem com filtro passa-baixas de média móvel ponderada, já que ruídos de alta frequência do tipo *speckle* associados à monotonia topográfica tornam a relação sinal/ruído demasiado baixa, dificultando ou inviabilizando a obtenção de dados. A hipótese de estar a Nhecolândia topograficamente elevada em relação às planícies vizinhas pode ser confirmada após o processamento dos perfis altimétricos. Outra hipótese, relacionada acerca da predominância de lagoas salinas em áreas soerguidas em relação à sua vizinhança imediata, foi também verificada ao menos em parte.

Keywords: remote sensing, SRTM filtering, convolution filters, Pantanal, Nhecolândia, alkaline/acid lakes.

ABSTRACT

This paper presents the application of proportional convolution filters with large size kernels on rasterized thematic maps of saline and hyposaline lagoons, and all lagoons in the Pantanal of Nhecolândia. The filtered images show the spatial distribution of the saline and hyposaline lagoons as well as the relative predominance of each lagoon type. The results demonstrate a relative independence between such distributions, indicating the presence of subtle environment differences during the recent stages of formation of the most peculiar elements of Nhecolândia. These data are crossed with topographical profiles elaborated from SRTM data rendered operational for this plain region after filtering with low-pass mobile average filters. The hypothesis that Nhecolândia is topographically higher in relation to neighboring plains was confirmed after profile filtering. Another hypothesis, related to the predominance of saline lagoons in relatively uplifted areas, was also at least partially confirmed.

INTRODUÇÃO

O Pantanal, a maior planície inundável da Terra, com 138.183 km², divide-se em onze sub-regiões com características muito distintas (Silva e Abdon, 1998). Duas destas regiões – Paiaguás e Nhecolândia – ocupam quase integralmente o leque aluvial do rio Taquari, com uma área de 54.125 km². Este leque é um sistema deposicional complexo com forma quase circular de 250 km de diâmetro, podendo ser considerado o maior megaleque atual (Assine, 2003).

A área de estudo é o Pantanal da Baixa Nhecolândia, cujos 18.000 km² ocupam a porção sudeste do Leque do Taquari. Distingue-se das demais sub-regiões do Pantanal por sua fisiografia peculiar, cuja caracterização, como abordam Fernandes et al. (1999), é essencial para a compreensão daquele ambiente. Esta fisiografia pode ser definida pela presença de Savanas Gramíneo-Lenhosas sazonalmente inundadas e limitadas por fragmentos de Savanas Florestadas em elevações de 1 a 3 m (conhecidas na região respectivamente como “vazantes” e “cordilheiras”) e numerosas lagoas com características espaciais, físicas, químicas e biológicas muito variadas. Tais lagoas podem ser agrupadas em diferentes classes de acordo com suas características, tais como pH (Almeida et al., 2003), salinidade, grau de arredondamento e orientação. Estas lagoas compõem a mais notável e característica das feições do meio físico daquele ambiente, relacionando-se, de forma ora mais ora menos evidente, com os demais elementos do meio físico de ocorrência generalizada na Nhecolândia, as cordilheiras e as vazantes. A análise da farta literatura que descreve o ambiente, como em Klammer (1982), Mourão (1989), Sakamoto (1997), Silva e Abdon (1998), Gesicki e Riccomini (1998), Fernandes (2000, 2003), Almeida et al. (2003), Assine (2003) e Soares et al. (2004), indica que esta fisiografia deva-se a uma complexa combinação de processos geológicos, biológicos, hidrológicos, climáticos, sedimentares, geoquímicos e neotectônicos. Assim, embora seja um ambiente único no planeta e conhecido por sua peculiar fisiografia e abundante fauna, tem sua gênese e funcionamento pouco conhecidos.

As primeiras menções a respeito da geologia do Pantanal estão em Castelnau (1887 apud Almeida, 1945) e Lisboa (1909 apud Almeida, 1945). O primeiro é relato de naturalista, referente ao trecho de subida do Rio Paraguai de sua expedição pela América do Sul. O segundo vem da expedição organizada para estabelecer o traçado da Ferrovia Noroeste. Posteriormente Paiva e Leinz (1939 apud Almeida, 1945) investigaram a geologia e fisiografia da região e as possibilidades de ocorrência de petróleo na região em pesquisa do DNPM – Departamento Nacional da Produção Mineral – entre os anos de 1936 e 1938, demonstrando o conhecimento superficial da geologia daquela planície.

Cunha (1945) apresenta breve descrição da geologia da região da Nhecolândia, a qual caracteriza como uma região plana com solo arenoso com camadas de argila nas proximidades de corpos de água. Destaca este autor a alta salinidade de muitos desses corpos de água, apresentando os primeiros resultados de salinidade e composição química das águas de algumas destas lagoas. É, entretanto, apenas com Almeida (1943, 1945) que é definida a Bacia do Pantanal. Esta Bacia é uma depressão tectônica interior, com embasamento constituído por rochas metamórficas neoproterozóicas dos grupos Cuiabá e Corumbá e, em sua porção oriental, rochas sedimentares de unidades paleozóicas da Bacia do Paraná que inclusive afloram. Sua origem é discutida na literatura, que apresenta diferentes modelos tectônicos, como em Shiraiwa (1994), Ussami, Shiraiwa e Dominguez (1999) e Assumpção (1998). Os modelos relacionam a formação desta bacia em hemi-graben a movimentos relativos das Placas Sul-americana e de Nazca, causando esforços extensionais no continente. A presença de atividade neotectônica na região é abordada em diversos trabalhos que expõem, por exemplo, evidências de atividade do Lineamento Trans-brasileiro (Rabelo e Soares, 1999) e estruturas cortando sedimentos holocênicos na borda Sul da bacia (Gesicki e Riccomini, 1998).

O Pantanal é assim um amplo trato deposicional dominado por sedimentação aluvial, onde o Rio Paraguai é o rio tronco, coletor das águas de vários leques aluviais, sendo o mais importante o Leque do Taquari. A espessura máxima dos sedimentos, com predominância absoluta de areias quartzosas, é estimada em 550 m a partir de dados sísmicos, e a taxa estimada de subsidência no quaternário é de 22 cm/1.000 anos (Assine, 2003). Desta forma, postula-se que a sedimentação tenha tido início ainda no Terciário, após o tectonismo que causou o desmantelamento da superfície de aplainamento, a qual constitui, possivelmente, o assoalho da bacia, que se encontra recoberto pelos sedimentos da Formação Pantanal (Almeida, 1943). A partir do trabalho de Almeida (1945) diversos autores têm aceitado a possibilidade de uma origem eólica para as areias da região da Nhecolândia. Almeida levantou esta hipótese devido à presença de areias brancas, bimodais, com granulometria fina a média e à detecção de uma barreira arenosa interrompendo um canal fluvial, interpretada como uma possível duna eólica. Segundo Assine (2003), outros autores ampliaram esta interpretação, considerando que as elevações de até 4 m, as “cordilheiras”, bastante comuns em toda a área da Nhecolândia, seriam a expressão morfológica de antigas dunas, e que as lagoas teriam sua origem nos locais de deflação eólica. Porém, Soares, Soares e Assine (2004) destacam não terem encontrado, em campo e imagens, evidências de campos de dunas. Ao contrário, indicam a presença freqüente de lagoas organi-

zadas em rosário, feição típica de remanescentes de antigos canais. A bimodalidade das areias, descrita em Almeida (1945), pode ser uma feição herdada da área-fonte onde ocorrem arenitos eólicos finos a médios da Formação Botucatu, bem como areias grossas da Formação Furnas. Mas mesmo que aquelas areias tenham sido trabalhadas eolicamente na região, em períodos climáticos mais secos, as feições sedimentares teriam sido completamente destruídas após o Pleistoceno.

Com base no padrão geométrico de paleocanais e utilizando imagens Landsat MSS e TM, Assine (2003) delimitou seis lobos constituintes do leque aluvial do rio Taquari. Embora seja notável que apenas o lobo onde se situa a Nhecolândia apresente-se quase que totalmente recoberto por milhares de lagos, não foram encontradas, até o momento, menções a diferenças geológicas entre este e os demais lobos do mesmo sistema deposicional que justifiquem tal diferença do meio físico e biótico: embora ocupando apenas uma fração do Leque Aluvial do Taquari e dividindo com a planície a Norte o mesmo substrato, tem a Nhecolândia seus limites dados pelo abrupto desaparecimento da característica alternância de savanas, fragmentos florestais e lagoas salinas e hipossalinas. E internamente, ainda que se trate de uma região de grande monotonia topográfica e de substrato, há diferentes fácies em função das densidades de ocorrência dos elementos do meio físico. A compartimentação da Nhecolândia, dada pela distribuição destas fácies, já vem sendo abordada (Fernandes, 2000, 2007; Almeida et al., 2003; Fernandes et al., 2005; Melero et al., 2005), mas seu significado, em uma análise genética, é ainda obscuro. Soares, Soares e Assine (2004) propõem que com a umidificação do Pantanal após o final da glaciação do Pleistoceno houve elevação regional do freático, levando à formação das lagoas nas depressões de deflação. Inicialmente todas seriam de água doce e as isoladas, alimentadas apenas pelo freático, teriam se tornado progressivamente salobras e salinas.

As principais perguntas da pesquisa que levou a este trabalho – e que não são aqui respondidas – referem-se à contemporaneidade da origem das lagoas salinas e hipossalinas e se as lagoas compõem um ambiente que está estabilizado. Este trabalho tão somente aporta informação da espacialização dos mais característicos elementos do meio físico daquele sistema, as lagoas salinas (e alcalinas a hiperalcalinas) e hipossalinas (e ácidas a neutras). Acredita-se que a existência de lagoas salinas e de elevada alcalinidade (com pHs podendo ultrapassar 10) informem condições ambientais extremamente peculiares que permitiram seu aparecimento e permitem sua subsistência, aspectos não explicados na literatura. Acredita-se ainda que o conhecimento das tendências da distribuição de tais lagoas, e das relações espaciais que mantêm com

as lagoas ácidas e hipossalinas, podem auxiliar na compreensão do funcionamento atual da Nhecolândia como um todo, não se descartando sua associação preferencial a blocos tectonicamente alçados ou a subáreas poupadas pela erosão. Para tanto tais dados são localmente cruzados com perfis altimétricos extraídos de dados SRTM, criando um conjunto de informações cuja interpretação poderá ajudar a esclarecer aspectos da gênese recente da Nhecolândia e das perspectivas de seu futuro frente às agressões antrópicas que vem sofrendo.

OBJETIVOS

A presença de diferentes fácies na Nhecolândia, definidas pela distribuição diferenciada de lagoas salinas e hipossalinas, é facilmente observada. O objetivo deste trabalho é propor uma espacialização destas fácies e, localmente, cruzá-la com perfis altimétricos para examinar a eventual correlação de discretos desníveis topográficos de origem tectônica ou erosiva. A compreensão dos processos que envolvem a distribuição horizontal e vertical das concentrações de lagoas salinas e hipossalinas na Nhecolândia é essencial para o entendimento de seu funcionamento.

MATERIAIS E MÉTODOS

Sobre a imagem Landsat 5 TM de órbita e ponto 226/73, obtida em 20/10/1990, cobrindo integralmente a Baixa Nhecolândia, foi feita por Fernandes (2007) no software SPRING uma classificação supervisionada (classificador Bhattacharya) após segmentação prévia. Foram definidas duas classes temáticas: Lagoas de água doce e Lagoas salinas. Para a aquisição de amostras para treinamento, foi utilizado como critério a separação de classes de salinidade pelos dados de condutividade elétrica coletados pela equipe em 156 lagoas. Tais dados permitiram classificar as lagoas levantadas em duas classes, com baixa confusão, lagoas de água doce ($CE < 750 \mu S.cm^{-1}$) e salinas ($CE > 750 \mu S.cm^{-1}$). Criadas as classes, as amostras de teste apresentaram uma coerência de 100% dos valores dos pixels agrupados. Aplicado o processo de classificação, obteve-se mapa temático com as duas classes, posteriormente vetorizadas em polígonos a partir dos *shapes* “Lagoas doces” e “Lagoas salinas” e elaborou-se um terceiro *shape* chamado “Lagoas totais” que nada mais é do que a soma dos vetores das duas primeiras classes.

As cartas temáticas referentes a cada classe foram transformadas em formato raster e filtradas por filtro passa-baixas proporcional (Branco, 1998), utilizando-se *kernels* de diferentes tamanhos: 25 x 25, 51 x 51, 101 x 101 e 151 x 151 elementos. Os de tamanho intermediário, com 51 x 51 e 101 x 101 elementos, produziram melhores resultados, per-

mitindo a espacialização de tendências em diferentes escalas e introduzindo deformação desprezível. Finalmente as imagens filtradas foram combinadas no espaço RGB, permitindo indicar as regiões de predominância de um e outro tipo de lagoa. Posteriormente as cores foram transformadas em tons de cinza para apresentação.

A partir dos dados SRTM foram obtidos perfis com informação da topografia. Este tipo de dado, entretanto, é muito sensível às variações das superfícies na vertical, o que é grave problema em regiões de topografia muito plana, como é o caso da Nhecolândia: a presença de fragmentos esparsos de vegetação florestal introduz variações de alta frequência nas respostas, variações muito mais importantes que as devidas ao relevo (Kellndorfer et al., 2004), cuja magnitude regional não ultrapassa a razão de dezenas de cm/km. Acrescenta-se a este um problema maior, dado pelos ruídos de alta frequência (e baixa magnitude) do tipo *speckle* (interferências construtivas e destrutivas por diferenças de fase) e de diferenças entre as superposições das faixas iluminadas e a distribuição dos erros em valores negativos e positivos é quase perfeitamente gaussiana (Rodriguez et al., 2004). O histograma dos erros para a América do Sul, apresentada por aqueles autores, mostra apenas um pequeno deslocamento da moda para a direita, implicando em tendência de aumentar a altitude real em cerca de 50 cm (Figura 1).

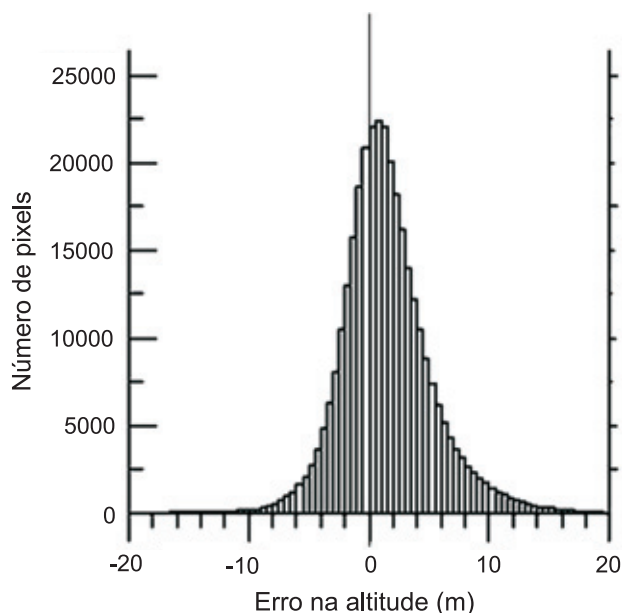


Figura 1. Histograma de erros na altitude determinada pelos dados SRTM para a América do Sul, originados pelos fenômenos do *speckle*. Modificado de Rodriguez et al. (2004).

Estas feições de alta frequência, em regiões muito planas, podem ser mais intensas que as variações reais da altitude. Em outras palavras, o ruído (e as variações devidas aos fragmentos florestais) é consideravelmente mais intenso que o sinal. Para solucionar estes problemas considerou-se o princípio de que o ruído do tipo *speckle* gera alternadamente exageros positivos e negativos e de que a topografia da Nhecolândia não apresenta variações bruscas, mas, ao contrário, variações muito lentas (cm/km), representando feições de frequência muito baixa. Neste caso as médias são mais representativas dos sinais que o dado original, como apresentam Kellndorfer et al. (2004), reduzindo ou eliminando as altas frequências, que são integralmente devidas a ruído (ou mais raramente ao dossel dos fragmentos).

O modelo de filtro passa-baixas utilizado é um de média móvel, de grande simplicidade teórica e ferramenta de uso comum na suavização de ruído em sinais analíticos. Seu princípio básico é dividir o sinal analítico em uma série de intervalos com a mesma largura, seqüencialmente e ponto a ponto, e substituir o valor do ponto central do intervalo pelo valor médio do intervalo (Cerqueira et al., 2000). Estes autores alertam que este tipo de filtro distorce os sinais de forma diretamente proporcional à largura do intervalo adotado na obtenção da média que substituirá o dado original. No entanto, como o ruído dos dados SRTM é do tipo *speckle*, este problema é muito minimizado, salvo se os intervalos de filtragem forem grandes o suficiente em relação às feições de baixa frequência reais, dadas pela variação da topografia. Foram testados filtros de convolução passa-baixas lineares com dimensões de 25, 51, 101 e 151 elementos sobre os arquivos ASCII referentes aos perfis e, para reduzir a deformação do sinal, foi introduzida uma ponderação: o peso de cada pixel é tanto maior quanto mais próximo do elemento central do filtro, o que substituirá o valor original, que tem ponderação 1.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O resultado da filtragem dos mapas rasterizados de lagoas salinas, lagoas hipossalinas e lagoas totais mostrou uma distribuição desigual dentro da Baixa Nhecolândia, com maior concentração na porção E-SE (Figura 2A), a qual está associada a superfícies em média discretamente mais elevadas que a porção NW (Figura 5). As lagoas hipossalinas predominam sobre as salinas e têm uma distribuição mais generalizada (Figuras 2B e 2C), o que não impede haver maiores concentrações em porções contíguas ou relativamente contíguas, implicando na dominação espacial dominada ora por um ora por outro tipo de lagoa.

Os padrões de distribuição das lagoas salinas e hipossalinas (Figuras 2B e 2C) são claramente distintos, sugerindo

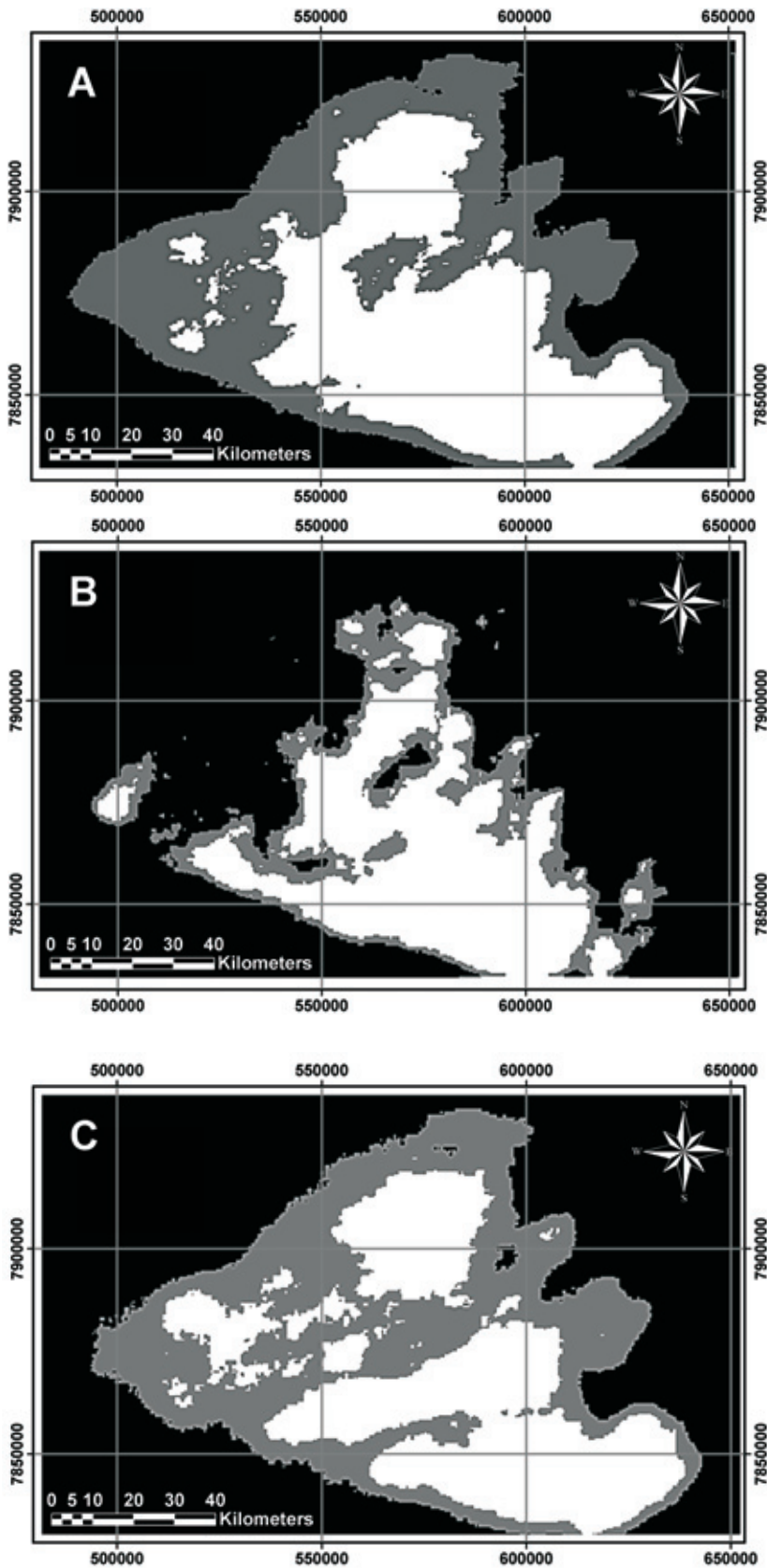


Figura 2. Distribuição das lagoas na Nhecolândia indicada pela filtragem por filtro passa-baixas ponderado de 51 elementos de mapas rasterizados: em **A**, total de lagoas; em **B**, lagoas salinas; em **C**, lagoas hipossalinas. Em branco, maiores densidades de lagoas; em cinza médio, densidades baixas a moderadas; em negro, ausência total ou muito baixa densidade de lagoas.

diferentes controles para sua existência. Assim as lagoas salinas estão dispostas de forma aparentemente mais massiva, porém quase ausentes em toda a porção NW da Baixa Nhecolândia. Destaca-se uma área isolada, de alta frequência destas lagoas, no extremo Oeste da Nhecolândia, na região das fazendas Firme e Santo Inácio, o que foi confirmado em campo. Esta área se associa a terrenos mais elevados, não sujeitos a inundação, o que é confirmado na Figura 8 (perfil AB). Finalmente, a distribuição das lagoas salinas parece atender a uma estruturação aproximadamente N40E, parcialmente discordante das direções impressas pelas drenagens. Já a distribuição das lagoas hipossalinas (Figura 2C) apresenta padrão de distribuição notadamente independente do das salinas, com tendência de orientação N70E, direção discordante do padrão geral de drenagem atual dado pela direção predominante das “vazantes”, entre N40E e N60E. As causas destes padrões de orientação são desconhecidas, mas sugerem prováveis diferenças ambientais.

Em outra abordagem, utilizando-se de um filtro de convolução passa-baixas proporcional, com *kernel* de 101 x 101 elementos e aplicando um realce de contraste extremo, foi obtida uma imagem indicativa das tendências mais regionais da presença significativa de lagoas salinas e hipossalinas. A Figura 3 mostra uma composição em tons de cinza das imagens Lagoas Salinas/Lagoas Hipossalinas/Lagoas Totais assim processadas. Em branco há equilíbrio na distribuição de lagoas salinas e hipossalinas; em cinza claro, predominância

de lagoas hipossalinas e em cinza escuro, predominância de lagoas salinas. A imagem demonstra com mais clareza que as lagoas hipossalinas distribuem-se por toda a Nhecolândia, enquanto as salinas também o fazem, exceto na borda Leste e em trecho da borda Norte, onde há absoluto domínio das hipossalinas. Por outro lado, na borda Sudoeste e no extremo Oeste há domínio das salinas.

No que se refere à utilização dos dados SRTM, a utilização de filtros de média móvel para eliminar as respostas de alta frequência foi essencial. Este tipo de dado pode gerar respostas de alta frequência tanto em função de variações na cobertura vegetal como por ruídos. Em regiões de topografia extremamente monótona, como na Nhecolândia, onde há numerosos fragmentos florestais em meio às savanas de gramíneas, a utilização de dados SRTM fica inevitavelmente muito prejudicada se não for utilizada uma filtragem do tipo passa-baixas, como a escolhida. Na Figura 4 está localizado em imagem TM4 (Landsat 5) um perfil que corta toda a Nhecolândia na direção NNW-SSE e na Figura 5 está apresentado o perfil topográfico correspondente ao da Figura 4, tanto com os dados originais como após as filtrações com filtros com 25, 51, 101 e 151 elementos. Considerando o exagero vertical adotado, de 800 vezes, já com os dados originais é claramente visível estar a Baixa Nhecolândia alçada em relação às planícies vizinhas, mas após a filtragem esta informação não só é mais nítida como permite verificar estar a Baixa Nhecolândia, na média, em torno de 4 m acima do Pantanal de Paiaguás.

