

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

Deborah Mendes¹
 Teodoro Isnard Ribeiro de Almeida¹
 Erminio Fernandes²
 Joel Barbujani Sigolo¹

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 Pliocene. 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 consequente 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 Subandinhas 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.

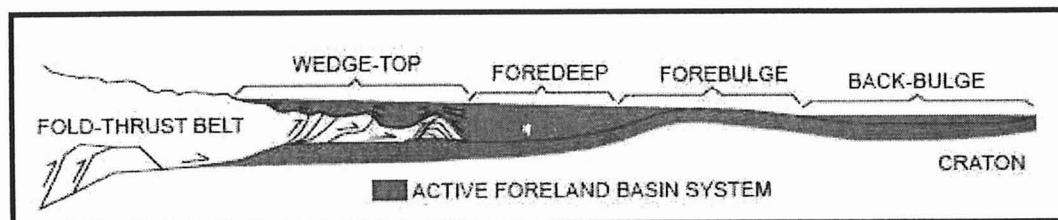


Figura 1 – Seção esquemática de um sistema de bacia de Foreland (Horton and DeCelles, 1997).

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 cristais 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).

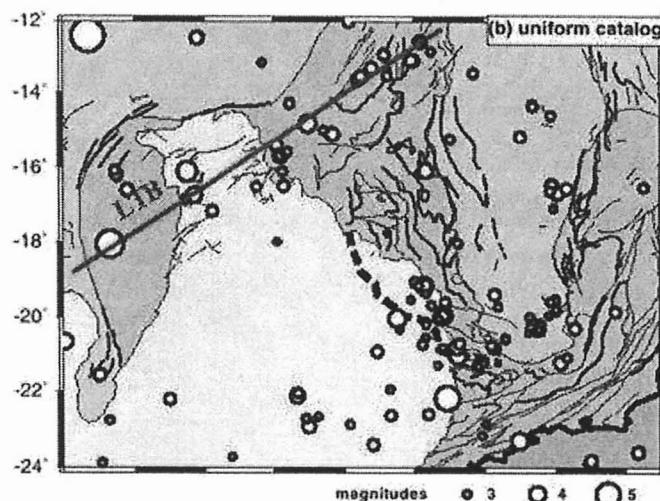


Figura 2 – Mapa sísmico do Sudeste do Brasil mostrando o LTB, uma zona de fraqueza da crosta que forma um trend sísmico de direção NE-SW (Assumpção *et al.*, 2004).

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, consequentemente, áreas mais suscetíveis 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).