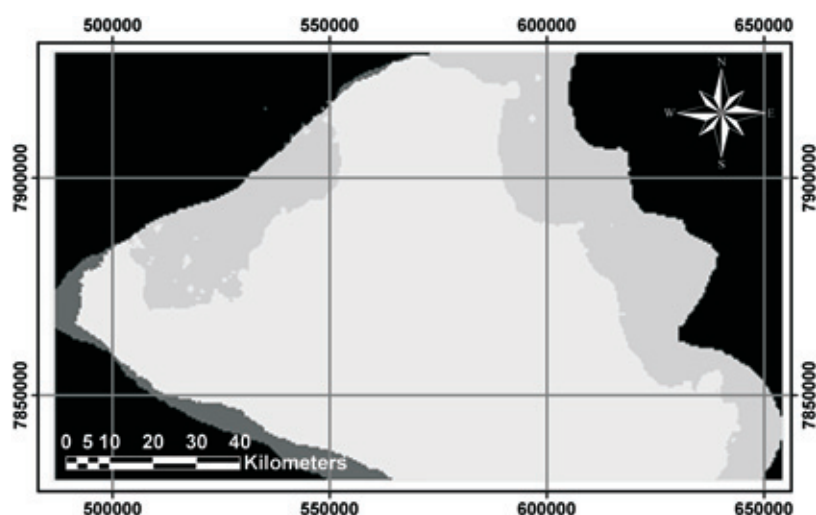


Figura 3. Composição em tons de cinza das imagens de lagoas totais, lagoas hipossalinas e lagoas salinas, filtradas com *kernel* de 101 x 101 elementos e com realce de contraste extremo. Em branco, equilíbrio na presença de lagoas salinas e hipossalinas; em cinza claro, predominância de hipossalinas; em cinza escuro, predominância de salinas.

Da mesma forma são identificadas variações de 3 a 4 m no interior da Nhecolândia, mais importantes que as encontradas no início do Pantanal de Paiaguás, notavelmente plano.

Observe-se que Soares, Assine e Rabelo (1998) já afirmavam estar a planície a SE do Lineamento Transbrasiliiano 3 m acima da porção do Leque do Taquari cortada por aquele lineamento. Assim os dados ora apresentados confirmam o exposto naquele trabalho e demonstram que toda a Nhecolândia apresenta-se tanto alçada em relação às planícies vizinhas como apresenta variações de relevo importantes em seu interior. Por outro lado os dados ora apresentados demonstram que a declividade na porção sul da Nhecolândia, em direção ao rio Negro é maior que em direção ao rio Taquari, bem a existência de variações topográficas sensíveis no interior da Nhecolândia, inclusive próximo a sua borda sul, onde predominam salinas.

Do ponto de vista da deformação do sinal, ela será tão menor quanto menores forem as dimensões do filtro adotado. Assim, para o caso em estudo os filtros de grandes dimensões são úteis e indicados para observar as feições mais amplas, cuja frequência é tão baixa que mesmo filtros com dimensões de 151 elementos (que implicam em introduzir informação de 6.750 m de cada lado do ponto a ser corrigido) não alteram a tendência real.

Por outro lado, se a abordagem é mais local, o uso de filtros menores é altamente recomendado, pois as feições de média frequência que porventura existam devem ser preservadas, como pode ser observado na Figura 6, onde está apresentado um segmento do perfil da Figura 4 com a aplicação de filtros respectivamente de 25 e 151 elementos.

A região da fazenda Firme está topograficamente elevada em relação às vizinhanças na Nhecolândia, característica que lhe deu o nome desde o século XIX, pois não é atingida pelas cheias. Não à toa foi aí que Joaquim Eugênio Gomes da Silva, conhecido pela alcunha de “Nheco”, instalou a sede de seu latifúndio. Assim, o perfil topográfico do extremo oeste da Nhecolândia deve mostrar uma situação mais extremada na área marcada na Figura 7 com a seta branca, o que de fato acontece (Figura 8, perfil AB), onde se verifica uma diferença de pouco mais de 3 m em relação à área imediatamente a norte.

Os perfis EF e GH da Figura 8 mostram a presença de área discretamente mais elevada próximo à borda da Nhecolândia. Já o perfil CD não mostra esta feição. Considera-se, assim, que há evidências de maior proporção de lagoas salinas nas regiões mais alçadas da Nhecolândia. Mas que tal associação é ainda mal definida, exigindo mais trabalho sobre o tema.

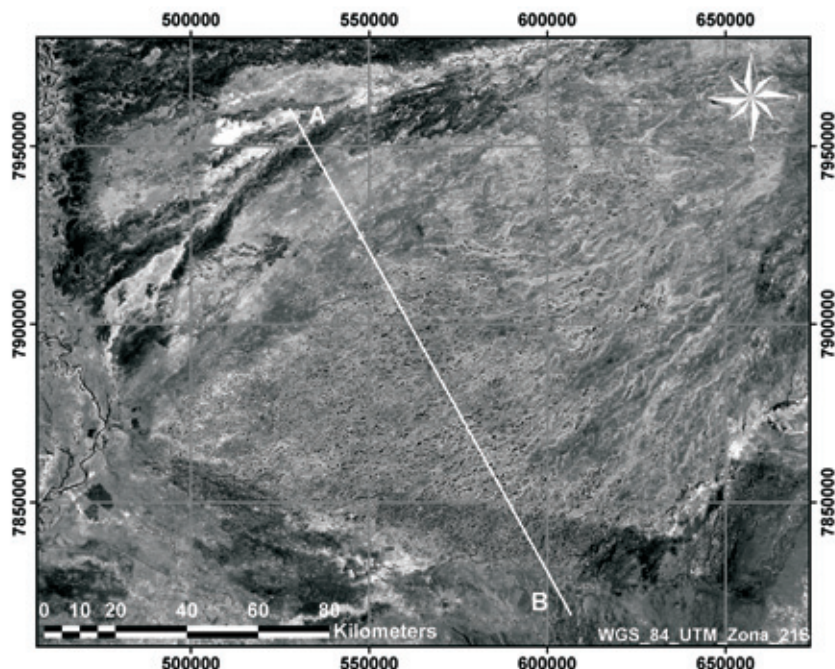


Figura 4. Mosaico de imagens da banda TM4 de parte das cenas 226/73 e 74 e 227/73 e 74 do sensor TM, satélite Landsat 5 com localização do perfil da Figura 5 cortando de NNW a SSE toda a Baixa Nhecolândia.

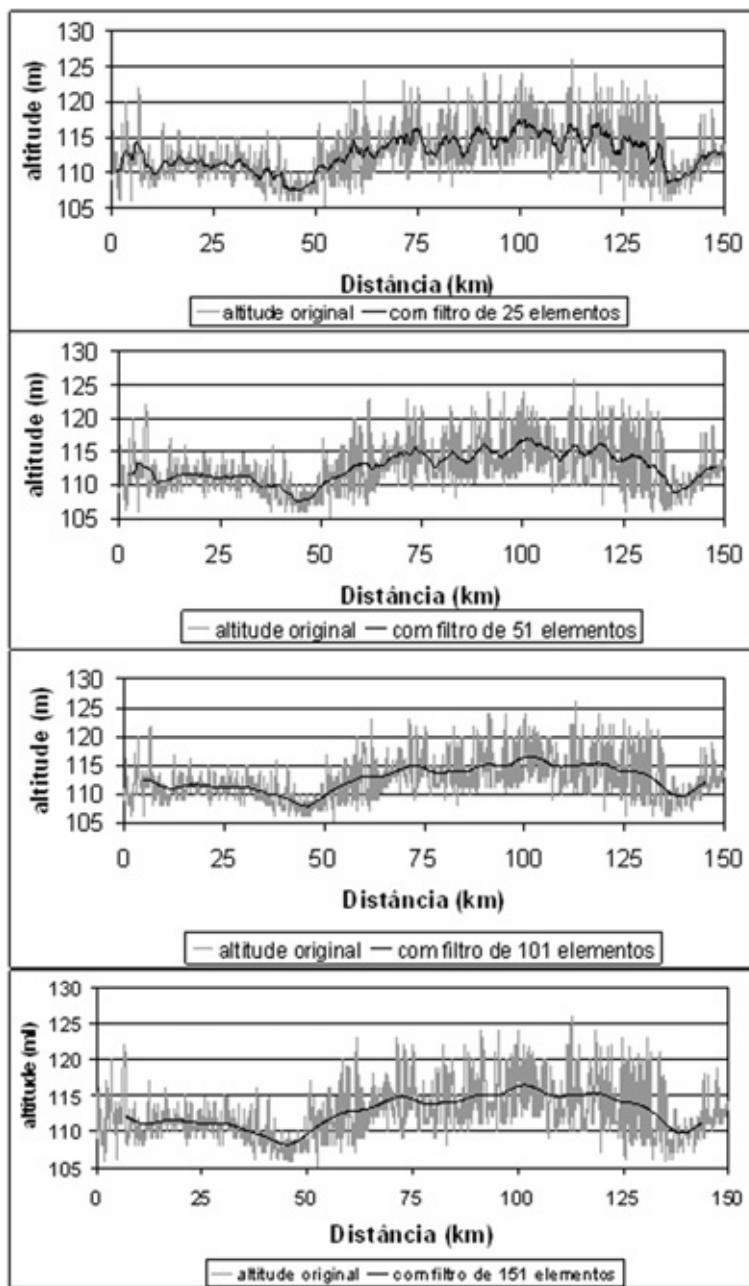


Figura 5. Perfil topográfico localizado na Figura 4, obtido a partir de dados SRTM. Em cinza, os dados originais e em negro, após filtragem com filtros de convolução com respectivamente 25, 51, 101 e 151 elementos. Exagero vertical de 800 vezes. Observar que, para as dimensões do perfil, o realce das feições de baixa frequência exige um *kernel* de dimensões consideráveis, sendo o mais adequado o de 101 elementos.

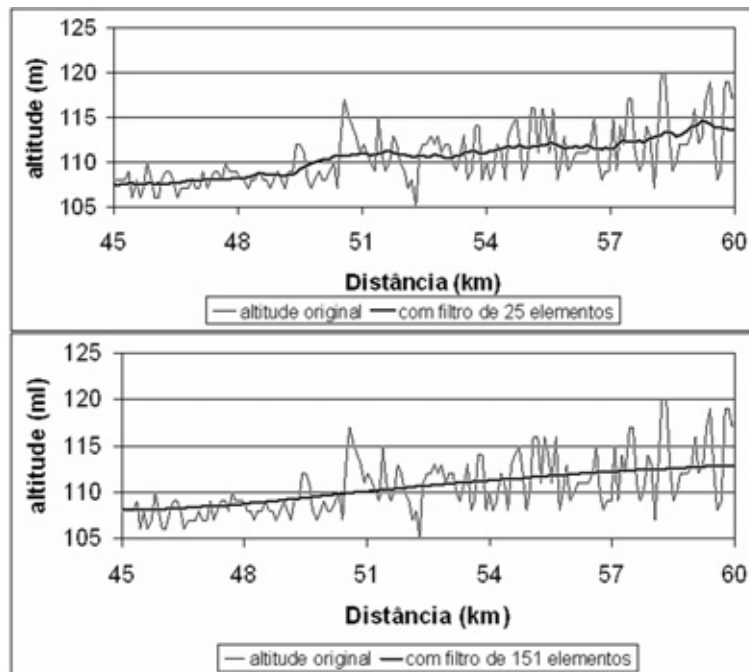


Figura 6. Segmento do perfil da Figura 4 com aplicação de filtros de 25 e 151 elementos. Observar a presença de feições de média freqüência, nesta escala, no perfil com filtro de 25 elementos e sua ausência quando aplicado o filtro de 151 elementos. Exagero vertical de 300 vezes.

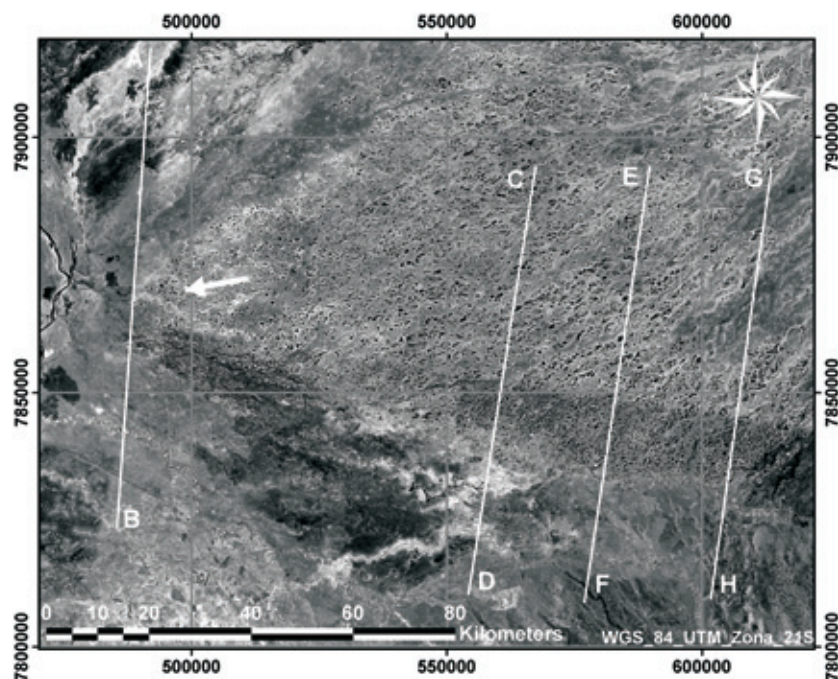


Figura 7. Mosaico de imagens da banda TM4 da Figura 4 com a localização dos perfis SRTM da Figura 8. A seta branca indica a região da fazenda Firme.

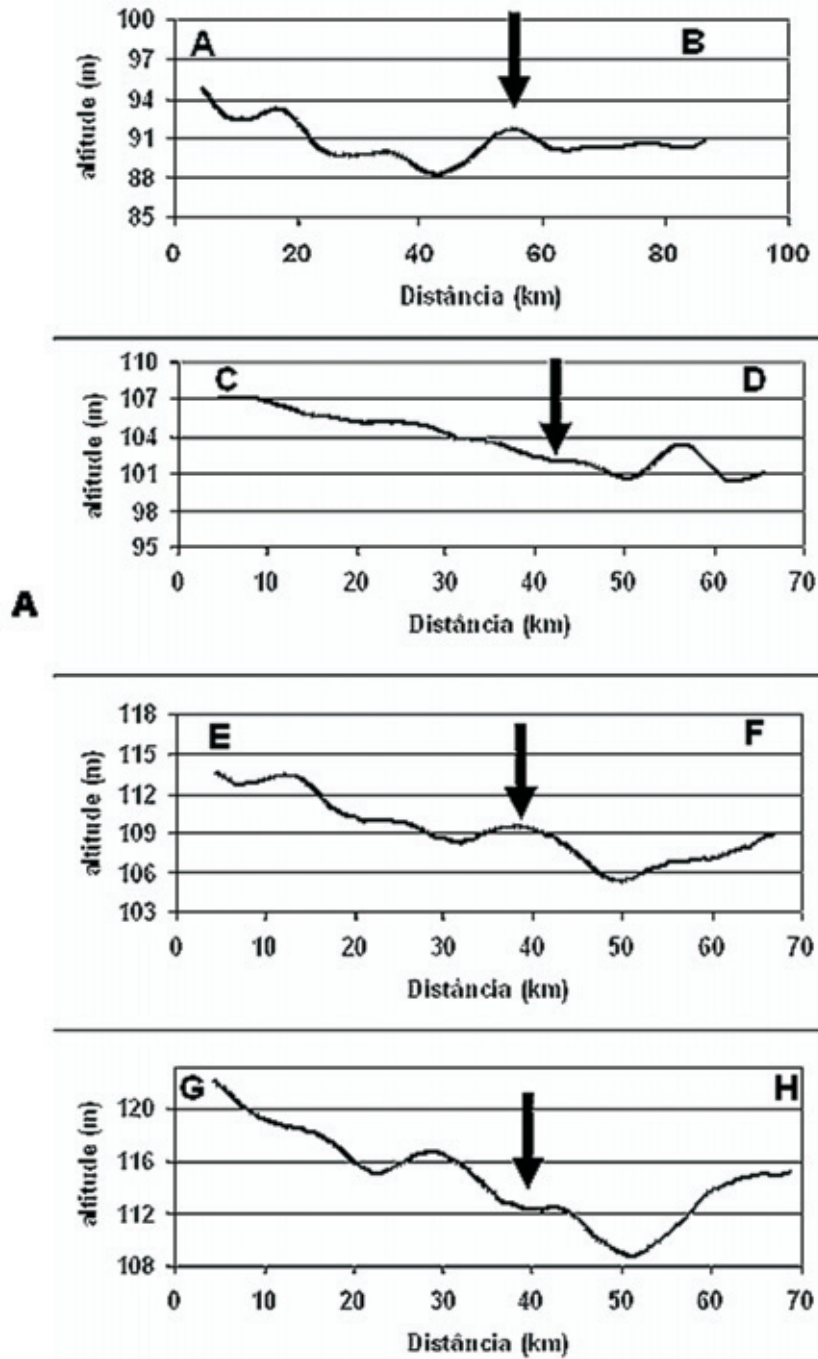


Figura 8. Perfis SRTM filtrados por filtro passa-baixas (média móvel ponderada) com 101 elementos. As setas indicam a região mais elevada na região da fazenda Firme e onde há predomínio de lagoas salinas (porção Sul da área estudada). Exagero vertical da ordem de 2.000 vezes.

CONCLUSÕES E SUGESTÕES

Os dados indicam que as lagoas salinas e hipossalinas, embora coexistam espacialmente em grande parte da Nhecolândia, têm também distribuição excludente, o que se observa com a filtragem com *kernel* de 51 x 51 elementos dos mapas rasterizados das lagoas da Baixa Nhecolândia. Como tais filtrações implicam em homogeneização de áreas relativamente amplas, isto sugere a existência de ambientes ora mais ora menos propícios à presença de um e outro tipo de lagoa. A presença mais generalizada e contínua das lagoas hipossalinas indica menor especificidade ambiental para sua ocorrência. Na distribuição das lagoas salinas há uma relativa ausência em importante área da porção norte da Baixa Nhecolândia cuja forma, discordante do padrão geral, sugere um processo em curso, seja de extinção ou de imposição frente às lagoas hipossalinas.

Com respeito aos dados SRTM, a utilização de filtros passa-baixas baseados em médias móveis ponderadas eliminou as altas frequências com eficiência, introduzindo poucas distorções de monta. Nas feições topográficas reais e de frequência mais alta, como no caso do fundo dos vales mais acentuados tanto à direita como à esquerda dos perfis da Figura 5, o deslocamento das cotas para níveis superiores é evidente, o que naturalmente se explica por corresponderem, aquelas cotas, a altitudes notadamente inferiores ao padrão da região e a declividade, mais acentuada, compor uma feição de frequência mais alta. A escolha das dimensões do filtro é função da escala de trabalho ou de observação, pois o conceito de alta frequência é relativo. Os perfis da Figura 6 demonstram este aspecto e também evidenciam a necessidade de utilizar filtros de relativamente grandes dimensões, pois se o ruído do tipo *speckle* de fato é alternadamente positivo e negativo em relação às cotas reais, esta distribuição, se observada em pequena população, não será gaussiana e tenderá a criar mais artefatos.

Os perfis altimétricos permitem, com a generalização da informação, obter informações potencialmente importantes para a compreensão da Nhecolândia, como estar ela alçada em relação às planícies vizinhas e ter, ao menos localmente, maior frequência de lagoas salinas em superfícies discretamente alçadas. Este derradeiro aspecto pode ser fundamental para o estudo da gênese recente da Nhecolândia, já que os demais dados do meio físico não foram, até o momento, associados à dominância de um ou outro tipo de lagoa. Como a Nhecolândia diferencia-se do restante do Leque do Taquari por estar discretamente alçada e por comportar milhares de lagoas em seu interior, a associação destes dois elementos do meio físico é tentadora. Considerando-se a tendência de concentrar lagoas salinas em situações topograficamente superiores, replicando para aquelas lagoas o que ocorre para o conjunto da Nhecolândia, é também tentador supor que as lagoas salinas, de algum modo, estejam mais próximas aos processos que geraram a Nhecolândia.

De acordo com Soares, Soares e Assine (2004), com o fim do regime desértico, as depressões de deflação foram inundadas, constituindo lagoas. Uma parte delas, retrabalhadas por correntes, foram parcialmente conectadas em forma de rosário e incorporadas à rede de drenagem. Já outras, permanecendo isoladas e abastecidas apenas pelo freático, tornaram-se salinas. Esta hipótese encontra respaldo na concentração de lagoas salinas em áreas suavemente soerguidas e na suposição de estarem ligadas mais proximamente às origens da Nhecolândia. Em sendo assim, o padrão geral da disposição das lagoas salinas, tornadas assim feições reliquias, seria o de áreas preservadas dos retrabalhamentos por correntes, embora a proteção contra as inundações possa também se dar por “cordilheiras”, explicando a presença de lagoas salinas em áreas susceptíveis às inundações. As lagoas hipossalinas, ao contrário, se concentrariam nas áreas mais incorporadas à drenagem geral da bacia. Entretanto os padrões de distribuição aqui encontrados não parecem se adaptar ao modelo, sugerindo a intervenção de outros processos. Além disso, há evidências de ocorrer localmente um crescente isolamento de lagoas, sugerindo haver a transformação atual de salinas em hipossalinas e vice-versa, como apresentado em Almeida et al. (2003).

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem: ao casal Aparecida e Eduardo Bettencourt, proprietários da Fazenda Firme, pela hospedagem e auxílio nos trabalhos de campo na região das fazendas Firme e Santo Inácio; à Secretaria do Meio Ambiente do Estado de Mato Grosso do Sul e à Embrapa pelo auxílio aos trabalhos de campo cedendo veículos e motoristas e a Ricardo Wey Marques gerente do Parque Estadual do Rio Negro; a José Carlos dos Santos, do Instituto Forpus e Embrapa, a Gustavo Pitaluga do IPC – Instituto de Pesquisas e Perícias do Mato Grosso do Sul e a Wander Benício, da Secretaria de Estado do Meio Ambiente do Estado de Mato Grosso do Sul pelo auxílio aos trabalhos de campo na região sul da Nhecolândia. Agradecem finalmente às observações dos pareceres, que permitiram melhora significativa do trabalho. Deborah Mendes agradece à Capes pela bolsa de Mestrado e Joel Barbujianni Sígolo ao CNPq pela bolsa de produtividade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, F. F. M. de. Geomorfologia da região de Corumbá. *Boletim da Associação de Geógrafos do Brasil*, n. 3, p. 8-18. 1943.
- ALMEIDA, F. F. M. de. Geologia do sudoeste Matogrossense. *Boletim do DNPM/DGM*, n. 116, p. 1-118. 1945.

- ALMEIDA, T. I. R.; SÍGOLO, J. B.; FERNANDES, E. QUEIROZ NETO, J. P.; BARBIERO, L.; SAKAMOTO, A. Y. Proposta de classificação e gênese das lagoas da baixa Nhecolândia - MS com base em sensoriamento remoto e dados de campo. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 33, n. 2, p. 83-90. 2003.
- ALMEIDA, T. I. R.; FERNANDES, E.; MENDES, D.; BRANCO, F. C.; SÍGOLO, J. B. Distribuição espacial de diferentes classes de lagoas no Pantanal da Baixa Nhecolândia, MS: uma contribuição ao estudo de sua compartimentação e gênese. In: SIMPÓSIO DE GEOTECNOLOGIAS NO PANTANAL, 1., 2006, Campo Grande, *Anais...* Campo Grande, 2006. p. 155-164.
- ASSINE, M. *Sedimentação na Bacia do Pantanal Matogrossense, centro-oeste Brasil*. 2003. 106 f. Tese (Livro Docência) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2003.
- ASSUMPÇÃO, M. Focal mechanisms of small earthquakes in the southeastern Brazilian shield: a test of stress models of the South American plate. *Geophysical International Journal*, n. 133, p. 490-498. 1998.
- BRANCO, F. C. *Filtros de convolução passa baixas no realce tonal de imagens*. 1998. 78 f. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1998.
- CERQUEIRA, E. O.; POPPI, R. J. E.; KUBOTA, L. T.; MELLO, C. Utilização de filtro de transformada de Fourier para a minimização de ruídos em sinais analíticos. *Química Nova*, v. 23, n. 5, p. 690-698. 2000.
- FERNANDES, E.; SAKAMOTO, A. Y.; QUEIRÓZ-NETO, J. P.; LUCATI, M. H.; CAPELLARI, B. Le Pantanal de Nhecolândia Mato Grosso: cadre physique et dynamique hydrologique. *Supplement de Géographie Fisique et Dynamique du Quaternaire*, v. 22, p. 13-21, 1999.
- FERNANDES, E. *Caracterização dos elementos do meio físico e da dinâmica da Nhecolândia (Pantanal Sulmatogrossense)*. 2000. 195 f. Dissertação (Mestrado) - Departamento de Geografia da Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.
- FERNANDES, E. et al. Identification et organisation spatiale des milieux hydriques acides et alcalins et leurs rapports avec les formes du relief dans le Pantanal de Nhecolândia (Brésil). In : INTERNATIONAL CONFERENCE ON GEOMORPHOLOGY, 6., 2005, Zaragoza. *Abstract volume...* Zaragoza, 2005. p. 123.
- FERNANDES, E. *Organização espacial dos componentes da paisagem regional da Baixa Nhecolândia – Pantanal de Mato Grosso do Sul*. 2007. 176 f. Tese (Doutorado) - Departamento de Geografia da Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.
- GESICKI, A. L. D.; RICCOMINI, C. Neotectônica da borda sudeste do Pantanal Matogrossense. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 40., 1998, Belo Horizonte. *Anais...* Belo Horizonte: Sociedade Brasileira de Geologia, 1998. p. 84.
- KELLNDORFER, J.; WALKER, W.; PIERCE, L.; DOBSON, C.; FITES, J. O. A.; HUNSAKER, C.; VONA, J.; CLUTTER, M. Vegetation height estimation from shuttle radar topography mission and national elevation datasets. *Remote Sensing of Environment*, v. 93, n. 3, p. 339-358, 2004.
- KLAMMER, G. Die Paläowüste des Pantanal von Mato Grosso und die pleistozäne klimageschichte der brasilianischen randtropen. *Zeitschrift für Geomorphologie*, v. 26, n. 4, p. 393-416, 1982.
- MELERO, M. G.; FERNANDES, E.; CAPELLARI, B.; ALMEIDA, T. I. R.; SÍGOLO, J. B. Application des techniques de la télédétection pour la reconnaissance et quantification des formes du relief au Pantanal de Nhecolândia (Brésil). In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON GEOMORPHOLOGY, 6., 2005, Zaragoza. *Abstracts volume...* Zaragoza, 2005. p. 390-390.
- MOURÃO, G. *Limnologia comparativa de Três Lagoas (Duas “Baías” e uma “Salina”) do Pantanal da Nhecolândia*. 1989. 135 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 1989.
- PAIVA, G.; LEINZ, V. Contribuição para a geologia do petróleo no sudoeste de Mato Grosso. *Boletim da Divisão de Fomento da Produção Mineral* – Departamento Nacional de Produção Mineral, v. 37, p. 1-99, 1939.
- RABELO, L.; SOARES, P. C. Lineamento transbrasileiro e neotectônica na Bacia do Pantanal. In: NATIONAL SYMPOSIUM ON TECTONIC STUDIES AND INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON TECTONICS OF THE BRAZILIAN GEOLOGICAL SOCIETY, 7. 1999, Lençóis. *Anais...* Lençóis: SBG, 1999. p. 79-82.

RODRIGUEZ, E.; MORRIS, C. S.; BELZ, J. E.; CHAPIN, E. C.; MARTIN, J. M.; DAFFER, W.; HENSLEY, S. *An assessment of the SRTM topographic products*. Pasadena: Jet Propulsion Laboratory, 2005. p. 1-143. (Technical Report, JPLD-31639).

SAKAMOTO, A. Y. *Dinâmica hídrica em uma Lagoa Salina e seu entorno no Pantanal da Nhecolândia: contribuição ao estudo das relações entre o meio físico e a ocupação*, Fazenda São Miguel do Firme, MS. 1997. 142 f. Tese. (Doutoramento) - Departamento de Geografia, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997.

SHIRAIWA, S. *Flexura da litosfera continental sob os Andes Centrais e a origem da bacia do Pantanal*. 1994. 314 f. Tese (Doutoramento) - Instituto Astronômico e Geofísico, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1994.

SILVA, J. S. V.; ABDON, M. M. Delimitação do Pantanal Brasileiro e suas sub-regiões. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 33, p. 1703-1711, 1998. Número especial.

SOARES, P. C.; ASSINE, M. L.; RABELO, L. The Pantanal Basin: recent tectonics, relationship to the transbrasiliiano Lineament. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 9., 1998, Santos. *Anais...* São José dos Campos: INPE, 1998. p. 459-469.

SOARES, A. P.; SOARES, P. C.; ASSINE, L. Areiais e lagoas do Pantanal, Brasil: herança paleoclimática? *Revista Brasileira de Geociências*, v. 33, n. 2, p. 211-224, 2004.

USSAMI, N.; SHIRAIWA, S.; DOMINGUEZ, J. M. L. Basement reactivation in a sub-Andean Foreland flexural bulge; the Pantanal wetland, SW Brazil. *Tectonics*, v. 18, n. 1, p. 25-39. 1999.

CAPÍTULO 3

LINEAMENTOS TRANSBRASILIANO E RIO NEGRO: POSSÍVEIS LIMITES TECTÔNICOS DO PANTANAL DA NHECOLÂNDIA – MS

Trabalho submetido à Revista Brasileira de Geociências em 06/06/2008

LINEAMENTOS TRANSBRASILIANO E RIO NEGRO: POSSÍVEIS LIMITES TECTÔNICOS DO PANTANAL DA NHECOLÂNDIA – MS

DEBORAH MENDES^{1,2}, TEODORO ISNARD RIBEIRO DE ALMEIDA¹ & FÁBIO CARDINALE BRANCO³

Resumo

O Pantanal, a maior superfície inundável do planeta, tem no Pantanal da Nhecolândia um sub-ambiente com a presença de milhares de lagoas em uma bacia de origem tectônica preenchida essencialmente por areias quartzosas, ainda em sedimentação. A origem deste ambiente é ainda discutida, incluindo a gênese de seus limites. A região é muito plana e a identificação de pequenos desníveis alinhados, não associados à dinâmica da sedimentação, foi considerada uma forte indicação de movimentos de origem tectônica. Em campo, tratando-se de areias inconsolidadas, não há registros de tais movimentos para confirmar a hipótese. Assim foram necessários dados altimétricos com boa sensibilidade para toda a bacia. Foram utilizados dados de altimetria gerados pela Shuttle Radar Topography Mission (SRTM), que apresentam boa resolução vertical, mas enormes ruídos associados ao método que inviabilizam seu uso em regiões planas. Para a minimizar a interferência desses ruídos foi desenvolvido um filtro unidirecional passa-baixas com ponderação gaussiana, que permitiu discriminar as discretas variações na topografia em perfis transversais aos limites norte e sul. Ao norte os dados corroboraram com o limite já definido na literatura, permitindo melhor quantificar o soerguimento da Nhecolândia associado ao Lineamento Transbrasiliano, feição de escala continental a que se associa atividade sísmica na região. Ao sul o limite é menos claro, mas propõe-se associar sua porção sudoeste ao Lineamento do Rio Negro, feição aqui proposta e que se considera associado ao Lineamento Tucavaca. Discute-se ainda o significado deste possível alinhamento tectônico em relação à origem dos milhares de lagoas da Baixa Nhecolândia, aspecto ainda em discussão na literatura.

Palavras-chave: Pantanal da Nhecolândia, neotectônica, SRTM

Abstract *TRANSBRASILIANO AND RIO NEGRO LINEAMENTS: POSSIBLE TECTONICS LIMITS OF THE NHECOLÂNDIA WETLAND – MS*

The Pantanal is the largest wetland of the planet and includes the Pantanal Nhecolândia (Mato Grosso do Sul, Brazil), a sub-environment characterized by thousands of lakes inside a tectonically-formed basin filled essentially by incohesive quartz sands. The origin of this environment, including the genesis of its limits is still a point of discussion. The region is very flat and the identification of small, aligned gaps, not associated with the dynamics of the sedimentation, was taken as strong indication of movements of tectonic origin. As the sands are incohesive, there are no records of such movements that can be seen during field work in order to confirm this hypothesis. The use of high-vertical sensitivity altimetric data was then necessary in the whole basin. The altimetry data were generated by the Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) and present good vertical resolution but huge noise associated with the method characteristics, which makes its use impossible in flat regions. In order to minimize the noise interference an unidirectional filter was developed and allowed the identification of discrete variations in topography along profiles that crosscut the northern and southern limits. To the north the data are coherent with the limit already defined in previous works, being possible to quantify more accurately the uplift of Nhecolândia resulting from the movement of the Transbrasiliano Lineament, a continental-scale structure associated with seismic activity. The southern limit is less clear, but we propose to associate its southwestern part to the Rio Negro Lineament, a structural feature proposed in this work and taken as being associated with the Tucavaca Lineament. We also discuss the significance of this possible tectonic uplift regarding the origin of the thousands of lakes of Lower Nhecolândia, a theme still under discussion.

Keywords: Pantanal da Nhecolândia, neotectonic, SRTM

INTRODUÇÃO

A Bacia do Pantanal é uma feição pouco estudada, quase inexistindo dados de sub-superfície, sendo que alguns se perderam, como os testemunhos das onze sondagens efetuadas pela Petrobrás nos anos 1960 (Weyler 1962). Nestes furos foi alcançada a profundidade de 412,5m sem atingir o embasamento. Dados audiomagnetotelúricos (AMT), entretanto, indicam uma profundidade máxima de até 800 m próximo ao Rio Paraguai, sendo que, na maior parte da bacia, a profundidade média do embasamento varia entre 250 e 500 m. Os resultados de AMT mostraram que a Bacia do Pantanal possui uma geometria assimétrica de hemi-graben, com polaridade para oeste, alongada por 200 km no sentido Norte-Sul (Fisseha 2003).

Dentre os diversos leques aluviais que formam a Bacia Sedimentar do Pantanal, o mais notável é o Leque Aluvial do Rio Taquari. Apresenta feição cônica, com borda quase circular, que se origina no município de Alcinópolis, situado no Planalto de Maracaju – Campo Grande, desenvolvendo-se sobre a planície do Pantanal em direção ao rio Paraguai. Este leque pode ser considerado um megaleque por ser um sistema deposicional complexo com forma quase circular e diâmetro de aproximadamente 250 km (Assine 2003). A sedimentação aluvial nesta região é influenciada pela tectônica, que impõe subsidência diferenciada de blocos e, conseqüentemente, áreas mais susceptíveis à inundação (Latrubesse *et al.* 2005).

O Leque do Taquari contém seis lobos deposicionais, mas pode ser dividido em dois sub-ambientes principais: o Pantanal de Paiaguás na metade Norte e o da Nhecolândia, a Sul, este último com uma área de 54.125km². A Nhecolândia é dividida em Alta (a leste) e Baixa (a oeste) (**Figura 1**). A Baixa Nhecolândia ocupa o mais antigo lobo deposicional, seguido pelo correspondente à Alta Nhecolândia (Zani *et al.* 2006). Entre os diversos sub-ambientes do Pantanal, a Baixa Nhecolândia se distingue pela sua fisiografia peculiar, cuja caracterização, como aborda (Fernandes *et al.* 2007), é essencial para a compreensão daquele ambiente.

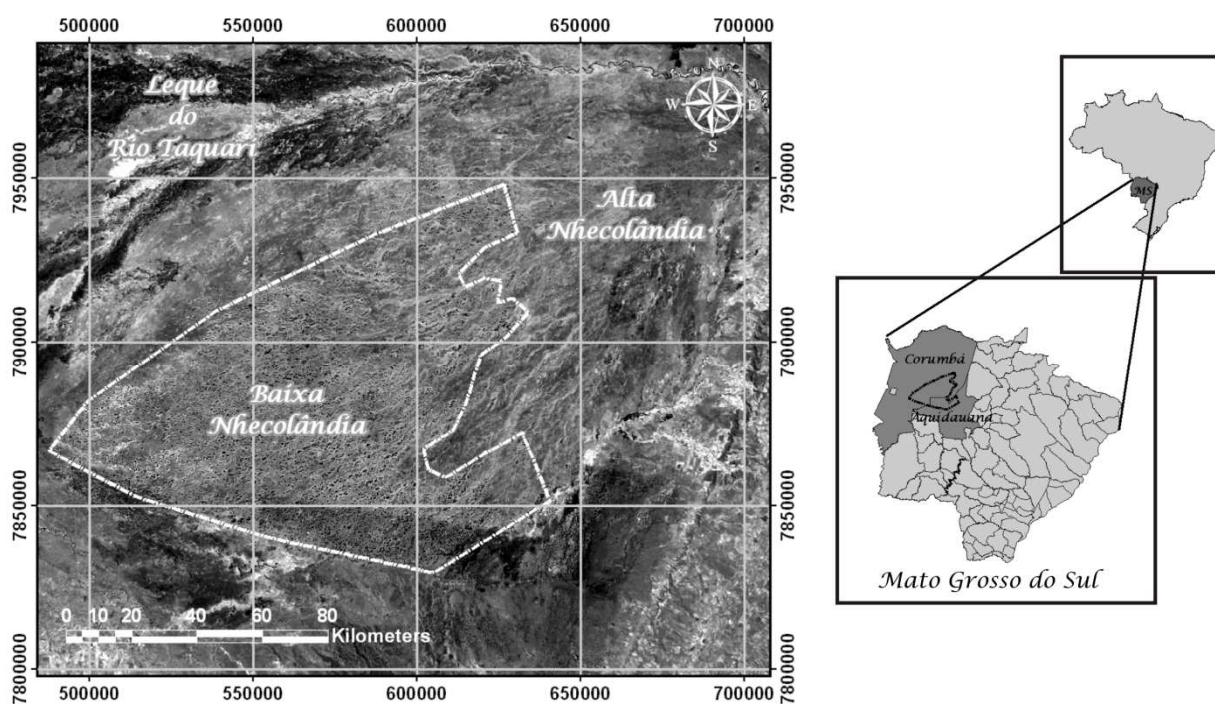


Figura 1 – Localização do Pantanal da Nhecolândia.

Existe um conjunto local de designações para os principais elementos morfológicos da Baixa Nhecolândia, conforme descreveram Almeida & Lima (1959):

“Para o interior do Pantanal, além do leito maior do Paraguai e de seus afluentes, as cheias limitam-se às áreas mais deprimidas do terreno, chamadas ‘baías’, que têm formas diversas, com dimensões variáveis, que quando se tornam irregulares se denominam ‘largos’. (...) As baías separam-se umas das outras por faixas de terrenos elevados, que recebem o nome de ‘cordilheiras’. Algumas baías têm água salgada, denominadas ‘salinas’. (...) Chamam-se ‘barreiros’ as que secam completamente na estiagem. (...) Por ocasião das chuvas há escoamento de uma a outra baía, através de cursos que chegam a ter vários quilômetros de extensão, as ‘vazantes’. Chamam ‘corixos’ a pequenos cursos perenes, que ligam baías contíguas”.

Estes elementos compõem savanas sazonalmente inundadas e limitadas por fragmentos florestais em elevações de um a três metros (respectivamente as *vazantes* e as *cordilheiras*) e numerosas lagoas com características espaciais, físicas, químicas e biológicas muito variadas, as *baías*, hipossalinas e de pH variável, as *salinas*, de águas salobras a salinas e de pH básico que pode ultrapassar 10 e, finalmente, as *salobras*, de pH intermediário. As características pouco usuais das lagoas salinas foram inicialmente descritas por Cunha (1943) que mostra resultados de salinidade expressiva. A rede de drenagem interna à Baixa Nhecolândia relaciona-se com dois rios principais: o Taquari e o Negro. As vazantes e corixos recebem águas do rio Taquari e, parte delas, vai desaguar no Pantanal do rio Negro (Fernandes 2000).

A análise de trabalhos enfocando a Baixa Nhecolândia indica que esta fisiografia deva-se a uma complexa e pouco entendida combinação de processos biológicos, hidrológicos, climáticos, sedimentares, geoquímicos e neotectônicos. É notável que este ambiente ocorra apenas no mais antigo lobo, embora se desconheçam diferenças fundamentais no clima e nos sedimentos deste e dos demais lobos do mesmo sistema deposicional que justifiquem um meio físico e biótico tão diverso: embora ocupando apenas uma fração do Leque Aluvial do Taquari e dividindo com a bacia a Norte o mesmo substrato, a Baixa Nhecolândia possui limites bruscos a sul e a norte. O limite norte tem certamente origem tectônica associada à reativação do Lineamento Transbrasiliano (LTB), como já defendido por Soares *et al.* (1998) e Assine (2003), representando um aparente alçamento da Nhecolândia em relação à região a norte. Já o limite Sul, dado principalmente pelo rio Negro, é menos discutido e é virtualmente ausente da literatura. Discute-se neste trabalho evidências de que seja, tal como é localmente o LTB, um limite tectônico da Baixa Nhecolândia.

Nesta pesquisa foram utilizadas essencialmente três fontes de informação: imagens de sensoriamento remoto de média resolução espacial (Landsat ETM), cartas e mosaicos de imagens orbitais em pequena escala e dados altimétricos do Shuttle Radar Topography Mission (SRTM).

CONTEXTO GEOLÓGICO

O Pantanal é a mais extensa planície inundável da Terra, com 138.183km², podendo ser dividida em onze sub-regiões com características muito distintas (Silva & Abdon 1998). Esta planície é quase perfeitamente coincidente com a Bacia Sedimentar do Pantanal, definida por Almeida (1945). É uma depressão tectônica interior do Plioceno, originada por movimentos relativos das Placas Sul-Americana e de Nazca (Assumpção 1998b; Ussami et al. 1999) e está instalada em um sistema distensional típico de *foreland* no antepaís da cordilheira dos Andes, que inclui as zonas geográficas denominadas Zonas Subandinas orientais, quais sejam: Planície do Chaco, Planície Beni e Pantanal. Esta última se localiza especificamente no *backbulge* (Horton & DeCelles 1997).

Há evidências de atividade sísmica na bacia ao longo do Lineamento Transbrasiliano (Rabelo & Soares 1999) e na sua borda Sul (Gesick & Riccomini 1998), concentrando sismos de intensidade importante (Assumpção 1998a). Tais sismos estão alinhados com os epicentros da zona sísmica de Goiás, sugerindo relacionarem-se com reativação do Lineamento Transbrasiliano (Assine 2003). As baixas velocidades das ondas *p* que ocorrem sob a Bacia do Pantanal, são interpretadas como de astenosfera rasa, caracterizadas pela presença de grande número de aumentos anômalos no fluxo térmico (Hamza & Muñoz 1996). Nestas áreas de alto grau geotérmico o manto superior causa a maior parte das forças que se concentram na crosta superior, conferindo essa sismicidade. O tectonismo recente indica zonas de fraquezas crustais profundas (Assumpção *et al.* 2004). Esta feição é consistente com as anomalias positivas *Bouguer* e *free-air* observadas por Shiraiwa & Ussami (2001), interpretadas como de alta densidade crustal das rochas do embasamento.

No embasamento da Bacia do Pantanal predominam rochas metamórficas neoproterozóicas da Faixa Paraguai, ocorrendo também rochas do Cráton Rio Apa e rochas sedimentares da Bacia do Paraná.

A borda leste da bacia é definida pela unidade geomorfológica do planalto de Maracajú-Campo Grande, uma escarpa linear de direção NNE-SSW, onde afloram rochas pré-cambrianas do Grupo Cuiabá e rochas paleozóicas da Bacia do Paraná (Facincani *et al.* 2006).

O arcabouço tectono-estrutural original dessas coberturas superficiais é atribuído a um sistema de falhas de direção aproximadamente N-S, grosseiramente coincidente com o curso regional do rio Paraguai. A análise das imagens de satélite tem revelado que grande parte das estruturas registradas nas rochas subjacentes é presente nos sedimentos que constituem a planície pantaneira. As observações mostram que os rios que drenam a região, como Amoguijá, Tererê, Branco, Aquidabã, Nabileque, Naitaca, São Sebastião, Veado Gordo, Miranda, Negro, Taquari e outros, revelam uma direção preferencial NE-SW e outra aproximadamente W-E (Godói *et al.* 2001).

Duas linhas de aeromagnetometria exploratória, obtidas no Pantanal em direções aproximadas N-S e E-W, mostram anomalias que indicam uma estruturação na direção E-W, em contraste marcante com as tendências predominantes das estruturas proterozóicas da região. Os Lineamentos mais salientes originam-se de falhas, geralmente orientadas na direção NE-SW, que caracterizam uma série de *grabens* e *horsts* (Hales 1981). As direções E-W se devem aos esforços compressivos que incluem parte do Cráton Amazônico e a Bacia do

Pantanal no Brasil e a Bacia do Chaco no Paraguai. Ainda que esta contenha diferentes províncias geológicas, os poucos mecanismos focais disponíveis são compatíveis com um campo de esforço mais ou menos uniforme com a tensão horizontal máxima de direção geral E-W (Assumpção 1998b), podendo se relacionar com direções de captura de drenagens e mudanças de seus padrões de canal.

A tectônica tem desempenhado papel importante no desenvolvimento da paisagem do Pantanal como um todo, mudando níveis de base e gradientes topográficos (Assine 2003). Rios são particularmente sensíveis às inclinações, especialmente em áreas de baixo gradiente (Holbrook & Schumm 1999). Rios aluviais fluem através de sedimentos que foram erodidos e depositados pelo próprio rio, ou seja, terraços aluviais mais antigos e rochas do embasamento não os afetam ou os constroem significativamente. Sua morfologia reflete um balanço entre o poder erosivo do fluxo e a resistência à erosão do material do leito ou das margens. As taxas de deformação são responsáveis pelo ajustamento do canal, sendo que movimentos oscilatórios são comuns (Schumm et al. 2000).

Kaizuka (1967) *apud* Schumm et al. (2000) resumiu razões de deformação quaternária ao longo do planeta e determinou que elas variam entre 0,1 mm e 10 mm por ano. A taxa estimada de subsidência no quaternário da Bacia do Pantanal é de 0,22 mm por ano (Assine 2005).

Riachos respondem ao deslocamento vertical ao longo de falhas por agradiação ou degradação (Schumm et al. 2000), porém é necessária cautela quando se usa agradiação ou degradação como indicadores de deformação sindeposicional em perfis de drenagem. Flutuações na descarga, bem como a carga dos sedimentos, podem causar agradiação ou degradação num rio (Holbrook & Schumm 1999).

O rio Negro pode ser classificado como um rio “ramificado” (anabranching river), o qual se desenvolve pela deposição de sedimentos nos canais de drenagem, pela progradação de canais distributários em deltas ou, ainda, pela avulsão de canais. Difere dos sistemas entrelaçados e anastomosados pelo fato de suas ilhas persistirem por décadas, possuir uma vegetação bem desenvolvida e bancos relativamente estáveis. Possuem, aproximadamente, a mesma elevação da planície de inundação e os canais entre as ilhas podem ser retos, meandrantos ou entrelaçados. O entrelaçamento é favorecido por flutuações rápidas da descarga, de um valor absoluto maior que nos rios meandrantos. Os rios entrelaçados, em geral, têm declives maiores, carga mais grossa e bancos mais facilmente erodíveis (Nanson & Knighton 1996).

A formação de lagos agrupados em áreas aluviais é resultado, normalmente, de processos regionais relacionados ao clima/paleoclima ou neotectônica, ou, frequentemente, uma associação dos dois processos. Um rift continental gera basculamento progressivo dos blocos marginais em direções opostas, o que muda significativamente o gradiente dos rios. O desarranjo geológico recente desses sistemas de drenagem é resultado de soerguimento, formando os “*ria lakes (blocked valley lakes)*” (Schumm et al. 2000).

Lineamento Transbrasiliano

O limite norte da Nhecolândia é dado por lineamento claramente definido, de direção NE, que vem sendo associado por diversos autores, como Soares et al. (1998) e Assine (2003), ao LTB. Esta extensa feição

tectônica que corta o Brasil foi definida por Schobbenhaus *et al.* (1975) e é estrutura com componente transcorrente dextral e idade neoproterozóica. Diversas evidências de atividade neotectônica do LTB são conhecidas, como cita Soares *et al.* (1998) em que, a leste de Corumbá, o rio Paraguai, que flui, aproximadamente, no sentido Norte-Sul e é capturado ao cruzar o lineamento, passando, após uma brusca deflexão, a correr sobre o LTB por 50km na direção SW. Evidências adicionais de atividade tectônica atual daquele lineamento são dadas pela sismicidade a ele associada em localidades distantes milhares de quilômetros, como nas Bacias do Bananal (Brito Neves *et al.* 1999) e Pantanal (Rabelo & Soares 1999). De acordo com Cordani e Sato (1999) este lineamento é uma megassutura que separa porções continentais como o Cráton Amazônico e o de São Luís da colagem de fragmentos cratônicos do oeste de Gondwana, entre os quais os do São Francisco e La Plata.