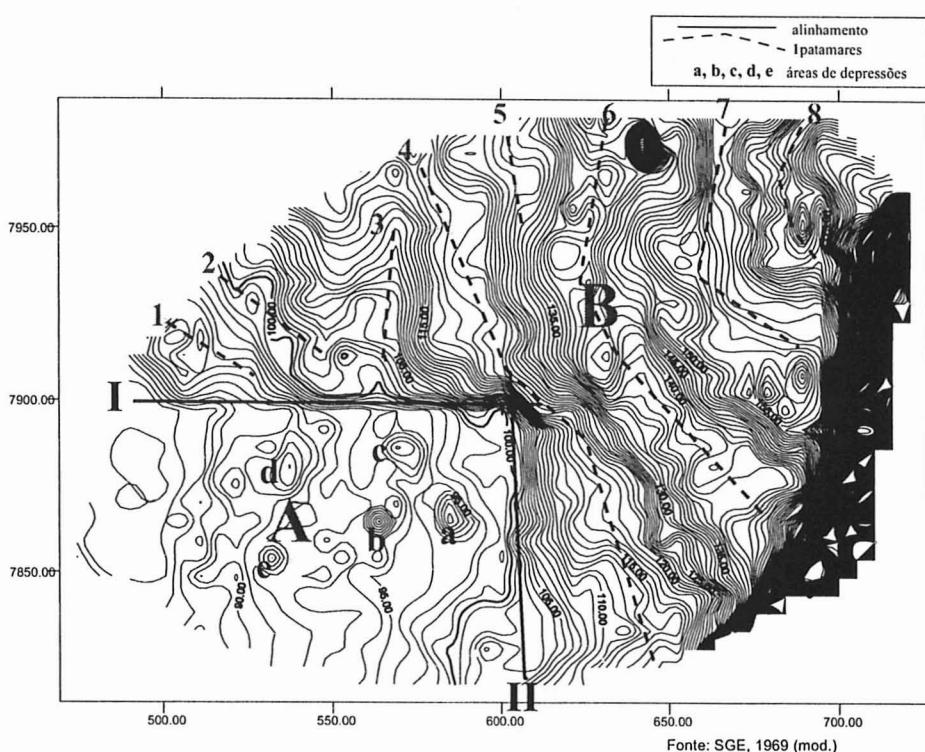


Figura 3 – Carta hipsométrica do Pantanal da Nhecolândia com curvas de nível de um em um metro.
A - Baixa Nhecolândia e B - Alta Nhecolândia (Fernandes, 2000).

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.

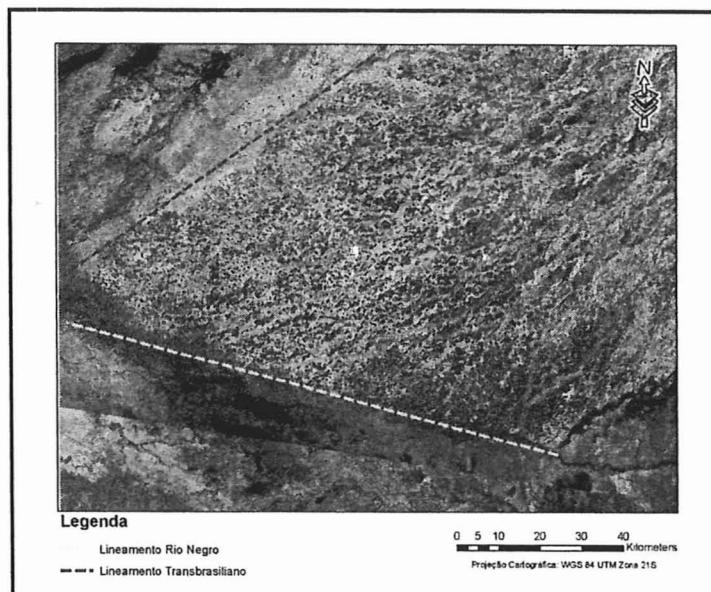


Figura 4 – Composição em falsa cor RGB 432 em imagem Landsat ETM+ com as feições analisadas em destaque.

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).

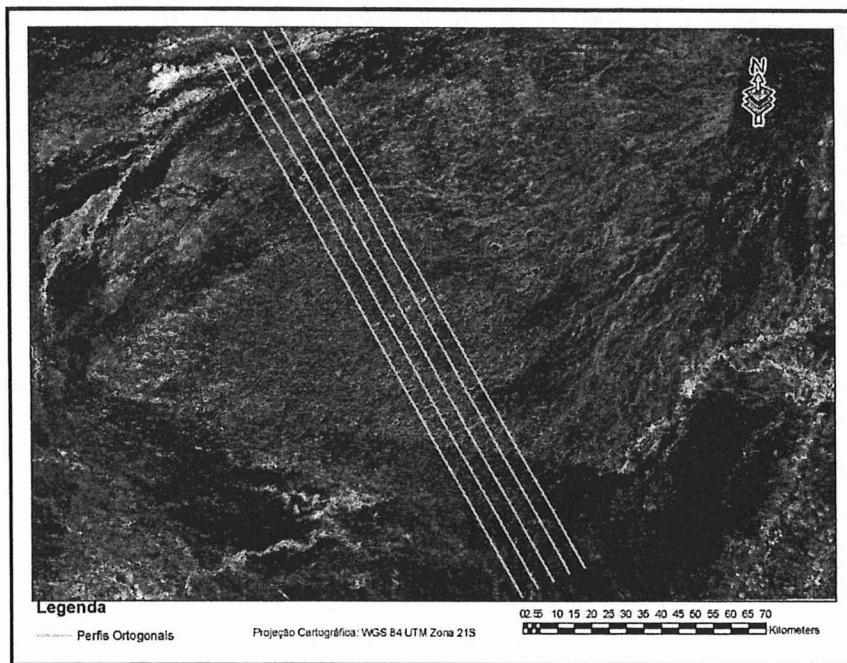


Figura 5 – Localização dos perfis ortogonais à Baixa Nhecolândia.