O LTB coincide com o término abrupto da Baixa Nhecolândia, com sua característica fisiografia dando lugar a áreas aplainadas com poucas e dispersas elevações métricas e grande quantidade de depressões alongadas orientadas no sentido NE-SW, indo desde os limites da Alta Nhecolândia até a confluência dos rios Taquari e Paraguai, denominada de área da Vazante do Corixinho (Fernandes 2000). Ao LTB associa-se, de acordo com Assine & Soares (2004), um desnível entre as duas áreas, com a Baixa Nhecolândia se encontrando topograficamente mais elevada que a região adjacente. Isto poderia explicar a existência de canais abandonados formando lagoas em rosário e a nova configuração do leque aluvial.

São grandes as evidências, assim, de que o LTB não apenas influencia fortemente a dinâmica de erosão, sedimentação, estabelecimento do leque aluvial e locação do fluxo do canal nas bacias do Pantanal e Chaco (Soares *et al.* 1998) como é elemento essencial na gênese da Baixa Nhecolândia.

O Lineamento Tucavaca e o Lineamento do Rio Negro

A Faixa Tucavaca, descrita por Litherland *et al.* (1986), ocorre como uma grande estrutura que define a borda leste do Cráton Amazônico na Bolívia e sua disposição é sub-ortogonal à Faixa Paraguai (WNW-ESE), cortando o eixo do *forebulge* em direção ao Pantanal. Segundo Ruiz (2005) a deposição das faixas Paraguai e Tucavaca é contemporânea, havendo correlação estratigráfica entre as unidades que as compõem (Grupos Boqui, Tucavaca e Murciélagos) e as unidades expostas no sudoeste do Brasil (Grupos Jacadigo e Alto Paraguai).

O rio Negro marca o limite da Baixa Nhecolândia, num Lineamento de direção WNW-ESE onde desaguam vazantes e desaparecem as lagoas características da região, dando lugar a uma área brejosa que coalesce com as planícies dos rios Miranda e Aquidauana, dando origem a uma área muito plana, frequentemente alagada (Facincani *et al.* 2006). Interessante observar que as margens do rio Negro, na região da Fazenda Rio Negro, são altas na margem direita, a voltada para a Baixa Nhecolândia, e baixas, sem barranca, na margem esquerda (Almeida, informação verbal). Segundo Brito Neves *et al.* (1985) e Jones (1985) *apud* Boggiani (1998), o Lineamento Tucavaca inflete para sul formando uma junção tríplice na região de Corumbá.

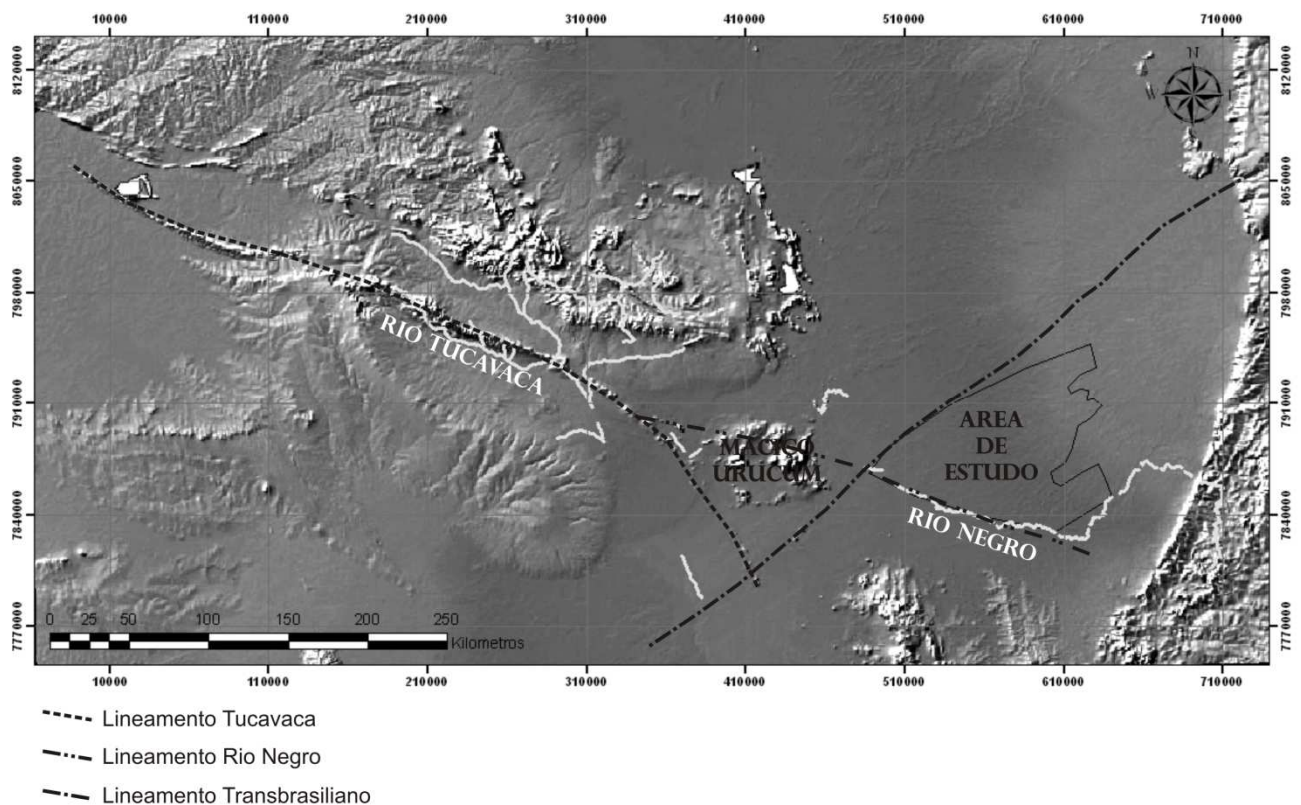


Figura 2 – Localização da Faixa Tucavaca e sua ramificação, que segue em direção ao rio Negro, na Bacia do Pantanal.

MATERIAIS E MÉTODOS

Imagens Utilizadas

SRTM é um projeto cooperativo entre a *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) e a *National Imagery and Mapping Agency* (NIMA) do Departamento de Defesa dos Estados Unidos e pelo Centro Aeroespacial Alemão (*Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt – DLR*) e pela Agência Espacial Italiana (*Agenzia Spaziale Italiana – ASI*). O objetivo do SRTM era adquirir um modelo digital de elevação entre 60° de latitude norte e 56° de latitude sul, totalizando aproximadamente 80% da superfície da Terra (Farr & Kobrick 2000).

Em termos quantitativos, os produtos cartográficos derivados dos dados SRTM foram amostrados num grid de 1 x 1 arco-segundo (aproximadamente 30 x 30 m), com erro vertical linear absoluto menor que 16 m, e erro vertical linear relativo menor que 10 m, erro circular de geolocalização absoluto menor que 20 m e erro circular relativo de geolocalização menor que 15 m. SRTM emprega dois radares de abertura sintética, um sistema banda C (C-RADAR=5,6 cm) e um sistema banda X (X-RADAR=3,1 cm). A NASA Jet Propulsion Laboratory (JPL) foi responsável pelo C-RADAR (Farr *et al.* 2007).

A interferometria de radar consiste na aquisição de duas imagens simultaneamente com locações ligeiramente diferentes produzindo uma imagem de diferença de fase contendo informações topográficas. As duas imagens

podem ser obtidas simultaneamente, ou a diferentes tempos, como é o caso da maioria dos sistemas aerotransportados prévios. Para minimizar os problemas com a interferometria de passagem repetida, o SRTM adquiriu as imagens simultaneamente. O SRTM utilizou o mesmo tipo de radar do Spaceborne Imaging Radar-C/X-band Synthetic Aperture Radar (SIR-C/X-SAR). Para coletar os dados interferométricos, o SRTM conta com um mastro de 60 metros com uma banda C adicional, e com um aperfeiçoamento na rota e navegação dos instrumentos (Farr & Kobrick 2000).

Os dois principais problemas inerentes ao método, referem-se à reflexão da banda C-RADAR na superfície dos dosséis, não atingindo a superfície do solo (o comprimento de onda de 5,6 cm não atravessa a cobertura florestal) e ao ruído de interferência de fase (Kellndorfer *et al.* 2004), representado pela introdução de variações de alta frequência no sinal recebido, que não representam feições reais do terreno. O erro de altitude ao informar do topo do dossel não pode ser corrigido e implica na introdução de variações de média frequência em um ambiente que é muito plano e apresenta alternância de savanas e formações florestais, como na Nhecolândia. Para minimizar o problema relativo à reflexão da banda C-RADAR pelo dossel, devem-se escolher locais para obter os perfis altimétricos em que haja o mesmo padrão de cobertura vegetal de ambos os lados das feições analisadas. Já com referência ao ruído de interferências construtivas e destrutivas por diferenças de fase, do tipo *speckle*, há a possibilidade de minimizar notavelmente o problema, pois a distribuição dos erros em valores negativos e positivos é quase perfeitamente gaussiana (Rodriguez *et al.* 2005). O histograma dos erros para a América do Sul, apresentado por aqueles autores, mostra apenas um pequeno deslocamento da moda para a direita, implicando em tendência de aumentar a altitude real em cerca de 50 cm. As opções para tratar este ruído passam sempre por filtros digitais voltados a eliminar as variações de frequência muito elevada, permitindo a visualização das tendências da topografia, ou seja, das variações de baixas frequências.

- As imagens do sensor ETM+ do satélite Landsat 7 foram utilizadas neste trabalho apenas para localização dos perfis altimétricos. Foi feito um mosaico das bandas ETM4 das cenas 226/073 e 226/074, obtidas respectivamente em 28/09/2002 e 05/06/2001.

Filtragens Utilizadas

Nesta pesquisa adotou-se filtro unidimensional passa-baixas, conforme apresentado em Almeida *et al.* (2007), que procura combinar o caráter gaussiano do *speckle* com uma ponderação gaussiana que favorece a altitude indicada no pixel a ser substituído e progressivamente menos aos pixels mais distantes. Com este artifício procurou-se reduzir o ruído resultante do *speckle*, realçado pelo grande exagero vertical (aproximadamente 400x) e parte da influência da vegetação, responsável pelas maiores variações de altitude na região (Valeriano e Abdon 2006).

O filtro linear utilizado caracteriza-se como de média móvel ponderada, porém a equação que o define estabelece um decaimento linear dos pesos das células em relação à distância do centro do filtro. A **Equação 1** define os pesos atribuídos às diferentes células do filtro (exceto no caso da célula central):

$$(1) P_{(i)} = P_{(i-1)} - (P_{(i-1)} * k * i)$$

onde:

$P_{(i)}$ = peso atribuído à célula do filtro na posição i

i = indica a posição da célula do filtro, sendo $i=0$ no ponto central

k = fator de intensidade da filtragem

Nessa forma de anotação, o peso de cada célula seria dependente do peso da célula anterior, da distância dessa célula ao centro do filtro (i) e do fator “ k ”, sendo que quanto maior o “ k ”, mais intensa será a filtragem. No caso estudado, preferimos utilizar o fator de intensidade de 0,001, pois como a topografia da região apresenta desníveis muito pequenos, o aumento desse fator poderia, em tese, gerar artefatos significativos, de difícil dissociação da topografia real.

Note-se que o valor da célula central do filtro não é calculado (na célula central, temos $i=0$ e não existe $P_{(i-1)}$). Este valor deve ser definido pelo operador, podendo ser zero, para a aplicação do filtro original ou maior que zero, para a utilização de filtrações atenuadas. No presente estudo, foi utilizado o valor 10 para o ponto central, de modo a gerar uma filtragem atenuada.

O tamanho máximo de um filtro desse tipo é definido pela **Equação 2**:

$$(2) i_{\text{máx}}=1/k \text{ ou } D_{\text{máx}}=1+(2/k)$$

onde:

$i_{\text{máx}}$ = valor máximo a ser atribuído a i

$D_{\text{máx}}$ = máxima dimensão do filtro

Caso a dimensão do filtro seja maior que a estipulada pela equação acima, as células mais distantes do centro (distâncias acima de $i=1/k$) terão valores negativos.

Com base no filtro gerado a partir das equações acima, a equação de aplicação do filtro ao perfil extraído da imagem SRTM seria, portanto, a **Equação 3**.

$$(3) F_{(j)} = \sum_{i=-d}^{i=+d} (I_{(i+j)} * P_{(i)})$$

onde:

$F_{(j)}$ = perfil filtrado;

$I_{(j)}$ = perfil original;

$P_{(i)}$ = peso atribuído à célula do filtro na posição i

d = metade da dimensão do filtro (máxima distância do centro)

RESULTADOS

Caracterização dos Limites da Baixa Nhecolândia

O perfil altimétrico apresentado cobre a Baixa Nhecolândia desde as proximidades do rio Taquari até a porção a sul do rio Negro (**Figura 3**), de modo a evidenciar as maiores altitudes da Baixa Nhecolândia em relação às

planícies vizinhas e cortar os lineamentos Transbrasiliano e do Rio Negro.

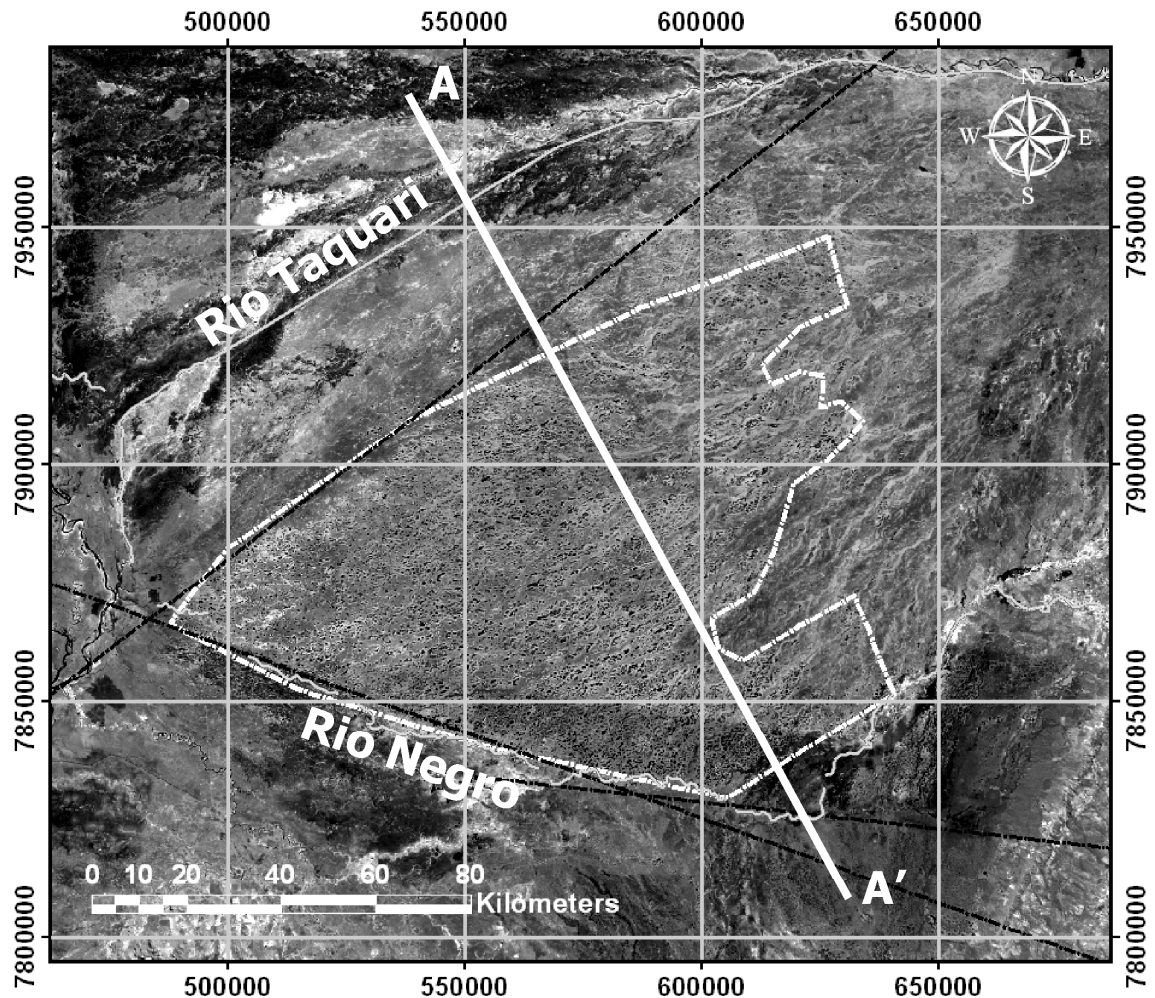


Figura 3 – Localização do perfil transversal à Baixa Nhecolândia (direção NW-SE), indicando os limites norte, onde está o Lineamento Transbrasiliano e o limite sul, definido pelo Lineamento do Rio Negro.

A imagem da Figura 4 mostra que a Baixa Nhecolândia possui 2 limites de direção NE-SW, evidenciados pelo LTB, a NW, e pelo terço superior do curso do rio Negro a SE, antes de sua deflexão para NW-SE. Após a mudança de direção o rio Negro passa a ocupar a continuidade do Lineamento Tucavaca e coincide com o limite SW da Baixa Nhecolândia. Os perfil altimétrico da Figura 4 mostra a associação de quebras no relevo aos LTB e LRN e as maiores altitudes associadas ao interior da Baixa Nhecolândia. A informação da quebra de relevo associada ao LTB é descrita na literatura, mas a associada ao LRN e a maior altitude da Baixa Nhecolândia são aspectos de grande relevância na análise da gênese daquele ambiente, como se verá ao fim, e estavam, todavia, ausentes da literatura.

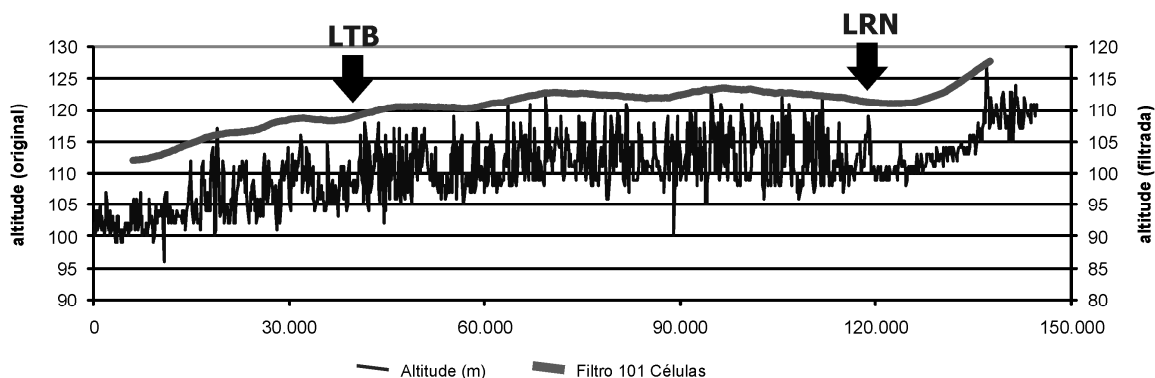


Figura 4 – Perfil obtido em mosaico de imagens SRTM transversalmente à Baixa Nhecolândia, com filtros passa-baixa lineares (média móvel ponderada) de 101 células na porção central da Baixa Nhecolândia, com o limite sudeste dado pelo LRN, com direção NW e o limite noroeste dado pelo LTB, com direção NE. Exagero vertical de 1.600 vezes.

LIMITE SUL: O LINEAMENTO DO RIO NEGRO (LRN)

O rio Negro, que apresenta linearidades em seu traçado, desce as escarpas da Serra de Maracajú na direção E-W desemboca na planície pantaneira, segue em curso meandrante em planície estreita e encaixada com nível mais baixo que a planície. Ao encontrar o córrego Anhumas o rio Negro muda de direção, para NNE-SSW, paralela à da Serra de Maracajú-Campo Grande, em curso anastomosado, alcançando estreitas áreas de inundação. O rio Negro, ainda em seu terço superior corre numa área de alagamento, onde seu nível iguala-se ao da planície. A partir da confluência com a Vazante Santa Clara o rio Negro cruza com a continuidade do Lineamento Tucavaca e muda sua direção para WNW-ENE, apresentando curso novamente meândrico em estreita planície, com leito encaixado e nível mais baixo que a planície, onde inicia seu trecho de terço médio. Neste traçado meândrico observam-se deflexões com ângulos próximos aos 90° e quebras de direção de WNW para SW, indicando a presença de atividade neotectônica atuante naquelas duas direções. Mais adiante o rio Negro entra numa área brejosa, o Pantanal do Negro que caracteriza seu terço inferior. Torna-se aí indistinto, recebendo águas das vazantes da Baixa Nhecolândia pela margem direita (Fernandes 2007).

A observação de imagens em pequena escala permite identificar uma ramificação do Lineamento Tucavaca para ESE, cortando o Maciço de Urucum e seguindo em direção à bacia, onde o rio Negro se encaixa (**Figura 2**). A continuidade do lineamento Tucavaca pode ser observada em imagens SRTM de pequena escala e, logo após cruzar o rio Paraguai, passa a ser coincidente com a direção geral dos dois terços finais do rio Negro, o que aqui se denominou de Lineamento do Rio Negro. Embora de forma menos evidente que o LTB, este lineamento também marca um fim relativamente abrupto do ambiente da Baixa Nhecolândia (**Figura 5**). Ao contrário do observado com o LTB aqui o fim do ambiente da Baixa Nhecolândia dá-se de forma variada, por vezes sem quebra topográfica mas predominantemente com quebra bem marcada e antecedida de uma elevação que sugere a morfologia de um dique marginal, como mostrado na **Figura 6**.

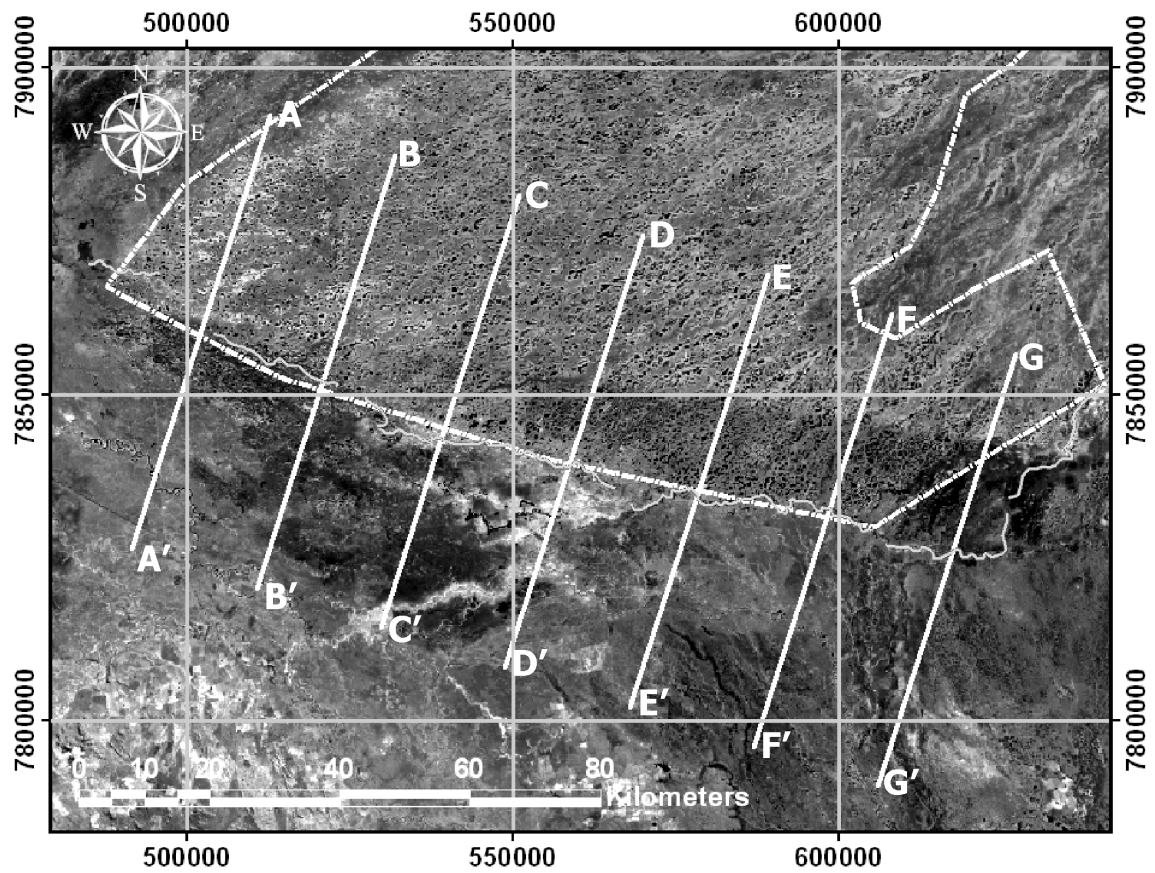


Figura 5 – Segmento de banda 4 de imagem ETM+ mostrando o término da Baixa Nhecolândia e a localização de perfis transversais ao limite da Baixa Nhecolândia com a planície do rio Negro.

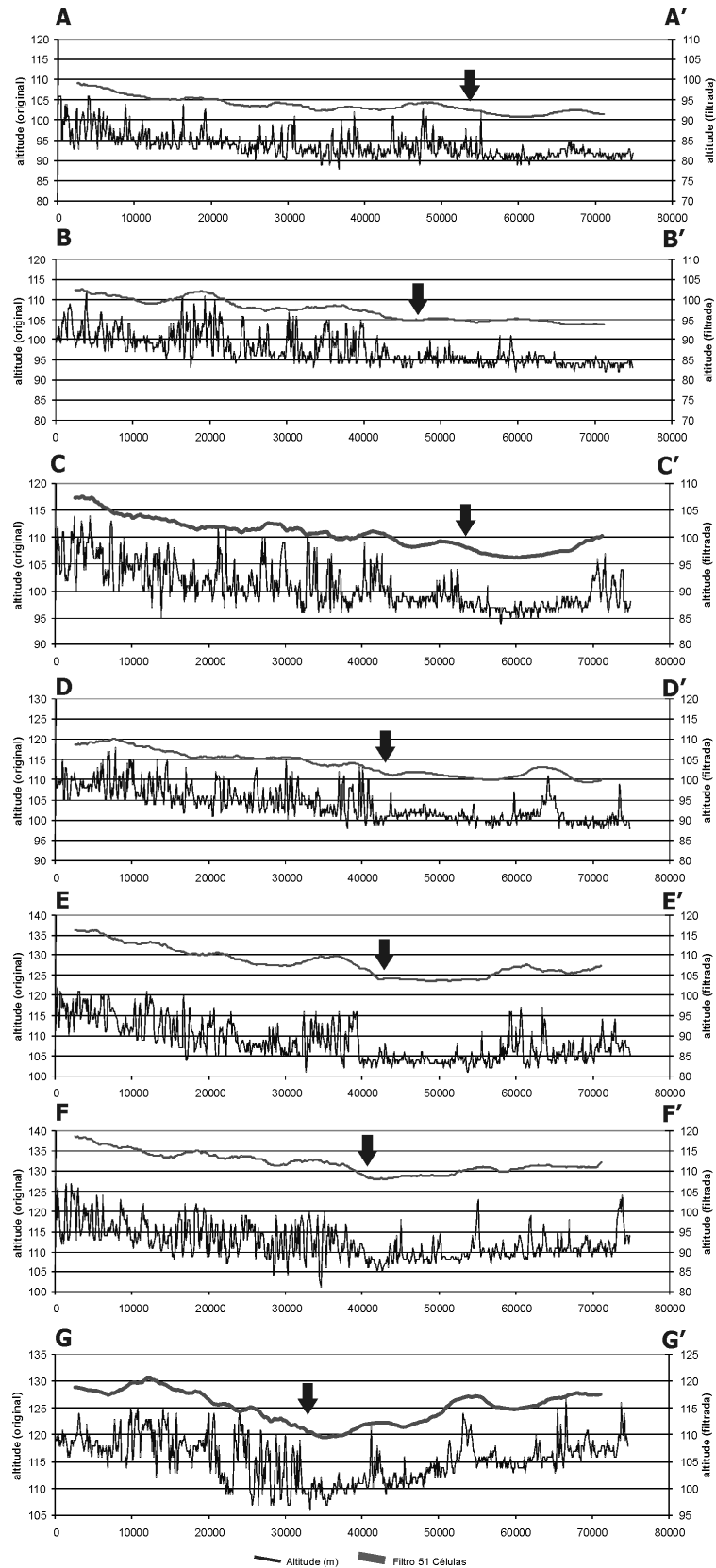


Figura 6 – Perfis obtidos em imagens SRTM do limite entre a Baixa Nhecolândia e a planície do rio Negro. Observar as setas pretas indicando a formação de um dique marginal de jusante para montante. Exagero vertical de 550 vezes.

DISCUSSÃO

A análise dos perfis, tanto os feitos transversalmente à Baixa Nhecolândia como um todo quanto os perfis detalhando o limite a sul, indicam estar a Baixa Nhecolândia soerguida. A formação das lagoas pode ser um indicativo desse soerguimento, pois elas estão orientadas segundo canais de drenagens abandonados e, dispostas em rosário: com o soerguimento da região, composta por areias inconsolidadas altamente permeáveis, teria havido um rebaixamento do nível de base levando ao desaparecimento dos rios e córregos e persistência, agora como lagoas, apenas das porções mais profundas dos canais originais, refletindo o padrão das drenagens anteriores. Segundo Schumm et al. (2000) lagoas desse tipo são coletoras de drenagens e, por vezes, possuem padrões meandantes superimpostos por estes antigos canais, sendo que na região as lagoas coletam águas oriundas do rio Taquari que seguem em direção ao rio Negro.

Ao LTB associa-se uma mudança na fisiografia da região definindo o limite entre a Baixa Nhecolândia e a Vazante do Corixinho, como já amplamente discutido na literatura. Neste trabalho confirma-se a anteriormente já sugerida quebra topográfica da ordem de 4 metros associada ao LTB, que segue ativo tectonicamente como indica a sismicidade associada. Já o limite Sul é mais complexo. Na porção sudeste pode haver coincidência com uma direção estruturalmente presente na região, eventualmente associada ao LTB, ou ser apenas o fim de um evento deposicional do megaleque. Após a inflexão do rio Negro para WNW, ao passar a acompanhar a continuidade do Lineamento Tucavaca, é difícil não associar o brusco fim da Baixa Nhecolândia e a quebra de relevo com aquele importante lineamento, que está reconhecidamente presente até nas proximidades da fronteira Brasil-Bolívia. Por outro lado os perfis transversais ao LRN indicam que a quebra topográfica não ocorre tão homoganeamente como com o LTB e sua morfologia, assemelhada a um dique marginal, pode indicar uma origem deposicional, podendo associar-se a processos de assoreamento responsáveis pela formação de terraços aluviais, conferindo à drenagem padrão indistinto.

O uso dos filtros de média móvel ponderada mostrou-se essencial para realçar as sutis variações topográficas que ocorrem na região e, portanto, também essencial para abordar a questão dos limites da Baixa Nhecolândia. Com o aqui apresentado, embora permaneçam dúvidas quanto à origem dos limites sudeste e sudoeste, fica demonstrado estar aquele ambiente mais elevado em relação às planícies vizinhas. Esta posição topograficamente mais elevada, quando analisada à luz do trabalho de Schumm *et al.* (2000), tem grande importância na discussão genética da Baixa Nhecolândia, pois sugere terem os milhares de lagoas da região se originado de rios existentes anteriormente a um processo de soerguimento devido à reativação tectônica de estruturas de idade neoproterozóica.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A utilização de dados SRTM filtrados como exposto se mostrou eficiente na detecção de discretas variações topográficas, que puderam ser comparadas às feições estruturais conhecidas pela literatura. Entretanto, não é possível definir a natureza do movimento ou diferenciar feições erosivas/sedimentares de feições estruturais. Mas, através da análise das imagens, pôde-se verificar a potencial associação de parte dos limites da Baixa

Nhecolândia com conhecidas feições estruturais de idade proterozóica, de ocorrência em áreas externas à da Bacia do Pantanal. Por outro lado essas feições parecem ocorrer também internamente à Bacia do Pantanal, não apenas evidenciadas por sua possível associação com os limites da Baixa Nhecolândia como na aparente captura de diversos rios, como o Piquiri e Aquidauana, que apresentam trechos retilíneos.

As evidências de estar a Baixa Nhecolândia alçada em 3 a 5 metros em relação à vizinhança compõem um dado importante na discussão genética daquele ambiente, reforçando a proposta de origem das lagoas a partir de antigos rios, já que estas estão, ao menos em sua maior parte, dispostas em rosário. Este processo poderia se dever a um simples rebaixamento do nível de base, mas isto não explicaria o fato das lagoas se restringirem à Baixa Nhecolândia. A hipótese de um soerguimento de origem tectônica é bastante plausível e explicaria a presença das lagoas apenas no bloco soerguido.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Instituto Forpus e ao Parque Estadual do Pantanal do Rio Negro (PEPRN) pela viabilização dos trabalhos de campo relacionados à pesquisa. Deborah Mendes agradece à CAPES pela bolsa de mestrado e Teodoro Isnard Ribeiro de Almeida agradece à Fapesp (processo número 06/61052-4) por financiar pesquisas na Baixa Nhecolândia, as quais auxiliaram na realização deste trabalho.

REFERÊNCIAS

- Almeida, T. I. R. ; Fernandes, E. ; Mendes, D. ; Branco, F. C. ; Sigolo, J.B. . Distribuição espacial de diferentes classes de lagoas no Pantanal da Nhecolândia, MS, a partir de dados vetoriais e SRTM: uma contribuição ao estudo de sua compartimentação e gênese. *Geologia USP. Série Científica*, v. 7, p. 95-107, 2007.
- Assine M. L. & Soares, P. C. 2004. Quaternary of the Pantanal, West-Central Brazil. *Quaternary International*. **114**:23-34.
- Assine M. L. 2003. Sedimentação na Bacia do Pantanal Matogrossense, Centro Oeste, Brasil. Tese de Livre Docência, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, UNESP, Rio Claro. 105 pp.
- Assine M. L. 2005. River avulsions on the Taquari megafan, Pantanal Wetland, Brazil. *Geomorphology*. **70**:357-378.
- Assumpção M. 1998a. Focal mechanisms of small earthquakes in the Southeastern Brazilian shield: a test of stress models of the South American plate. *Geophysical Journal International*. **133**:490-498.
- Assumpção M. 1998b. Sismotectónica y esfuerzos en Brasil. *Física de la Tierra*. **10**:149-166.
- Assumpção M., Schimmel M., Escalante C., Barbosa J. R., Rocha M., Barros L. V. 2004. Intraplate seismicity in SE Brazil: stress concentration in lithospheric thin spots. *Geophysical Journal International*. **159**:390-399.
- Boggiani, P. C. 1998. Análise estratigráfica da Bacia Corumbá (Neoproterozóico) – Mato Grosso do Sul. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo, 181 pp.
- Cunha J. 1943. Cobre do Jaurú e lagoas alcalinas do Pantanal (Mato Grosso). Boletim do Laboratório da Produção Mineral, Rio de Janeiro **6**:1-43.
- Facincani E. M., Assine M. L., Silva A., Zani H., Araújo B. C., Miranda G. M. 2006. Geomorfologia fluvial do leque do rio Aquidauana, borda sudeste do Pantanal, MS. In: Anais 1º Simpósio de Geotecnologias do Pantanal, Campo Grande, MS, 11-15 de novembro de 2006, p. 175-181.
- Farr T. G., Rosen P. A., Caro E., Crippen R., Duren R., Hensley S., Kobrick M., Paller M., Rodriguez E., Roth L., Seal D., Shaffer S., Shimada J., Umland J., Werner M., Oskin M., Burbank D., Alsdorf D. 2007. The Shuttle Radar Topographic Mission. *Reviews of*

Geophysics. **45**:

- Farr, T. G. & Kobrick, M. 2000. Shuttle Radar Topography Mission produces a wealth of data. *Eos Transactions, American Geophysical Union*. **81/82**:583-585.
- Fernandes E. 2000. Caracterização dos Elementos do Meio Físico e da Dinâmica da Nhecolândia (Pantanal Sulmatogrossense). Dissertação de Mestrado, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, USP, São Paulo.
- Fernandes E. 2007. Organização espacial dos componentes da paisagem da Baixa Nhecolândia - Pantanal de Mato Grosso do Sul. Tese de Doutorado, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas - Depto. de Geografia, Universidade de São Paulo (USP), São Paulo. 177 pp.
- Fernandes E., Sakamoto A. Y., Queiroz Neto, J. P., Lucati, H. M., Cappelari, B. 1997. Le Pantanal da Nhecolândia cadre physique et Dynamique hydrologique. *Suplemento di Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria*. **22**:13-21.
- Fisseha S. 2003. *Estruturas geotectônicas crustais do Pantanal e Faixa Paraguai: implicações tectônicas*. Tese de doutorado, IAG-USP, 189 pp.
- Gesick A. L. D. & Riccomini C. 1998. Neotectônica da borda sudeste do Pantanal Matogrossense. In: Anais XL Congresso Brasileiro de Geologia, Belo Horizonte, MG, p. 84-84.
- Godói H. O., Martins E. G. Mello J. C. R., Scislewski G. 2001. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil - PLGB. Corumbá – Folha SE.21-Y-D, Aldeia Tomázia, Folha SF.21-V-B, Porto Murtinho, Folha SF.21-V-D, Estado de Mato Grosso do Sul. Escala 1:250.000. Ed. CPRM. 1CD-ROM.
- Hales F. W. 1981. Anomalias magnéticas de origem profunda na Fossa Araguaia e Pantanal: suas implicações geológicas. *Mineração e Metalurgia*. **44**:24-30.
- Hamza V. M. & Muñoz M. 1996. Heat flow map of South America. *Geothermics*. **25**:599-646.
- Horton B. K. & DeCelles P. G. 1997. The modern foreland basin system adjacent to the Central Andes. *Geology*. **25**:895-898.
- Kellndorfer J., Walker W., Pierce L., Dobson C., Fites J. A., Hunsaker C., Vona J., Clutter M. 2004. Vegetation height estimation from Shuttle Radar Topography Mission and National Elevation Datasets. *Remote Sensing of Environment*. **93**:339-358.
- Latrubesse E. M., Stevaux J. C., Santos M. L., Assine, M. L. 2005. Grandes sistemas fluviais: geologia, geomorfologia e paleoidrologia. In: Souza C. R. G., Suguio K., Oliveira A. M. S., Oliveira P. E. (eds.) *Quaternário do Brasil*. Holos Editora. São Paulo, pp. 276-297.
- Rabelo L. & Soares P. C. 1999. Lineamento Transbrasiliiano e neotectônica na Bacia do Pantanal. In: Anais Simpósio Nacional de Estudos Tectônicos - SNET, Lençóis, BA, p. 79-82.
- Rodríguez E., Morris C. S., Belz J. E., Chapin E. C., Martin J. M., Daffer W., Hensley S. 2005. An assessment of the SRTM topographic products. Technical Report JPL D-31639:1-143.
- Ruiz A. S. 2005. Evolução Geológica do Sudoeste do Cráton Amazônico Região Limítrofe Brasil-Bolívia. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, 260 pp.
- Schumm S. A., Dumont J. F., Holbrook J. M. 2000. *Active tectonics and alluvial rivers*. Ed. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom. 276 pp.
- Shiraiwa S. & Ussami N. 2001. Gravity survey of the Pantanal Wetland: Data acquisition and processing. *Revista Brasileira de Geofísica*. **19**:315-324.
- Soares P. C., Assine M. L., Rabelo, L. 1998. The Pantanal Basin: Recent Tectonics, Relationships to the Transbrasiliiano Lineament. In: Anais IX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Santos, 11-18 setembro 1998, p. 459-469.
- Ussami N., Shiraiwa S., Dominguez J. M. L. 1999. Basement reactivation in a sub-Andean foreland flexural bulge: The Pantanal wetland, SW Brazil. *Tectonics*. **18**:25-39.
- Valeriano C. M. e Abdon M. M. 2006. Aplicação de dados SRTM a estudos do Pantanal. In: Anais 1º Simpósio de Geotecnologias do Pantanal, Campo Grande, 11-15 novembro, p. 395-404.
- Weyler G. 1962. Relatório final dos poços perfurados no Pantanal Matogrossense – Projeto Pantanal. Petrobrás, Ponta Grossa, Brasil, p. 27.

Zani H., Assine M. L., Araújo B. C., Merino E. R., Silva A., Facincani E. M. 2006. Lobos deposicionais na evolução do megaleque do rio Taquari, Pantanal Mato-grossense. *In: Anais 1º Simpósio de Geotecnologias do Pantanal, Campo Grande, MS, 11-15 de novembro de 2006*, p. 285-292.

CAPÍTULO 4

RESULTADOS OBTIDOS E DISCUSSÃO

Complementarmente aos resultados apresentados nos capítulos 2 e 3, apresenta-se aqui a sua síntese e discutem-se aspectos de sua integração.

Apesar de ser uma planície, a Baixa Nhecolândia apresenta relevo interno mais ondulado e topograficamente encontra-se mais elevada que as áreas da Vazante do Corixinho e do rio Negro, como discutido nos capítulos 2 e 3, com desníveis de aproximadamente dois a quatro metros coincidentes com limites bruscos e retilíneos dos campos de lagoas. Tais limites são associados respectivamente aos lineamentos Transbrasiliano e do Rio Negro, este último definido nesta pesquisa.

Este provável soerguimento do bloco em que se encontra a Nhecolândia em relação às planícies vizinhas, como mostram as evidências aqui apresentadas, é o principal resultado obtido, pois pode ser um aspecto fundamental na análise da origem dos milhares de lagoas que caracterizam a Nhecolândia, um tema ainda em discussão e que pode ser considerado pouco esclarecido. Pode-se, assim, apresentar uma hipótese alternativa para a origem do campo de lagoas.

A hipótese mais aceita na literatura (Klammer, 1982; Assine & Soares, 2004) indica que as lagoas se formaram pela elevação do lençol freático por ocasião do fim da glaciação do Pleistoceno, inundando as superfícies de deflação de um campo de dunas. Ainda que bem fundamentada, esta hipótese não explica, por exemplo, as formas comuns das lagoas, discordantes das de superfícies de deflação e, principalmente, a presença de séries de lagoas em rosário. Com um discreto soerguimento do bloco que contém a Nhecolândia e conseqüente rebaixamento do freático as drenagens perenes existentes passariam a drenar em sub-superfície, pelas areias inconsolidadas e altamente permeáveis da bacia, levando ao desaparecimento das porções mais rasas dos rios e córregos, isolando conjuntos de lagoas em rosário, ora mais ora menos passíveis de serem interconectados nos períodos de cheia com a elevação do freático. Com o soerguimento o nível de base local continuaria a coincidir com o do rio Negro, que corre em leito já fora da área soerguida. Assim, por esta hipótese a Baixa Nhecolândia estaria sofrendo degradação, como corroboram feições erosivas observadas em campo.

Ao Lineamento Transbrasiliano (LTB), de expressão continental, associa-se uma mudança na fisiografia da região: define o limite entre a Baixa Nhecolândia e a Vazante do Corixinho, como já amplamente discutido na literatura. Recorda-se apenas aqui que, em sua extensão para SW, o

mesmo captura o rio Paraguai. Neste trabalho confirmou-se com os perfis ortogonais obtidos dos dados SRTM filtrados a já sugerida quebra topográfica da ordem de 4 metros associada a este lineamento quando limita a Baixa Nhecolândia (Figuras 4.1 e 4.2). A atividade tectônica deste lineamento é bem conhecida pela sismicidade associada não apenas na região do Pantanal como em sua continuidade para NE.

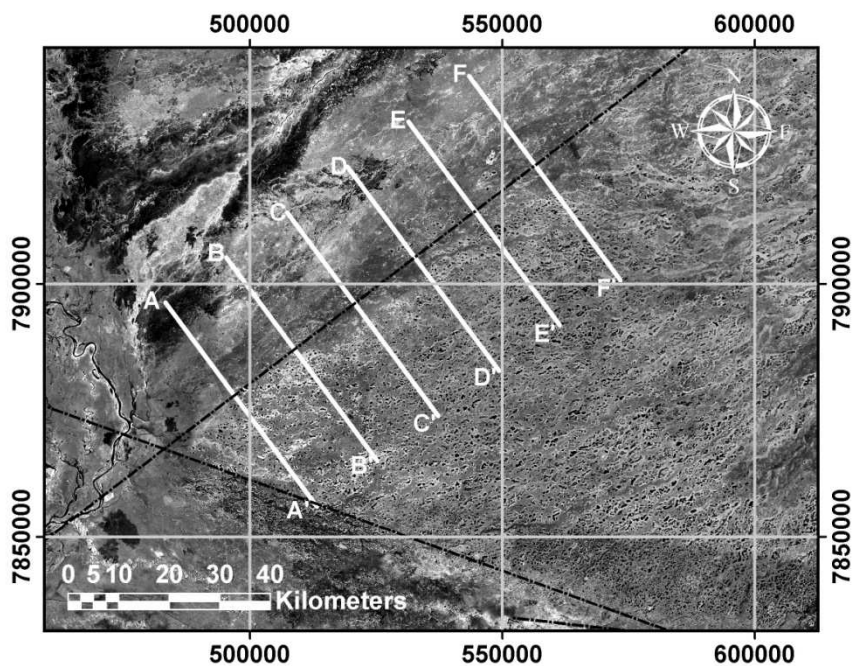


Figura 4.1 – Localização dos perfis altimétricos entre a Baixa Nhecolândia e a Vazante do Corixinho desenhados sobre recorte de imagem ETM+4

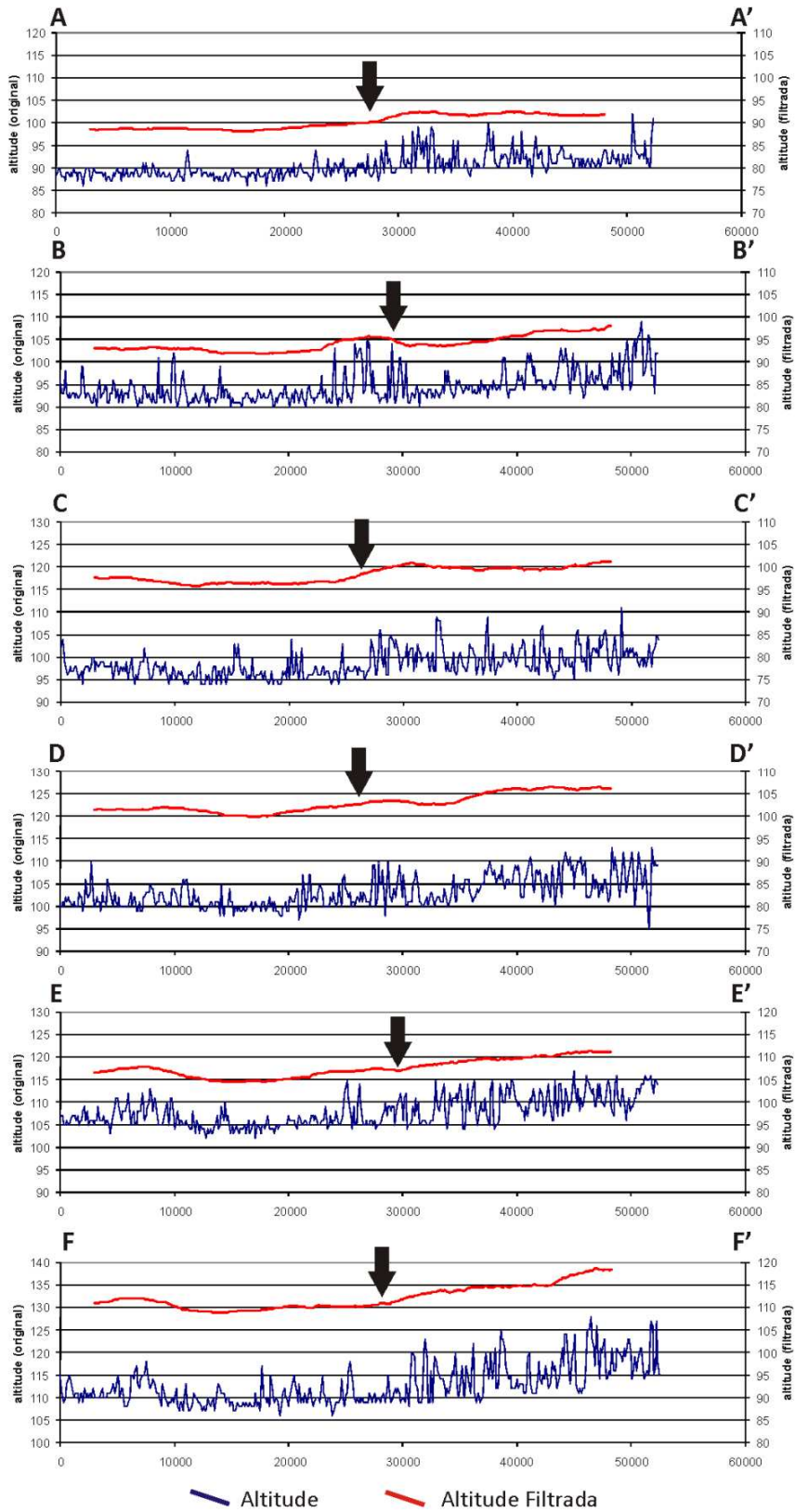


Figura 4.2 – Perfis altimétricos no limite entre a Baixa Nhecolândia e a Vazante do Corixinho obtidos a partir de dados SRTM filtrados por filtros passa-baixas ponderados de 51 células, discutidos no capítulo 3. A quebra topográfica associa-se ao Lineamento Transbrasiliiano.