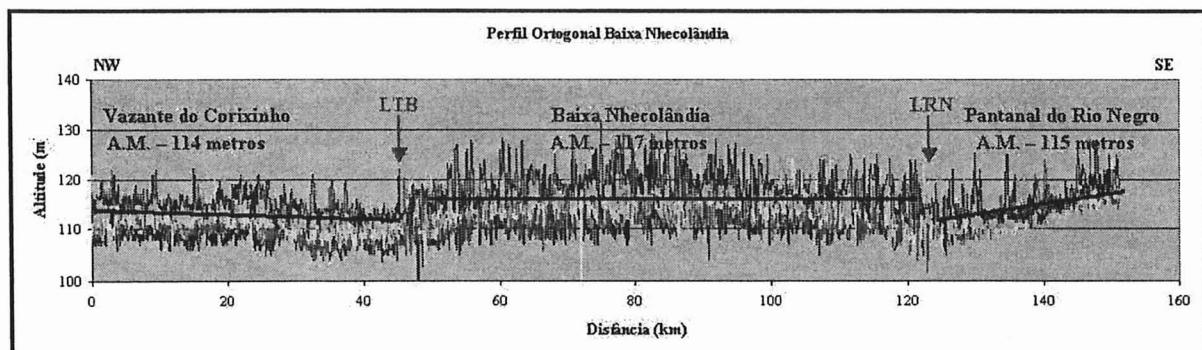


Figura 6 – Perfis ortogonais à Baixa Nhecolândia, com exagero vertical de aproximadamente 400x.

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 ortogonal à drenagem (**Figuras 7 e 8**).

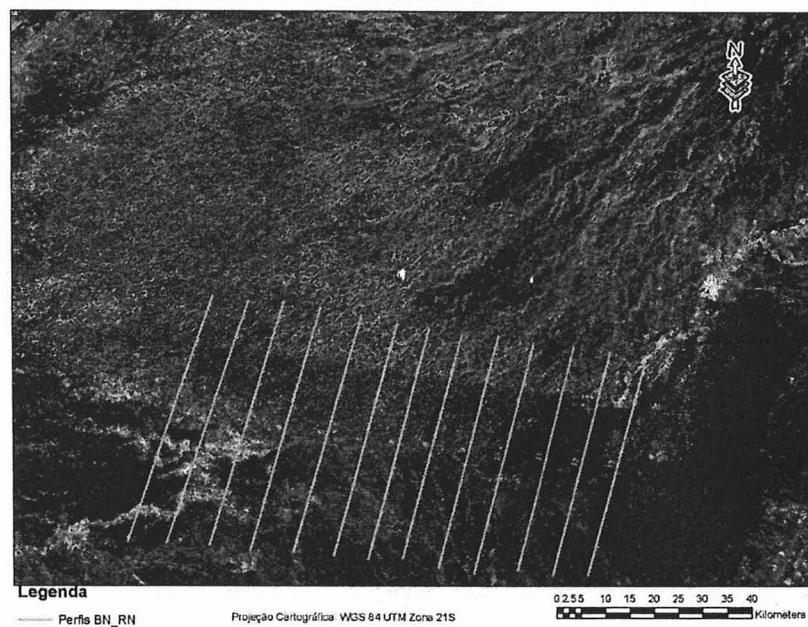


Figura 7 – Localização dos perfis BN_RN

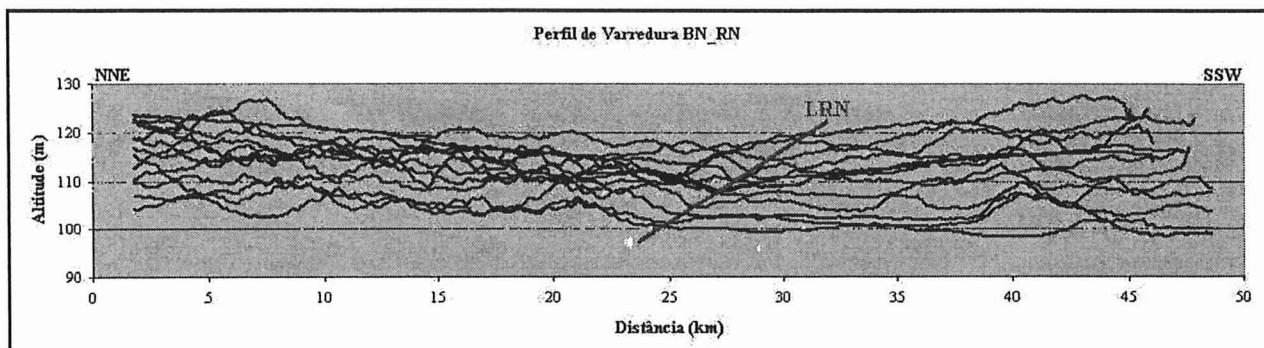


Figura 8 – Perfis BN_RN, com exagero vertical de aproximadamente 400x.