Com relação ao Lineamento do Rio Negro (LRN), os desníveis indicados pelos perfis altimétricos são aparentemente menos claros, como mostram as **Figuras 4.3** e **4.4** (também apresentadas no capítulo 3). Observe-se que o desnível relacionado ao Lineamento do Rio Negro no perfil D é da ordem de 5 metros, diminuindo para um torno de 3 metros no perfil C e para um metro no B, inexistindo no perfil A.

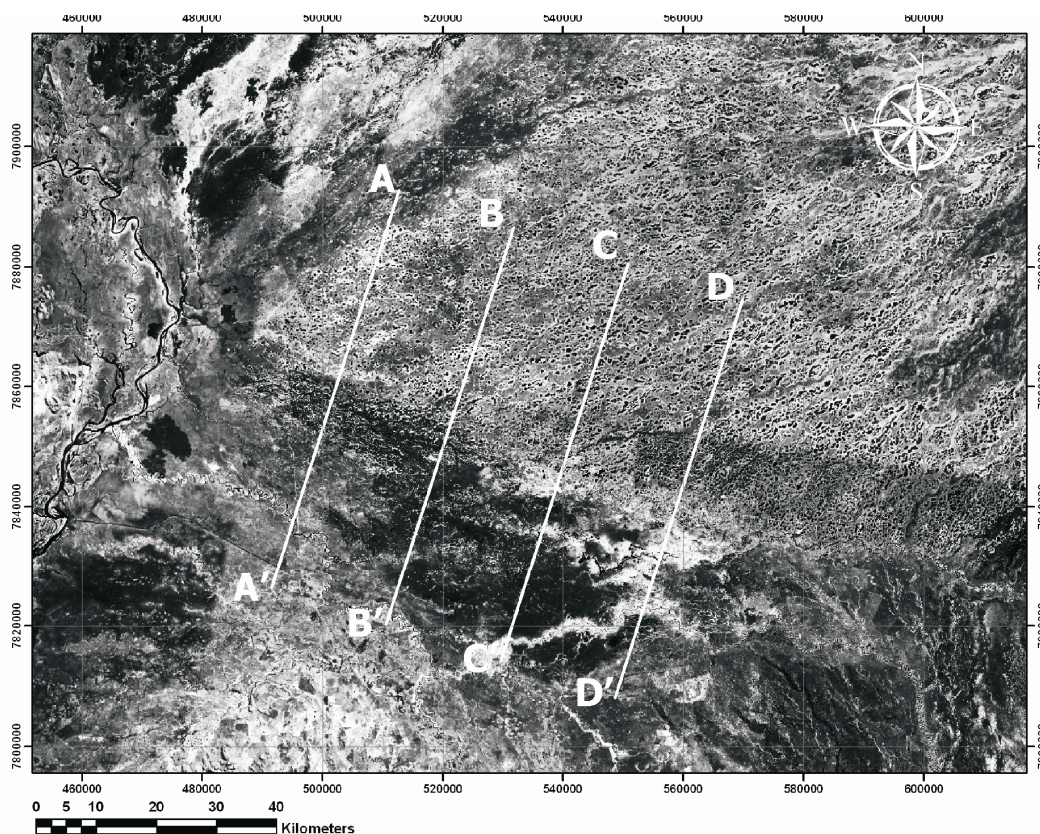


Figura 4.3 – Localização dos perfis altimétricos entre a Baixa Nhecolândia e o Pantanal do Rio Negro desenhados sobre recorte de imagem ETM+4.

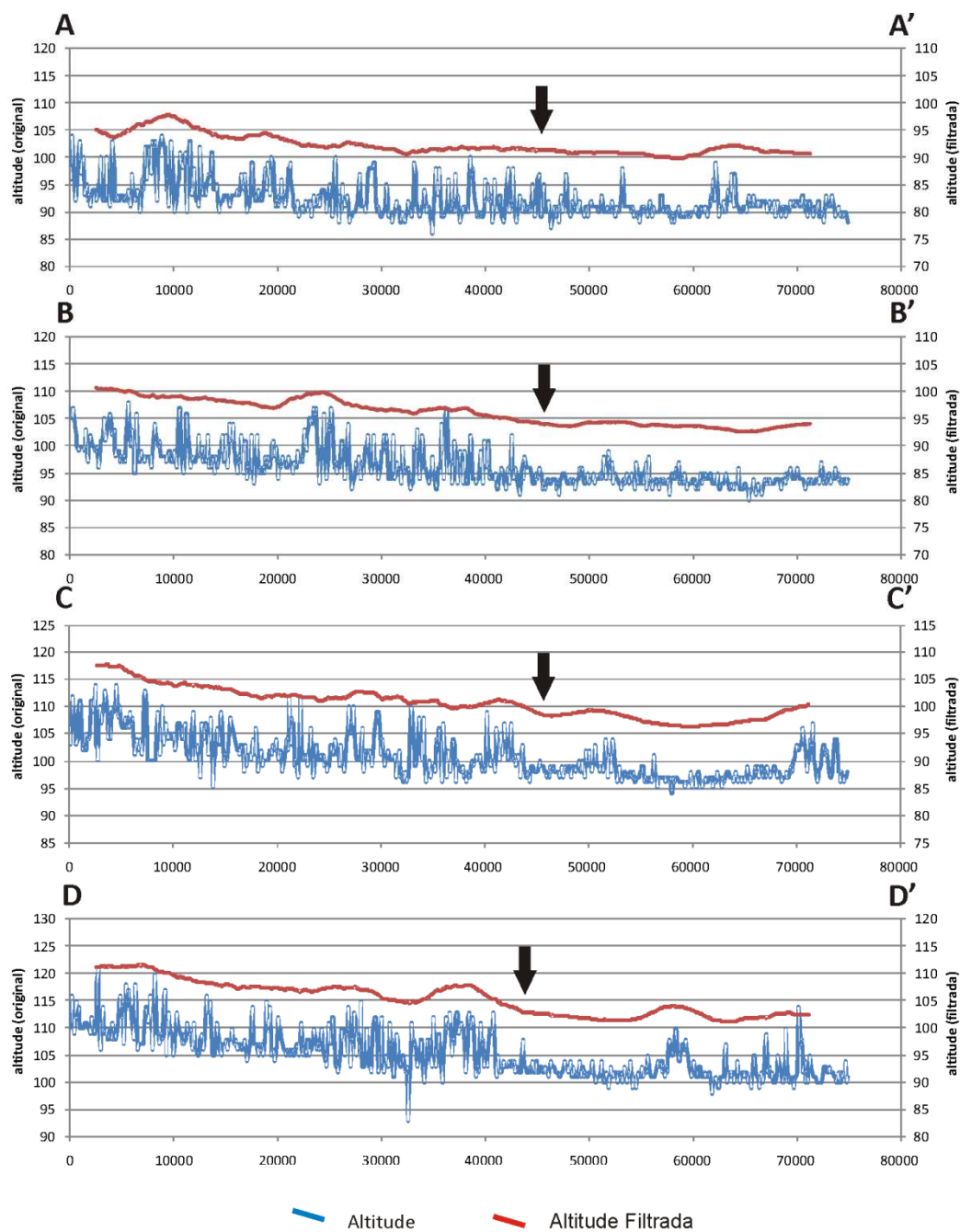


Figura 4.4 – Perfis altimétricos na região do limite entre a Baixa Nhecolândia e o Pantanal do Rio Negro obtidos a partir de dados SRTM filtrados por filtros passa-baixas ponderados de 51 células, discutidos no capítulo 3. A seta preta indica a quebra associada ao Lineamento do Rio Negro.

O amortecimento do desnível relacionado ao Lineamento do Rio Negro mostrado na **Figura 4.4** pode dever-se a processos erosivos/deposicionais posteriores ao soerguimento, com o assoreamento sendo responsável pelo padrão ramificado ao canal de drenagem. Caso o término do campo de lagoas fosse função de processos erosivos/deposicionais sem interferência de

tectonismo, não haveria justificativa para o desaparecimento das lagoas em linha bem marcada tanto na área em que há um desnível significativo como na que o assoreamento deixou o vale do rio Negro completamente indistinto. Assim o tectonismo que abateu o bloco do Pantanal do Rio Negro em relação ao da Baixa Nhecolândia parece ter levado a um assoreamento crescente em direção a WNW, formando o Pantanal do Rio Negro, área inundada pelo rio Negro sem qualquer drenagem definida.

O desnível topográfico observado nos perfis da **Figura 4.4** dá orientação geral ao rio Negro antes de se tornar ramificado, possivelmente por condicioná-lo. A extensão deste lineamento para WNW é aproximadamente coincidente a um trecho de quase 100 km do rio Paraguai, numa importante evidência de tectonismo recente, com captura de rio de grande porte (**Figura 4.5**). Acrescente-se ser tal lineamento também coincidente com a extensão do Lineamento Tucavaca para WNW. E realmente, após a inflexão do rio Negro para WNW, ao passar a acompanhar a continuidade do Lineamento Tucavaca, é difícil não associar o abrupto fim da Baixa Nhecolândia e a quebra de relevo com aquele lineamento, presente até as proximidades da fronteira Brasil-Bolívia.



Figura 4.5 – Lineamento Transbrasiliiano e Lineamento do Rio Negro. Observar o rio Paraguai sendo aparentemente capturado pela extensão destes dois lineamentos (modificado de Assine, 2004).

Na **Figura 4.6** apresenta-se fotografia tomada na margem direita do rio Negro, nas proximidades da Fazenda Rio Negro, mostrando ser esta margem, coincidente com o término da Baixa Nhecolândia, nitidamente mais elevada que a margem esquerda, já associada ao Pantanal do Rio Negro. Este padrão foi observado em outros pontos do rio Negro naquela região, o que foi interpretado como evidência suplementar de estar a margem direita – e a Baixa Nhecolândia – alçada em relação à margem esquerda.



Figura 4.6– Barranca existente no rio Negro, na altura da Fazenda Rio Negro, localizada logo após a deflexão do rio, onde este assume padrão meandrante. Notar na margem direita uma barranca bem desenvolvida, de aproximadamente 1,5 metros, inexistente na margem esquerda.

A existência de grande concentração de lagoas neste ponto pode ser explicada também pelo soerguimento e conseqüente degradação que a Nhecolândia vem sofrendo, formando o dique na margem do rio Negro. No ponto onde o rio sofre deflexão existe uma barreira topográfica: ao tomar o rumo WNW o rio torna-se meandrante, indicando que neste ponto o rio é erosivo. Neste local ocorrem as maiores concentrações de lagoas salinas. As mudanças entre os padrões meandrante e ramificado ocorrem de forma relativamente abrupta no limiar dos rios e estes padrões mudam em locais onde há valores críticos de poder do rio, gradiente e carga de sedimentos (Schumm *et al.*, 2000). De fato, o rio Negro passa para padrão ramificado, onde, no interior da Baixa Nhecolândia, aumenta a concentração de lagoas hipossalinas (**Figura 4.7**). Isso pode ser explicado pela existência de uma possível estrutura cortando o rio fazendo com que ele passe a sofrer agradação, ou simplesmente por um processo de assoreamento do canal do rio em função dos processos erosivos atuantes no local em função do soerguimento da Baixa Nhecolândia.

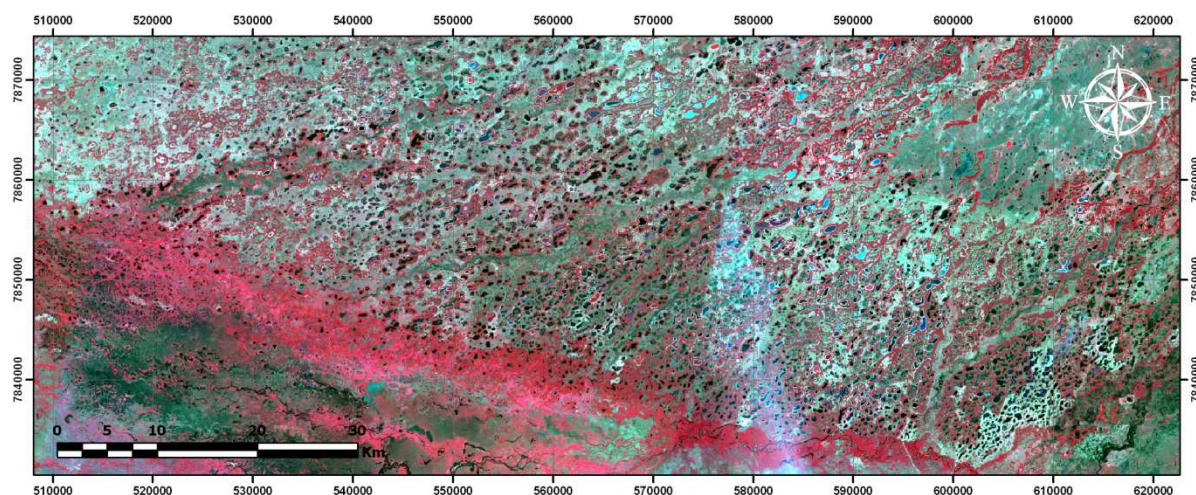


Figura 4.7 – Segmento de mosaico de imagens ASTER mostrando o rio Negro e a concentração de lagoas a norte. As lagoas azuladas e vermelhas mais arredondadas são salinas e estas se concentram a leste da imagem onde o rio assume padrão meandrante. Onde o rio torna-se ramificado, aumenta o número de lagoas hipossalinas.

Assim sendo, pode-se atribuir a distribuição desigual das lagoas dentro da Baixa Nhecolândia a estes eventos de degradação/agradação associados aos processos de tectônica dos blocos, ou seja, nos locais onde predominam lagoas salinas os blocos encontrar-se-iam mais altos que nos locais onde as predominam lagoas hipossalinas. As lagoas salinas estão quase ausentes em toda a porção NW da Baixa Nhecolândia, onde o gradiente é mais suave não formando diques/barrancas, e o terreno é mais baixo. No extremo Oeste da Nhecolândia, na região das fazendas Firme e Santo Inácio, onde há notável concentração de lagoas salinas têm-se terrenos mais elevados, possivelmente relacionados a alguma barreira que pode ser estrutural, já que o rio Taquari sofre deflexão próximo a este ponto, indo encontrar o rio Paraguai mais a sul). Esta barreira pode estar relacionada à confluência entre os rios Taquari e Paraguai, mas também à planície do rio Negro, justamente onde ocorre o encontro entre os lineamentos principais existentes na região.

Observe-se, por fim, que as lagoas salinas estão sistematicamente mais rebaixadas que as lagoas hipossalinas vizinhas, como descrito em Sakamoto (1996) e confirmado em campo. Esta relação espacial local não tem relação com a relação espacial regional acima citada e deve-se a aspectos não estudados nesta pesquisa. O tema está sendo abordado em pesquisas em curso (Teodoro Isnard Ribeiro de Almeida, informação verbal dada em dezembro de 2007).

CAPÍTULO 5

CONCLUSÕES

A pesquisa exigiu desenvolvimento de filtros para homogeneizar ruídos de alta frequência inerentes aos dados SRTM, permitindo seu uso naquela região de extremamente baixo gradiente topográfico. Em outra abordagem foram utilizados filtros passa-baixas da literatura, desenvolvidos para o realce de feições de baixa frequência. Seu uso foi antevisto como possibilidade de realçar eventuais concentrações de lagoas salinas e hipossalinas. Em ambos os casos os resultados obtidos foram positivos.

Anteriormente não havia dados topográficos disponíveis regionalmente que permitissem analisar desníveis potencialmente associados a feições tectônicas de porte, como é o caso do LTB, que na região atua como limite NW da Baixa Nhecolândia. Assim um dado pontual de grande relevância e presente na literatura é o desnível de quatro metros associado àquele lineamento na região. Com os dados SRTM filtrados pôde-se regionalizar aquele desnível e dar mais segurança à interpretação que o associa a movimento de blocos que, por sua vez, foi interpretado como essencial para a compreensão da gênese recente da Baixa Nhecolândia. Estes dados permitiram, ainda, propor com mais segurança o soerguimento da Baixa Nhecolândia em relação ao Pantanal do Rio Negro, em associação com o lineamento homônimo, permitindo a interpretação de um soerguimento da Baixa Nhecolândia como um todo em relação às planícies vizinhas. Estas duas conclusões abrem a possibilidade de se montar uma hipótese alternativa para a origem do campo de lagoas. Há, entretanto, necessidade de estudos mais aprofundados sobre o tema, para cotejar esta hipótese e a já presente na literatura, já que a que aqui se apresenta é feita de modo preliminar e sobre dados espaciais sem controle de campo, e que, todavia esclarece, sobretudo, as séries de lagoas em rosário, não explicadas, por sua vez, pela hipótese da literatura.

No tocante às filtragens passa-baixas sobre mapas temáticos, os resultados obtidos permitiram observar distribuição não aleatória das lagoas salinas e hipossalinas bem como dar segurança na interpretação e delimitação de concentrações de lagoas de um e outro tipo. Estes dados ainda carecem de estudos complementares para sua compreensão, mas já permitem identificar, ainda que localmente, a clara associação de predomínio de lagoas salinas com regiões mais elevadas que nas vizinhanças da própria Baixa Nhecolândia. Ao se cruzar esta conclusão com a que indica estar a Baixa Nhecolândia alçada em relação às planícies vizinhas torna-se difícil não correlacionar a presença de lagoas salinas com o alçamento de blocos: regionalmente ocorrem apenas em um bloco soerguido e, no interior deste bloco, ocorrem predominantemente em locais

mais elevados que nas vizinhanças.

CAPÍTULO 6

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLMENDINGER, R. W.; JORDAN, T. E.; KAY, S. M.; ISACKS, B. L. The evolution of the Altiplano-Puna Plateau of the Central Andes. *Annual Reviews Earth Planetary Sciences*, v. 25, p. 139-174, 1997.

ALMEIDA, F. F. M. de. Geologia do sudoeste matogrossense. *Boletim do DNPM/DGM*, n. 116, p. 1-118, 1945.

ALMEIDA, F. F. M. de. Geomorfologia da região de Corumbá. *Boletim da Associação de Geógrafos do Brasil*, n. 3, p. 8-18, 1943.

ALMEIDA, T. I. R.; FERNANDES, E.; MENDES, D.; BRANCO, F. C.; SIGOLO, J. B. Distribuição espacial de diferentes classes de lagoas no Pantanal da Nhecolândia, MS, a partir de dados vetoriais e SRTM: uma contribuição ao estudo de sua compartimentação e gênese. *Geologia USP: Série Científica*, v. 7, p. 95-107, 2007.

ALMEIDA, T. I. R.; FERNANDES, E.; MENDES, D.; BRANCO, F.C.; SÍGOLO, J.B. Distribuição espacial de diferentes classes de lagoas no Pantanal da Baixa Nhecolândia, MS: uma contribuição ao estudo de sua compartimentação e gênese. In: SIMPÓSIO DE GEOTECNOLOGIAS NO PANTANAL, 1, 2006, Campo Grande. *Anais...* Campo Grande, 2006. p. 155-164.

ALMEIDA, T. I. R.; SÍGOLO, J.B.; FERNANDES, E. QUEIROZ NETO, J.P.; BARBIERO, L.; SAKAMOTO, A.Y. Proposta de classificação e gênese das lagoas da baixa Nhecolândia - MS com base em sensoriamento remoto e dados de campo. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 33, n. 2, p. 83-90, 2003.

ASSINE M. L. River avulsions on the Taquari megafan, Pantanal Wetland, Brazil. *Geomorphology*, v. 70, p. 357-378, 2005.

ASSINE M. L.; SOARES, P. C. Quaternary of the Pantanal, West-Central Brazil. *Quaternary International*, v. 114, p. 23-34, 2004.

ASSINE, M. L. *Sedimentação na Bacia do Pantanal Matogrossense, Centro-Oeste Brasil*. 2003 104 f. Tese (Livre-Docência) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2003.

ASSUMPÇÃO M. S. DE. Focal mechanisms of small earthquakes in the Southeastern Brazilian shield: a test of stress models of the South American plate. *Geophysical Journal International*, v. 133, p. 490-498, 1998.

ASSUMPÇÃO, M. S DE. The regional intraplate stress field in South America. *Journal of Geophysical Research*, v. 97, n. B8, p. 11889-11903, 1992.

ASSUMPÇÃO, M. S. DE; HEINTZ, M.; VAUCHEZ, A.; EGYDIO SILVA, M.; BARBOSA, J.R. 2006, Upper mantle anisotropy in SE and Central Brazil from SKS splitting: Evidence of asthenospheric flow around a cratonic keel. *Earth and Planetary Science Letters*, v. 250, p. 224-240, 2006.

ASSUMPÇÃO, M. S. DE; SCHIMMEL, M.; ESCALANTE, C.; BARBOSA, J. R.; ROCHA, M.; BARROS, L. V. Intraplate seismicity in SE Brazil: stress concentration in lithospheric thin spots. *Geophysical Journal International*, v. 159, p. 390-399, 2004.

BOGGIANI, P. C. *Análise estratigráfica da Bacia Corumbá (Neoproterozóico) – Mato Grosso do Sul*. 1998 181 f. Tese (Doutorado) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1998.

BRANCO, F. C. *Filtros de convolução passa baixas no realce tonal de imagens*. 1998 78 f. Dissertação (Mestrado). Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1998.

CERQUEIRA, E. O.; POPPI, R. J. E.; KUBOTA, L. T.; MELLO, C. Utilização de filtro de transformada de Fourier para a minimização de ruídos em sinais analíticos. *Química Nova*, v. 23, n. 5, p. 690-698, 2000.

CUNHA J. 1943. Cobre do Jaurú e lagoas alcalinas do Pantanal (Mato Grosso). *Boletim do Laboratório da Produção Mineral*, n. 6, p. 1-43, 1943.

FACINCANI, E. M.; ASSINE, M. L.; SILVA, A.; ZANI, H.; ARAÚJO, B. C.; MIRANDA, G. M. 2006. Geomorfologia fluvial do leque do rio Aquidauana, borda sudeste do Pantanal, MS. In: SIMPÓSIO DE GEOTECNOLOGIAS DO PANTANAL, 1, 2006, Campo Grande. *Anais...* Campo Grande, 2006. p. 175-181.

FARR, T. G.; KOBRIK, M. 2000. Shuttle Radar Topography Mission produces a wealth of data. *Eos Transactions, American Geophysical Union*, v. 81/82, p. 583-585, 2000.

FARR, T. G.; ROSEN, P. A.; CARO, E.; CRIPPEN, R.; DUREN, R.; HENSLEY, S.; KOBRIK, M.; PALLER, M.; RODRIGUEZ, E.; ROTH, L.; SEAL, D.; SHAFFER, S.; SHIMADA, J.; UMLAND, J.; WERNER, M.; OSKIN, M.; BURBANK, D.; ALSDORF, D. The Shuttle Radar Topographic Mission. *Reviews of Geophysics*, v. 45, n. 2, 2007.

FENG, M.; ASSUMPÇÃO, M. S.; AND LEE, S. V. DER. Group-velocity tomography and lithospheric S-velocity structure of the South American continent. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, v. 147, p. 315–331, 2004.

FERNANDES E. *Caracterização dos Elementos do Meio Físico e da Dinâmica da Nhecolândia (Pantanal Sulmatogrossense)*. 2000 130 f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

FERNANDES E. *Organização espacial dos componentes da paisagem da Baixa Nhecolândia - Pantanal de Mato Grosso do Sul*. 2007 177 f. Tese (Doutorado) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

FERNANDES, E. et al. Identification et organisation spatiale des milieux hydriques acides et alcalins et leurs rapports avec lês formes du relief dans le Pantanal de Nhecolandia (Brésil). In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON GEOMORPHOLOGY, 60, 2005, Zaragoza. *Abstract volume*. Zaragoza, 2005. p. 123.

FERNANDES, E.; SAKAMOTO, A. Y.; QUEIRÓZ-NETO, J. P.; LUCATI, M. H.; CAPELARI, B. Le “Pantanal de Nhecolândia” Mato Grosso: cadre physique et dynamique hydrologique. *Geographie Fisique et Dynamique du Quaternaire Supplemen*, v. 22, p. 13-21, 1999.

FISSEHA S. 2003. *Estruturas geolétricas crustais do Pantanal e Faixa Paraguai: implicações tectônicas*. 2003 189 f. Tese (Doutorado) – Instituto de Astronômico e Geofísico, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

GESICK A. L. D.; RICCOMINI C. Neotectônica da borda sudeste do Pantanal Matogrossense. In:

CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 40, 1998, Belo Horizonte. *Anais...* Belo Horizonte, 1998. p. 84.

GODÓI, H. O.; MARTINS, E. G.; MELLO, J. C. R.; SCISLEWSKI, G. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil: Corumbá – Folha SE.21-Y-D, Aldeia Tomázia – Folha SF.21-V-B, Porto Murtinho – Folha SF.21-V-D, Estado de Mato Grosso do Sul. Escala 1:250.000. São Paulo: CPRM, 2001, 1 CD-ROM.

HALES, F. W. Anomalias magnéticas de origem profunda na Fossa Araguaia e Pantanal: suas implicações geológicas. *Mineração e Metalurgia*, v. 44, p. 24-30, 1981.

HAMZA, V. M.; MUÑOZ, M. Heat flow map of South America. *Geothermics*, v. 25, p. 599-646, 1996.

HOLBROOK, J.; SCHUMM, S.A. Geomorphic and sedimentary response of rivers to tectonic deformation: a brief review and critique of a tool for recognizing subtle epeirogenic deformation in modern and ancient settings. *Tectonophysics*, v. 305, p. 287-306, 1999.

HORTON, B. K.; DECELLES, P. G. The modern foreland basin system adjacent to the Central Andes. *Geology*, v. 25, p. 895–898, 1997.

KELLNDORFER, J.; WALKER, W.; PIERCE, L.; DOBSON, C.; FITES, JO A.; HUNSAKER, C.; VONA, J.; CLUTTER, M. Vegetation height estimation from Shuttle Radar Topography Mission and National Elevation Datasets. *Remote Sensing of Environment*, v. 93, n. 3, p. 339-358, 2004.

KLAMMER, G. Die Paläowüste des Pantanal von Mato Grosso und die pleistozäne Klimageschichte der brasilianischen Randtropen. *Zentralblatt Für Geomorphologie*, v. 26, n. 4, p. 393- 416, 1982.

LATRUBESSE, E. M.; STEVAUX, J. C.; SANTOS, M. L.; ASSINE, M. L. Grandes sistemas fluviais: geologia, geomorfologia e paleoidrologia. In: SOUZA, C. R. G.; SUGUIO, K.; OLIVEIRA, A. M. S.; OLIVEIRA, P. E. [coord.]. *Quaternário do Brasil*. São Paulo: Holos Editora, 2005. p. 276-297.

MELERO, M. G.; FERNANDES, E.; CAPELLARI, B.; ALMEIDA, T. I. R.; SIGOLO, J. B. Application des techniques de la télédétection pour la reconnaissance et quantification des formes du relief au Pantanal de Nhecolândia (Brésil). In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON GEOMORPHOLOGY, 60,

2005, Zaragoza. *Abstracts volume*, Zaragoza, 2005. p. 390.

MITROVICA, J. X.; BEAUMONT, C.; JARVIS, G. T. Tilting of continental interiors by the dynamical effects of subduction. *Tectonics*, v. 5, p. 1078-1094, 1989.

MOURÃO, G. *Limnologia comparativa de três lagoas (duas “bacias” e uma “salina”) do Pantanal da Nhecolândia*. 1989 135 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 1989.

PAIVA, G.; LEINZ, V. Contribuição para a Geologia do Petróleo no Sudoeste de Mato Grosso. *Boletim da Divisão de Fomento da Produção Mineral*, v. 37, p. 1-99, 1939.

PIMENTEL, M. M.; FUCK, R. A.; BOTELHO, N. F. Granites and the geodynamic history of the Neoproterozoic Brasília Belt, Central Brazil: a review. *Lithos*, v. 46, p. 463-483, 1999.

RABELO L.; SOARES P. C. Lineamento transbrasiliano e neotectônica na Bacia do Pantanal. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ESTUDOS TECTÔNICOS, 7, 1999, Lençóis. *Anais...* Lençóis, 1999. p. 79-82.

RABUS, B.; EINEDER, M.; ACHIM, R.; BAMLER, R. The shuttle radar topographic mission – a new class of digital elevation models acquired by spaceborne radar. *Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, v. 57, p. 241-262, 2003.

RICCOMINI, C.; VELÁZQUEZ, V.F.; GOMES, C.B. Tectonic controls of the Mesozoic and Cenozoic alkaline magmatism in Central-Southeastern Brazilian Platform. In: COMIN-CHIARAMONT, P.; GOMES, C.B. [coord.] *Mesozoic to Cenozoic alkaline magmatism in the Brazilian platform*. São Paulo: EDUSP/FAPESP, 2005, p. 31-55.

RODRIGUEZ, E.; MORRIS, C. S.; BELZ, J. E.; CHAPIN, E. C.; MARTIN, J. M.; DAFFER, W.; HENSLEY, S. An assessment of the SRTM topographic products. *Technical Report JPL*. 2005, D-31639, pp. 1-143.

RUIZ, A. S. *Evolução geológica do Sudoeste do Cráton Amazônico região limítrofe Brasil-Bolívia*. 2005 260 f. Tese (Doutorado) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Rio Claro, 2005.

SAKAMOTO, A. Y.; QUEIROZ NETO, J. P.; FERNANDES, E.; LUCATI, H. M.; CAPELLARI, B. 1996. Topografia de lagoas salinas e seus entornos no Pantanal de Nhecolândia. In: SIMPÓSIO SOBRE RECURSOS NATURAIS E SÓCIO-ECONÔMICOS DO PANTANAL, 2, 1996, Corumbá. *Anais...* Corumbá, 1996. p. 127–135.

SAKAMOTO, A.Y. *Dinâmica hídrica em uma lagoa salina e seu entorno no Pantanal da Nhecolândia: contribuição ao estudo das relações entre o meio físico e a ocupação, Fazenda São Miguel do Firme, MS.* 1997 142 f. Tese (Doutorado) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997.

SANTOS P. R. A.; GABOARDI, C.; OLIVEIRA, L. C. 2006. Avaliação da precisão vertical dos modelos SRTM para a Amazônia. *Revista Brasileira de Cartografia*, v. 58, n. 1, p. 101-107, 2006.

SCHUMM S. A.; DUMONT J. F.; HOLBROOK J. M. *Active tectonics and alluvial rivers.* Cambridge University Press, 2000. 276 p.

SHIRAIWA S.; USSAMI N. Gravity survey of the Pantanal Wetland: Data acquisition and processing. *Revista Brasileira de Geofísica*, v. 19, p. 315-324, 2001.

SHIRAIWA, S. *Flexura da litosfera continental sob os Andes Centrais e a origem da bacia do Pantanal.* 1994 314 f. Tese (Doutorado) – Instituto Astronômico e Geofísico, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1994.

SILVA, J.S.V.; ABDON, M.M. Delimitação do pantanal brasileiro e suas sub-regiões. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 33, n. especial, p. 1703-1711, 1998.

SOARES, A.P.; SOARES, P.C.; ASSINE, L. Areais e lagoas do Pantanal, Brasil: herança paleoclimática? *Revista Brasileira de Geociências*, v. 33, n. 2, p. 211-224, 2003.

SOARES, P.C.; ASSINE, M.L.; RABELO, L. The Pantanal Basin: Recent Tectonics, relationship to the transbrasiliiano Lineament. In: SIMPOSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 9, 1998, Santos. *Anais...* São José dos Campos: INPE, 1998. p. 459-469.

SOUSA, F. J. Revisão da geologia da porção SW do Estado de Mato Grosso, S do Estado de Rondônia e do Leste da Bolívia. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 21, n. 1, p. 74-81, 1991.

USSAMI, N.; SHIRAIWA, S.; DOMINGUEZ, J.M.L. Basement reactivation in a sub-Andean Foreland flexural bulge; the Pantanal wetland, SW Brazil. *Tectonics*, v. 18, n. 1, p. 25-39, 1999.

VALERIANO C. M.; ABDON M. M. Aplicação de dados SRTM a estudos do Pantanal. In: SIMPÓSIO DE GEOTECNOLOGIAS DO PANTANAL, 1, 2006, Campo Grande. *Anais...* Campo Grande, 2006. p. 395-404.

WEYLER, G. 1962. *Relatório final dos poços perfurados no Pantanal Matogrossense – Projeto Pantanal*. Ponta Grossa: Petrobrás, 1962. 27 p.

ZANI H.; ASSINE M. L.; ARAÚJO B. C.; MERINO E. R.; SILVA A.; FACINCANI E. M. 2006. Lobos deposicionais na evolução do megaleque do rio Taquari, Pantanal Mato-grossense. In: SIMPÓSIO DE GEOTECNOLOGIAS DO PANTANAL, 1, 2006, Campo Grande. *Anais...* Campo Grande, 2006. p. 285-292.

ANEXO 1

**CARTA DE SUBMISSÃO DO ARTIGO DO CAPÍTULO 3 À REVISTA
BRASILEIRA DE GEOCIÊNCIAS (RBG)**



Curitiba, 23 de junho de 2008.

DO: Editor da RBG

PARA: Deborah Mendes

Referente Trabalho:

| | |
|---|---|
| Deborah Mendes, Teodoro Isnard Ribeiro de Almeida, Fábio Cardinale Branco | LINEAMENTOS TRANSBRASILIANO E RIO NEGRO: POSSÍVEIS LIMITES TECTÔNICOS DO PANTANAL DA NHECOLÂNDIA – MS |
|---|---|

Prezados Autores,

Informamos que o artigo supra mencionado foi recebido pelos editores da Revista Brasileira de Geociências no dia 06/06/2008, o qual foi encaminhado para 2 consultores *ad doc* para análise e parecer.

Aproveitamos a oportunidade para agradecer aos autores supracitados pela escolha da Revista Brasileira de Geociências para submeter e publicar o trabalho em epígrafe.

Atenciosamente,

Alberto Pio Fiori
Editor Chefe da RBG

ANEXO 2

**RESUMO DO TRABALHO APRESENTADO NO XLIII CONGRESSO
BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 2006, ARACAJÚ**

EVIDÊNCIAS DE NEOTECTÔNICA NO LEQUE DO TAQUARI (MS) COM BASE EM SENSORIAMENTO REMOTO ORBITAL.

Deborah Mendes¹, Joel Barbujani Sigolo¹, Teodoro Isnard Ribeiro de Almeida¹, Erminio Fernandes² e Fábio Cardinale Branco³

¹Instituto de Geociências – USP; ²FFLCH – USP; ³TCL Engenharia

O Leque do Taquari, o mais notável leque aluvial do planeta, está localizado na porção Centro-Sul da Bacia do Pantanal, no estado do Mato Grosso do Sul. De acordo com a literatura, a origem desta bacia é atribuída a um processo de reativação de falhas da Faixa Paraguai, possivelmente no Plioceno, formando um *hemigraben* devido a esforços extensionais. O comportamento espacial de sistemas fluviais depende de vários fatores, como clima, geologia, vegetação e fisiografia da bacia hidrográfica. Na bacia em questão é função, essencialmente, da declividade impressa pelo hemigraben e pelas areias finas inconsolidadas que o preenchem, implicando tanto em drenagens mal desenvolvidas como em padrão claramente orientado de NE para SW. Lineamentos tonais internos à bacia, dados por alinhamentos de drenagens e de outros elementos fisiográficos, têm por vezes direções discordantes às impressas pelos processos fluviais e, entretanto, são concordantes com feições estruturais de seu embasamento, sugerindo atividade neotectônica. A principal zona de cisalhamento existente sob a bacia é associada ao Lineamento Transbrasiliano (LT), de direção aproximada N45°E. Há numerosas evidências descritas na literatura de reativação recente desta estrutura, inclusive afetando os sedimentos do Leque do Taquari e sugerindo compartimentação faciológica daquela bacia. Mosaicos de imagens ETM/Landsat, pela visão sinóptica que proporcionam, permitem obter dados tanto da porção estudada da Bacia do Pantanal como do embasamento aflorante em seu entorno. O processamento das imagens orbitais visa o realce de feições lineares, incluindo eventuais evidências de movimentos com componente vertical. As imagens foram processadas segundo duas vertentes. Na primeira, são obtidas imagens ricas em informação de albedo, como a PC1 de uma análise por principais componentes sobre as bandas 3, 4 e 5. Na segunda, as respostas das coberturas vegetais são realçadas por índices de vegetação. A detecção de movimentos tectônicos em sedimentos arenosos inconsolidados é feita de forma indireta, através de variações na disposição dos elementos superficiais daquela bacia (lagos, “cordilheiras” e “vazantes”). As imagens assim geradas realçam, respectivamente, a resposta de albedo e de distintas coberturas vegetais, elementos passíveis de visualização e potencialmente associados a diferenças de fácies. Após estes processamentos, para o realce de alinhamentos de lagoas, cordilheiras ou vazantes, aplicam-se filtros direcionais proporcionais. Tais filtros geram menos artefatos em comparação aos tradicionais e realçam feições potencialmente associadas a movimentos tectônicos. As imagens de albedo permitem a identificação de mudanças bruscas nas drenagens, sugerindo sua captura, e da disposição dos corpos de água. Nas demais imagens, identifica-se grupos de direções de lineamentos, concordantes tanto com a direção do LT como com direções da Faixa Paraguai. Os dados de epicentros de sismos mostram uma tendência geral com direção aproximada N45E, concordante com a do LT. O mapa de lineamentos internos ao Cone do Taquari assim obtido é discutido à luz das principais estruturas descritas no entorno daquela bacia.

ANEXO 3

**TRABALHO APRESENTADO AO 1º SIMPÓSIO DE
GEOTECNOLOGIAS NO PANTANAL, 2006, CAMPO GRANDE**

Utilização de imagens SRTM para a confecção de perfis altimétricos em varredura na baixa Nhecolândia, Pantanal, MS: considerações sobre a atividade neotectônica

Deborah Mendes ¹
Teodoro Isnard Ribeiro de Almeida ¹
Erminio Fernandes ²
Joel Barbujiani Sigolo ¹

¹ Instituto de Geociências – Universidade de São Paulo
Rua do Lago, 562
05508-080 – São Paulo, SP, Brasil
dhmendes@igc.usp.br
{talmeida, jbsigolo}@usp.br

² Centro Universitário Senac
Av. Engenheiro Eusébio Stevaux, 823
04696-000 - São Paulo, SP, Brasil
ermfern@usp.br

Resumo. O Pantanal da Nhecolândia está localizado a sul do Megaleque Taquari, no estado do Mato Grosso do Sul, podendo ser dividido em Alta e Baixa Nhecolândia. De acordo com a literatura, a origem da Bacia do Pantanal está relacionada ao soerguimento da Cordilheira dos Andes, possivelmente no Plioceno, formando uma bacia de *foreland* típica. O comportamento espacial dos sistemas fluviais nesta bacia é função, essencialmente, da declividade impressa pelo hemigraben e pelas areias finas inconsolidadas que o preenchem, implicando tanto em drenagens mal desenvolvidas como em padrão claramente orientado de NE para SW. Feições lineares internas à bacia, dadas por alinhamentos de drenagens e de outros elementos fisiográficos, têm por vezes direções discordantes às impressas pelos processos fluviais, porém concordantes com estruturas regionais, sugerindo atividade neotectônica. A detecção de movimentos tectônicos em sedimentos arenosos inconsolidados é feita de forma indireta, através de variações na disposição dos elementos morfológicos da bacia, permitindo a identificação de mudanças bruscas nas drenagens e disposição dos corpos d'água. Os modelos de elevação digital SRTM possuem nível de detalhe suficiente para se trabalhar em escalas de até 1:100.000, com resolução horizontal de 90 metros permitindo análises das variações topográficas da região. Neste trabalho adotou-se a técnica dos perfis altimétricos em varredura com o intuito de verificar a existência de abatimento e/ou soerguimento de blocos como fator determinante na gênese das lagoas da Baixa Nhecolândia. Mesmo suaves e com pequenos gradientes, os perfis obtidos demonstraram que existe compartimentação na Baixa Nhecolândia, evidenciando a existência de diferentes níveis topográficos na região, sugerindo tectônica de blocos e definindo compartimentos.

Palavras-chave: Neotectônica, Pantanal, Sensoriamento Remoto, SRTM.

Abstract. The Nhecolândia region, in the Pantanal Wetland, Brazil, is situated south of the Taquari Megafan, in the Mato Grosso do Sul State. On the basis of average topographic levels it can be separated in High and Low Nhecolândia. According to previous work, the Pantanal Basin consists of a typical foreland basin whose origin is related to the uplift of the Andean Chain, possibly in the Pliocen. Local fluvial systems act essentially as a function of downslope resulting from the hemigraben and its incohesive fine-sand filling, which implies both in poorly-evolved drainage systems and in a clearly NE-to-SW-oriented pattern. Internal linear features expressed by drainage- and other physiographic elements-alignments present discordant directions relative to those given by the fluvial processes. However, these features are normally concordant to regional structures, which suggest the incidence of significant neotectonic activity. On the basis on these assertions, the aim of this research was to investigate possible uplift and/or collapse of tectonic blocks as determinant factors in the genesis of the ponds in the Baixa Nhecolândia region. Recognition of tectonic movements in such incohesive sands are normally done indirectly, by means of the detection of small variations in the basin morphological elements, which leads to the identification of any abrupt changes in the drainage system or in the patterns of the water bodies. We used SRTM digital elevation models with a detail level that is adequate to scales up to 1:100.000, with a 90-meter horizontal resolution that makes possible a good analysis of the topographic modifications. The study was carried out by the technique of altimetric swath profiles and our results indicate that, despite of the small gradients, the distinct topographic levels found in the Baixa Nhecolândia suggest a tectonic compartmentation resulting from relative uplift and depression of tectonic blocks.

Keywords: Neotectonic, Pantanal, Remote Sensing, SRTM.

1. Introdução

Bacias sedimentares são áreas que sofrem ou sofreram subsidência em resposta à um evento tectônico. A Bacia Sedimentar do Pantanal, de idade possivelmente pliocênica, tem origem relacionada ao contraste de densidade entre as placas litosféricas Sul-Americana (continental) e de Nazca (oceânica) (Assumpção, 1998), gerando uma zona de subducção que causa esforços compressionais com conseqüente soerguimento da Cordilheira dos Andes. Este movimento gera uma sobrecarga na crosta continental, instalando-se a leste da cordilheira um sistema de *foreland* típico que inclui as zonas geográficas denominadas Zonas Subandinas orientais, quais sejam: Planície do Chaco, Planície Beni e Pantanal. Esta última se localiza no denominado *backbulge* (**Figura 1**) (Horton e DeCelles, 1997). Este movimento gerou intensa tectônica de blocos, causando subsidência mecânica por reativação vertical de falhas da Faixa Paraguai, responsáveis pelo afinamento crustal naquela região. As anomalias térmicas existentes sob a bacia (Assumpção, 2006) mostram que ela continua subsidindo, fazendo com que ocorram mudanças na fisiografia da região.

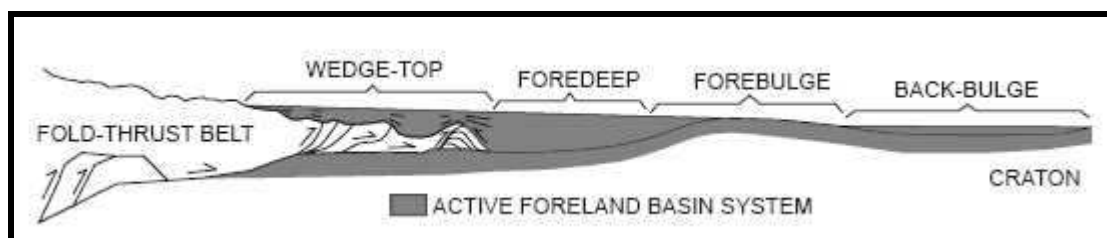


Figura 1 – Seção esquemática de um sistema de bacia de Foreland (Horton and DeCelles, 1997).

O Lineamento Transbrasiliano (LTB) também possui papel especial no desenvolvimento atual da bacia (Soares *et al.*, 1998). É uma megasutura do final do Proterozóico início do Paleozóico, de direção NE-SW que define a ligação de centenas de domínios crustais diferentes, incluindo o Cráton Amazônico a NW e o Cráton do São Francisco a SE. Um catálogo uniformizado de terremotos no Sudeste e centro do Brasil mostra que estes tendem a ocorrer mais freqüentemente em zonas de fraqueza da crosta, que incluem zonas de sutura

(Figura 2). Esta megaestrutura atravessa a Província Tocantins, a Província Ígnea de Poxoréu e adentra a Bacia do Pantanal (Assumpção *et al.*, 2004).

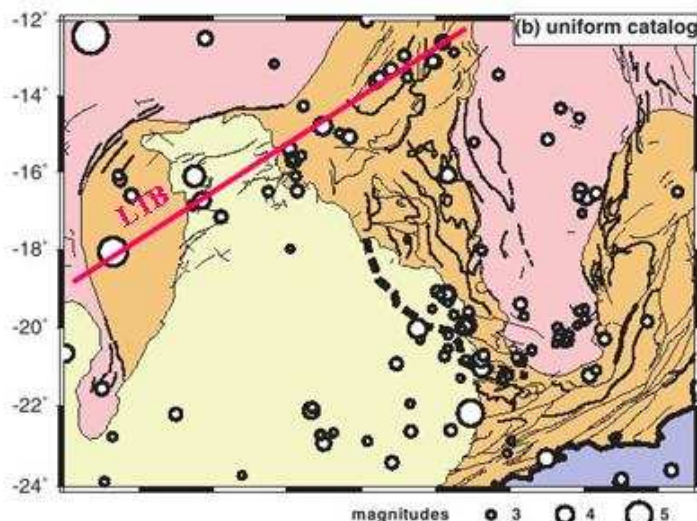


Figura 2 – Mapa sísmico do Sudeste do Brasil mostrando o LTB, uma zona de fraqueza da crosta que forma um trend sísmico de direção NE-SW (Assumpção *et al.*, 2004).

O Pantanal é um amplo trato deposicional dominado por sedimentação aluvial, onde o Rio Paraguai é o rio-tronco, que coleta as águas de vários leques aluviais marginais. Os leques continuam ativos, embora muitos lobos estejam abandonados, em parte estabilizados pela vegetação e em parte submetidos a processos de erosão devido à superimposição de redes de drenagem tributária (Latrubesse *et al.*, 2005). O Leque Aluvial do Rio Taquari pode ser considerado um megaleque, por ser um sistema deposicional complexo com forma quase circular e diâmetro de aproximadamente 250 km. Possui lobo distributário controlado por elementos tectônicos, especialmente o LTB (Assine, 2003).

O Pantanal da Nhecolândia, MS, localiza-se a sul do rio Taquari, e sua parte inferior, a Baixa Nhecolândia (BN) é recoberta por milhares de lagos (Soares *et al.*, 2003). Fernandes (2000) elaborou modelo digital de terreno através de pontos cotados a partir de cartas topográficas do IBGE e dividiu a Nhecolândia em dois setores distintos: o setor A, localizado na BN, abaixo da cota de 100m com curvas de nível espaçadas e o setor B, na Alta Nhecolândia (AN), em geral acima desta cota com curvas ora densamente agrupadas, ora espaçadas, formando patamares (**Figura 3**). A distribuição espacial dos elementos da paisagem sugere, portanto, a possibilidade de se dividir a Nhecolândia em diferentes compartimentos, como indica Fernandes *et al.* (2005). A sedimentação aluvial nesta região é influenciada pela tectônica, que define subsidência diferenciada de blocos e, conseqüentemente, áreas mais susceptíveis à inundação (Latrubesse *et al.*, 2005).

A BN sofre um corte na direção do rio Taquari, onde as lagoas características da região desaparecem dando lugar a áreas aplainadas com poucas e dispersas elevações métricas e grande quantidade de depressões alongadas orientadas no sentido NE-SW, indo desde os limites da AN até a confluência dos rios Taquari e Paraguai, denominada por Fernandes (2000) de área da Vazante do Corixinho (VC).

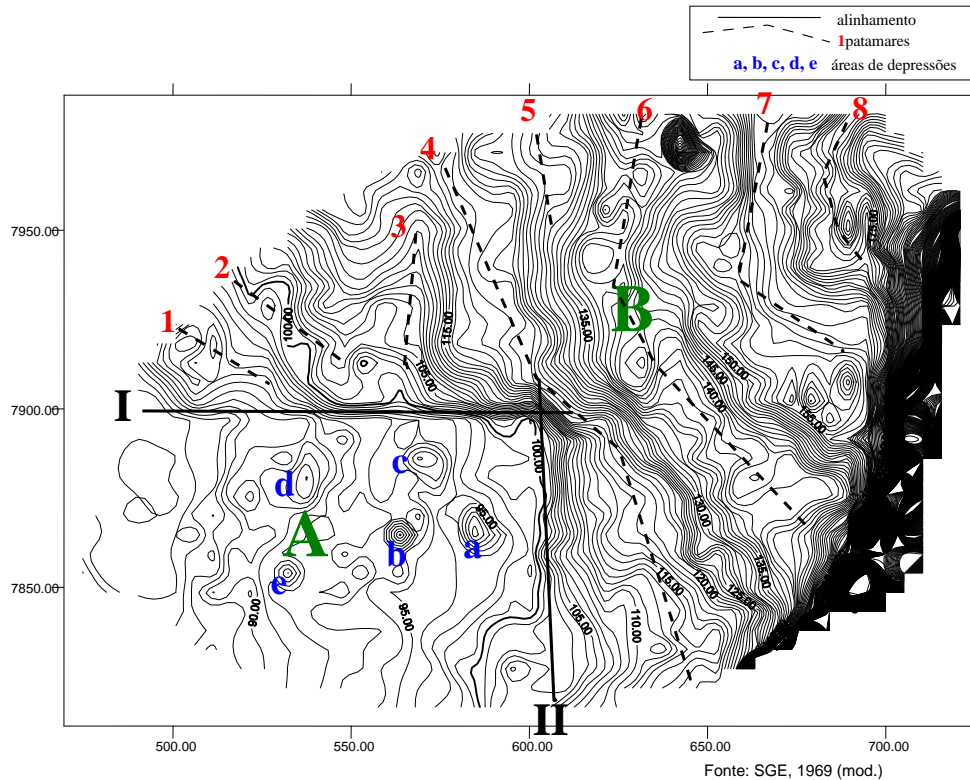


Figura 3 – Carta hipsométrica do Pantanal da Nhecolândia com curvas de nível de um em um metro. A - Baixa Nhecolândia e B - Alta Nhecolândia (Fernandes, 2000).