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

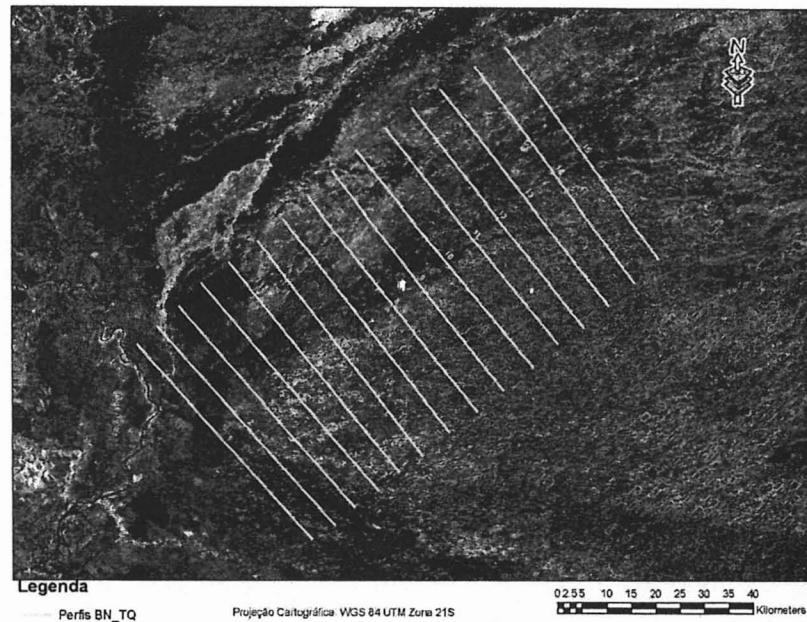


Figura 9 – Localização dos perfis BN_VC

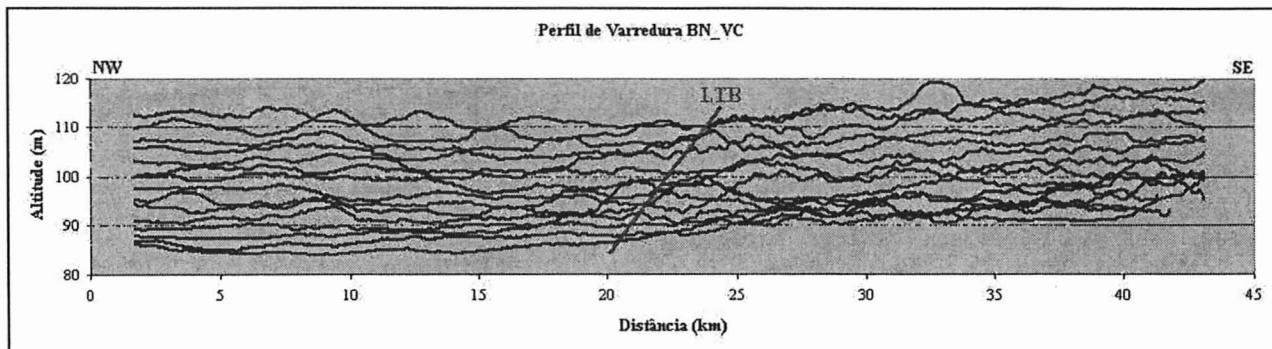


Figura 10 – Perfis BN_VC, com exagero vertical de aproximadamente 400x.

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 desniveis 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 o 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.; Stevax, J.C.; Santos, M.L. e Assine, M.L. 2005. Grandes Sistemas Fluviais: Geologia, Geomorfologia e Paleodirologia. 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. Desnívelamentos 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 Transbrasiliiano 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_1410.pdf>, acesso em 19 de setembro de 2006.