A Nhecolândia pode ser definida pela presença de savanas sazonalmente inundadas e limitadas por fragmentos florestais em elevações de um a três metros (regionalmente conhecidas como *cordilheiras*). Possui relevo aplainado com alta densidade de lagoas, denominadas *baías*. Algumas lagoas têm alta salinidade e pH alcalino, por isso são denominadas *salinas*. Ocorrem também cursos d'água temporários, denominados *corixos* e *vazantes*, com formas irregulares, porém apresentando certo paralelismo, com padrão principal anastomosado. Estes cursos possuem orientação geral concordante à orientação das cordilheiras, podendo, eventualmente, mudar de direção e cortá-las. Na área estudada as vazantes possuem direção geral NE-SW, são ligeiramente côncavas, não apresentam encaixamento relacionado ao escoamento d'água e possuem largura irregular (Fernandes, 2000).

Devido à presença de areias brancas, bimodais, com granulometria fina a média, muitos autores têm interpretado a área como de origem eólica, considerando que as cordilheiras, bastante comuns em toda a área da Nhecolândia, seriam a expressão morfológica de antigas dunas, e que as lagoas teriam sua origem nos locais de deflação eólica. Embora as baías possam ser paleoformas, elas mostram organização em rosário típica de remanescentes de antigos canais e não de superfícies de deflação. A bimodalidade pode ser uma feição herdada da área-fonte e não uma característica adquirida no Pantanal, tal como suspeitou Almeida (1945 *apud* Assine, 2003), pois no planalto ocorrem arenitos eólicos finos a médios da Formação Botucatu, bem como areias grossas da Formação Furnas (Assine, 2003).

O lobo atual do Taquari vem sofrendo avulsões na altura das Fazendas Caronal e Santa Luzia, além da Avulsão Zé da Costa, todas a norte da área estudada, resultando num novo canal distributário (Assine, 2005). Além disso, observou-se que existe um desnível entre este bloco e o bloco onde se situa a Baixa Nhecolândia (BN), já observado por Assine e Soares (2004), indicando que pode ter havido subsidência de um em relação ao outro, o que poderia

explicar os canais abandonados formando lagoas nesta região e a nova configuração do leque aluvial.

2. Objetivo

O objetivo deste trabalho é mostrar a aplicabilidade do uso de imagens SRTM para a identificação de feições estruturais através dos perfis altimétricos em varredura. Estes perfis fornecem uma ampla visão do comportamento altimétrico das elevações do relevo e ajudam a detectar inclinações de grandes feições topográficas em regiões planálticas em função das diferentes orientações (Meis, 1982).

Espera-se obter um conjunto de dados de topografia internos à Baixa Nhecolândia que possam ser comparados com dados de outras origens, como densidade de lagoas, cordilheiras e vazantes. Este conjunto de dados permite a correlação de eventos de origem tectônica com a disposição dos elementos daquele ambiente. As diversas evidências de eventos tectônicos na região e a presença de direções discordantes à direção do fluxo hídrico (NE-SW) mostram que a Formação Pantanal, têm, em sua gênese, outros processos além dos sedimentares e erosivos.

Se as lagoas representam canais de drenagem abandonados, possivelmente trata-se de um bloco soerguido em relação aos blocos adjacentes, o que poderia explicar a mudança de direção do rio Taquari e o desaparecimento abrupto das lagoas em linhas bem marcadas.

3. Materiais e Métodos

Para efetuar a pesquisa proposta foram utilizadas imagens SRTM. Estas imagens foram obtidas utilizando radar de abertura sintética ou SAR (Synthetic Aperture Radar), composto por duas antenas em arranjo bidimensional, sendo a primeira dimensão dada pela posição do sensor ao longo da órbita (azimute) e a segunda a distância na direção de visada do sensor (range). Possuem resolução horizontal de 90 metros (Rabus *et al.*, 2003).

O processamento das imagens orbitais procurou realçar as feições discordantes com o intuito de identificar a possível existência de blocos soerguidos e abatidos associados aos lineamentos presentes na Baixa Nhecolândia (**Figura 4**). Mesmo suaves e com pequenos gradientes, estes desníveis produzem grandes mudanças na fisiografia da região, como o desaparecimento drástico de lagoas e deflexões nos canais de drenagem.

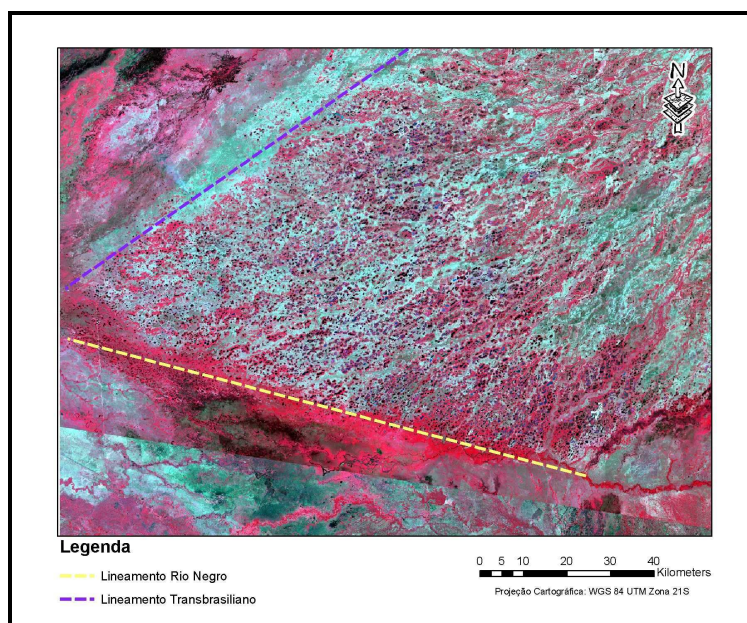


Figura 4 – Composição em falsa cor RGB 432 em imagem Landsat ETM+ com as feições analisadas em destaque.

Os perfis altimétricos em varredura foram feitos com aproximadamente 6km entre um e outro nas imagens SRTM, um ao longo da BN, onde foram escolhidas 2 áreas a serem detalhadas a fim de analisar a existência de mudança de gradiente entre os blocos. A primeira área é onde passa o LTB, onde foram identificadas mudanças abruptas no padrão de relevo entre a BN e a VC, e a segunda onde observa-se deflexão no canal do rio Negro (RN), que passa a correr na direção WNW-ESE numa estrutura retilínea aqui denominada Lineamento Rio Negro (LRN).

Aos perfis obtidos foram adicionadas linhas de tendência tipo média móvel, com período de 20 elementos, equivalente a 1,8km no terreno, que seria um filtro passa-baixas puro. Com este artifício procurou-se reduzir o ruído resultante do grande exagero vertical (aproximadamente 400x) e também a influência da vegetação, já que o radar imageia a superfície, incluindo o topo das árvores.

4. Resultados

Os perfis demonstraram que existe compartimentação no terreno da BN (**Figuras 5 e 6**), o que é observado nas diferenças morfológicas nas imagens Landsat (**Figura 4**). As movimentações tectônicas na área podem alterar o nível de base do Pantanal aumentando o espaço de acomodação dos sedimentos ou rebaixando o perfil de equilíbrio dos rios (Assine, 2003).

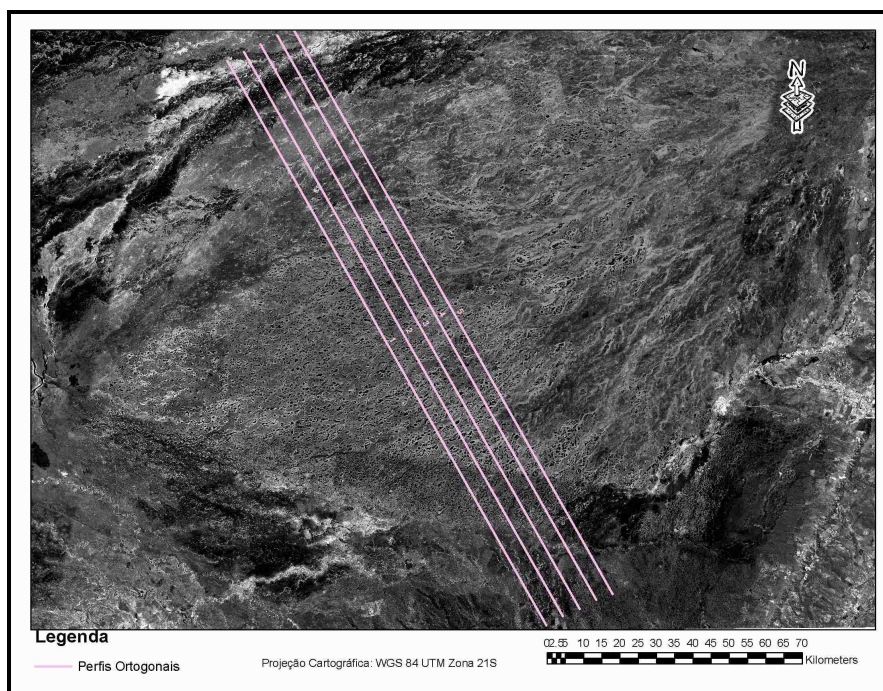


Figura 5 – Localização dos perfis ortogonais à Baixa Nhecolândia.

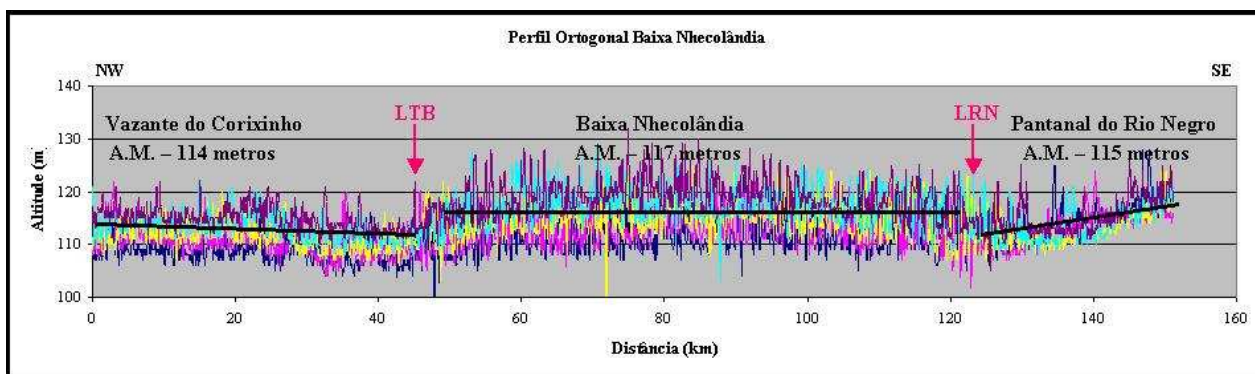


Figura 6 – Perfis ortogonais à Baixa Nhecolândia, com exagero vertical de aproximadamente 400x.

A bacia do rio Negro tem suas nascentes nos arredores do município de Corguinho, MS, e possui direção NE-SW ao entrar na planície aluvial. Logo após a deflexão do rio para a direção WNW-ESE, foram feitos perfis altimétricos em varredura ortogonais à drenagem (Figuras 7 e 8).

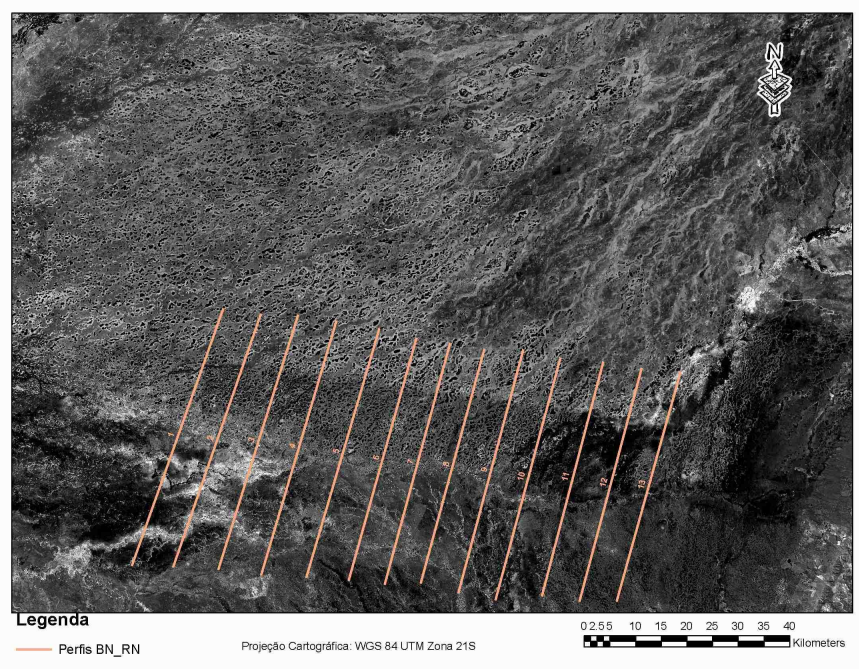


Figura 7 – Localização dos perfis BN_RN

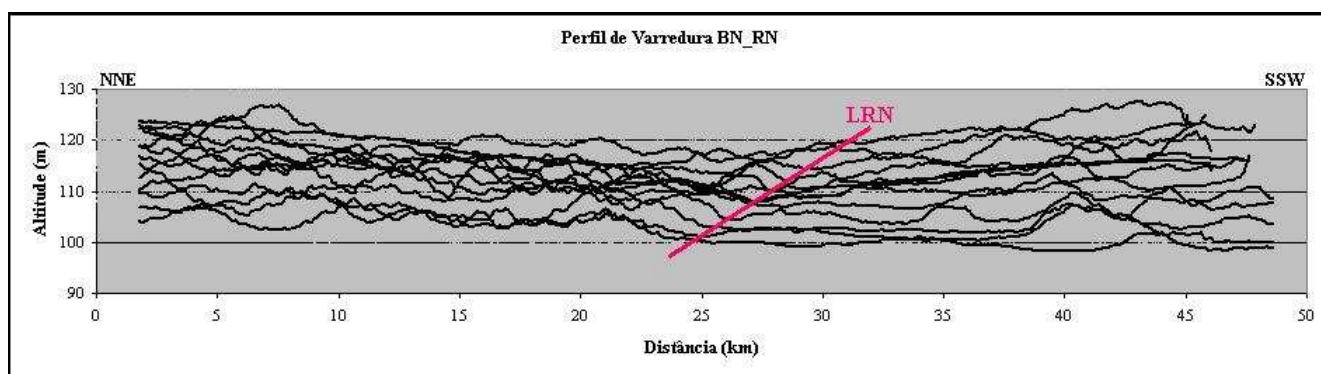


Figura 8 – Perfis BN_RN, com exagero vertical de aproximadamente 400x.

Na região influenciada pelo LTB foram feitos perfis altimétricos em varredura ortogonais ao traço do lineamento (**Figuras 9 e 10**).

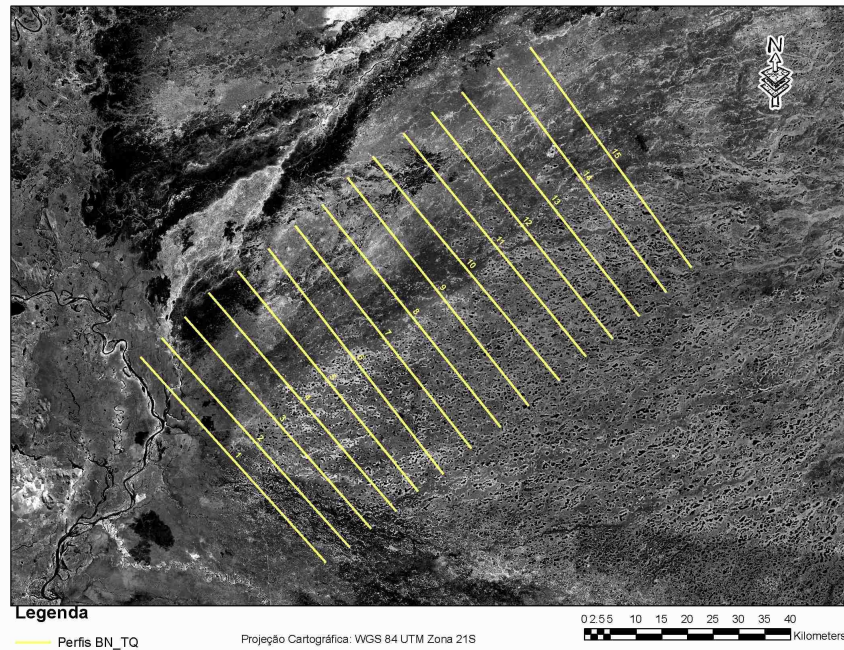


Figura 9 – Localização dos perfis BN_VC

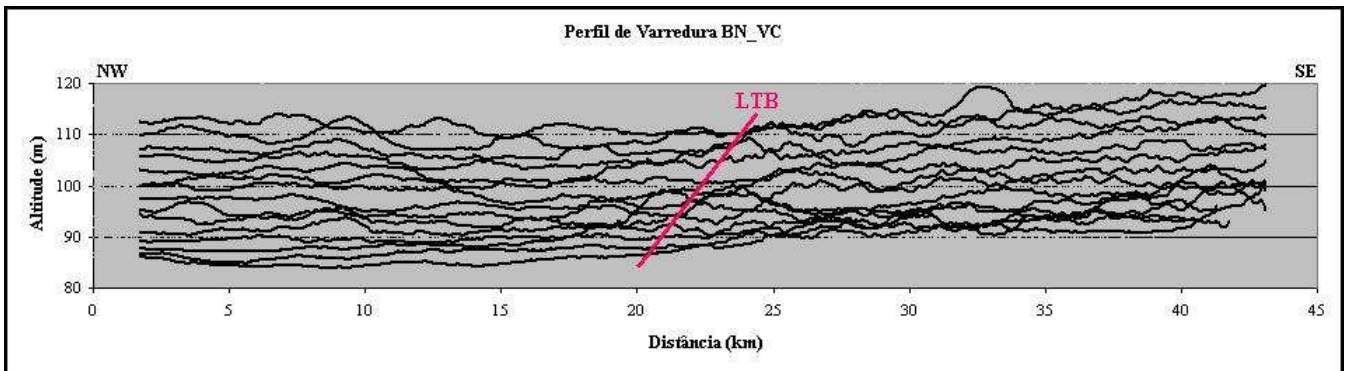


Figura 10 – Perfis BN_VC, com exagero vertical de aproximadamente 400x.

5. Discussão e Conclusões

Apesar de ser uma planície, a Baixa Nhecolândia apresenta relevo mais ondulado e topograficamente mais elevado que as áreas do rio Negro e da Vazante do Corixinho, com desníveis de aproximadamente dois a três metros. Estas variações, por vezes, se relacionam às feições lineares, principalmente o LTB. O resultado dos perfis ortogonais à Baixa Nhecolândia mostraram que existe uma feição linear na região do rio Negro que tanto condiciona quanto causa um desnível significativo para a região. Por estas razões ela foi tratada de Lineamento Rio Negro (LRN).

Fica evidente que existem diferentes níveis topográficos na região sugerindo tectônica de blocos, definindo compartimentos. Em função disso, observou-se que o bloco onde se situa a Baixa Nhecolândia apresenta-se soerguido em relação aos adjacentes, o que poderia explicar os canais abandonados formando lagoas e as avulsões que o Megaleque do Taquari vem sofrendo.

O nível de base local para as planícies fluviais dos rios Negro e Paraguai situa-se no Pantanal do Jacadigo-Nabileque, que por sua vez são os níveis de base locais para o

megaleque do Taquari (Assine, 2003), indício de que a área da Baixa Nhecolândia vem sofrendo degradação. Desta forma, as lagoas representariam feição reliquiar tendendo a desaparecer com o avanço da erosão na bacia.

6. Agradecimentos

D. Mendes agradece à Coordenadoria de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES pela concessão de bolsa de mestrado, pelo Programa de Demanda Social – DS, cota da Pró-Reitoria de Pós-Graduação da Universidade de São Paulo – USP, e financiamento pelo Programa de Apoio à Pós-Graduação – PROAP, possibilitando a realização deste trabalho.

7. Referências

- Assine, M. 2003. **Sedimentação na Bacia do Pantanal Matogrossense, Centro-Oeste Brasil**. UNESP, Tese de Livre Docência, Rio Claro, SP.
- Assine, M. 2005. River avulsions on the Taquari megafan, Pantanal wetland, Brazil. **Geomorphology**, 70:357-371.
- Assine, M. and Soares, P.C. 2004. Quaternary of the Pantanal, West-Central Brazil. **Quaternary International**, 114:23-34.
- Assumpção, M. 1998. Focal mechanisms of small earthquakes in the southeastern Brazilian shield: a test of stress models of the South American plate. **Geophysical Journal International**, 133:490-498.
- Assumpção, M.; Heintz, M.; Vauchez, A. e Egydio-Silva, M. 2006. Upper mantle anisotropy in SE and Central Brazil from SKS splitting: Evidence of asthenospheric flow around a cratonic keel. **Earth and Planetary Science Letters**, 250:224-240.
- Assumpção, M.; Schimmel, M.; Escalante, C.; Barbosa, J.R.; Rocha, M. e Barros, L.V. 2004. Intraplate seismicity in SE Brazil: stress concentration in lithospheric thin spots. **Geophysical Journal International**, 159:390-399.
- Fernandes, E. 2000. **Caracterização dos Elementos do Meio Físico e da Dinâmica da Nhecolândia (Pantanal Sulmatogrossense)**. Departamento de Geografia FFLCH-USP, Dissertação (Mestrado em Geografia Física), São Paulo, SP.
- Fernandes, E.; Sigolo, J. B.; Almeida, T. I. R.; Capellari, B.; Melero, M.G. e Queiroz Neto, J. P. 2005. Identification et organisation spatiale des milieux hydriques acides et calins et leurs rapports avec les formes du relief dans le Pantanal de Nhecolândia (Brésil). **Anais 6th International Conference on Geomorphology**, Zaragoza, September, 7-11, Abst Vol, p. 123.
- Horton, B.K. and DeCelles, P.G. 1997. The modern foreland basin system adjacent to the Central Andes. **Geology**, 25(10):895-898.
- Latrubesse, E.M.; Stevaux, J.C.; Santos, M.L. e Assine, M.L. 2005. Grandes Sistemas Fluviais: Geologia, Geomorfologia e Paleoidrologia. In: Celia Regina de Gouveia Souza; Kenitiro Suguio; Antonio Manoel dos Santos Oliveira; Paulo Eduardo de Oliveira. (Org.). **Quaternário do Brasil**. Ribeirão Preto: Ed. Holos, p.276-297.
- Meis, M.R.M.; Miranda, L.H.G. e Fernandes, N.F. 1982. Desnivelamentos de altitude como parâmetros para a compartimentação de relevo: bacia do médio-baixo Paraíba do Sul. **Anais XXXII Congresso Brasileiro de Geologia**, Salvador, BA, 4:1489–1503.
- Rabus, B.; Eineder, M.; Achim, R. and Bamler, R. 2003. The shuttle radar topographic mission – a new class of digital elevation models acquired by spaceborne radar. **Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, 57:241-262.
- Soares, A.P.; Soares, P.C. & Assine, M. 2003. Lagoas e Areais do Pantanal-Brasil: Herança Paleoclimática? **Revista Brasileira de Geociências**, 33(2):211-224.
- Soares, P.C.; Assine, M.L. e Rabelo, L. 1998. The Pantanal Basin: Recent Tectonics, relationship do the Transbrasiliano Lineament. **Anais do IX Simposio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Santos, SP, disponível na biblioteca digital URLib: <http://marte.dpi.inpe.br/col/sid.inpe.br/deise/1999/02.08.10.23/doc/1_141o.pdf>, acesso em 19 de setembro de 2006.