

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Instituto de Geociências e Ciências Exatas

Campus de Rio Claro

**MUDANÇAS MORFOLÓGICAS NA EVOLUÇÃO DO
MEGALEQUE DO TAQUARI: UMA ANÁLISE COM BASE
EM DADOS ORBITAIS**

Hiran Zani

Rio Claro (SP)
2008

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Instituto de Geociências e Ciências Exatas

Campus de Rio Claro

**MUDANÇAS MORFOLÓGICAS NA EVOLUÇÃO DO
MEGALEQUE DO TAQUARI: UMA ANÁLISE COM BASE
EM DADOS ORBITAIS**

Hiran Zani

Orientador: Prof.Dr. Mario Luis Assine

Dissertação de Mestrado elaborada junto
ao Curso de Pós-Graduação em
Geociências e Meio Ambiente – Linha de
Pesquisa Mudanças Ambientais, para a
obtenção do Título de Mestre.

Rio Claro (SP)
2008

BANCA EXAMINADORA

Dr. Márcio de Morisson Valeriano (DSR/INPE)

Dr. Archimedes Perez Filho (IG/UNICAMP)

Dr. Mario Luis Assine - Orientador (IGCE/UNESP)

Hiran Zani

Rio Claro, 18 de Outubro de 2008.

Resultado: _____

AGRADECIMENTOS

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo – FAPESP, pela concessão de bolsa de mestrado (processo 06/02381-8) e pelo apoio à pesquisa no Pantanal Mato-Grossense (processo 07/55987-3).

Ao Prof. Dr. Mario Luis Assine, pela confiança depositada durante o processo de orientação, apresentação do tema de mudanças ambientais no Pantanal e, principalmente, pelas inestimáveis oportunidades oferecidas ao longo dos últimos dois anos.

Ao Prof. Dr. Edvard Elias de Souza (DGE/UEM), que através da orientação em programas de iniciação científica durante minha graduação, despertou meu interesse pela pesquisa em Geografia Física.

Aos professores do IGCE da UNESP/Rio Claro, que contribuíram para meu crescimento intelectual; em especial ao Prof. Dr. Paulo Milton Barbosa Landim pela introdução aos métodos estatísticos em Geociências; ao Prof. Dr. José Alexandre Perinotto pelas lições na disciplina de Seminários Gerais e às Profas. Dra. Paulina Setti Riedel e Dra. Cenira Lupinacci Cunha pelas valiosas sugestões feitas no exame de qualificação.

Aos colegas do Laboratório de Estudos do Quaternário – LEQ, Aguinaldo Silva, Sidney Kuerten, Fabrício Coradini e Frederico Gradella, que me ajudaram no trabalho de campo, em discussões sobre o Pantanal e, sobretudo, pela amizade desenvolvida e companheirismo.

À Profa. Dra. Edna Maria Facincani (Geografia/UFMS), pelas inúmeras discussões sobre a geografia do Pantanal, suporte nos trabalhos de campo e produtiva colaboração científica.

Aos pesquisadores Dr. Marcio de Morisson Valeriano (DSR/INPE), PhD. Tom Farr (JPL/NASA) e Msc. Kon Joon Bhang (Environmental Sciences/Ohio University) pela ajuda prestada via e-mail, sobre especificidades técnicas e metodológicas da missão SRTM.

Aos estudantes de Pós-Graduação (Geociências/Geologia) da UNESP/Rio Claro, Diego Sardinha, Beatriz Paula, Alessandra Rodrigues Gomes, Robson Willians, Sâmia de Moura Passarella, Simone Ferreira Diniz, Vanessa Cristina dos Santos, José Ricardo Melges Bortolin e Mateus Vidoti pelas diversas trocas de informações e momentos de descontração.

Aos colegas do Departamento de Geociências da Universidade do Arizona, Andy Cohen e Mike McGlue, pela profícua colaboração científica e oportunidades oferecidas.

Aos grandes amigos do curso de graduação em Geologia da UNESP/Rio Claro e de república, Bruno César Araújo, Maurício Hirata, Marcos Vinícius Veloso e Leandro Zandonadi pela receptividade na cidade de Rio Claro e momentos de lazer.

Aos Geógrafos e grandes amigos Eduardo Morais, Vladimir de Souza e Ericson Hayakawa que indiretamente sempre me apoiaram nos estudos de pós-graduação.

À Karla Maurianne Benitez, pessoa muito especial em minha vida e meu porto seguro.

À minha família, Gilmar Zani, Maria José Comin Zani e Larissa Zani. O amor que recebo de vocês é indispensável em qualquer fase da minha vida.

“Geografia é o mundo e tudo o que há nele”

(Alexander Graham Bell)

“Se você não mudar de direção, terminará exatamente onde partiu”

(antigo provérbio chinês)

RESUMO

Esta dissertação visa caracterizar mudanças morfológicas recentes no megaleque do Taquari, através de dados de Sensoriamento Remoto. As baixas declividades do terreno e pequenas amplitudes das formas deposicionais, que predominam nesta paisagem, demandaram o desenvolvimento de métodos específicos para a extração das informações. Dados SRTM e imagens multiespectrais foram utilizados no mapeamento dos paleocanais e confecção de modelos digitais de elevação. A drenagem relictica foi mapeada através de desenho digital, sobre mosaicos georreferenciados dos sensores ASTER, MODIS e CBERS2. Nos vetores dos paleocanais identificados foi realizado cálculo de densidade areal e criados histogramas direcionais (rosetas), que ressaltaram relações topológicas e permitiram a interpretação de seis lobos deposicionais. Modelos digitais de elevação foram gerados através da subtração dos dados SRTM originais com uma superfície topográfica simplificada pelo método de regressão polinomial cúbica. Este processamento ressaltou zonas deprimidas no megaleque, espaços potenciais para acúmulo de sedimentos, e zonas de sobrelevadas, devido à processos agradacionais contínuos em determinadas áreas. A identificação e caracterização destas formas é passo inicial para a reconstituição dos eventos geomórficos e antevisão de futuras mudanças no curso do rio Taquari. A dinâmica de construção e abandono dos lobos mostrou-se mais complexa do que o apresentado em trabalhos anteriores, sendo de aspecto fragmentado e de natureza fractal.

Palavras-Chave: Pantanal Mato-Grossense, megaleque fluvial, geoformas deposicionais, SRTM, MDE.

ABSTRACT

This work aims characterize morphological changes in Taquari megafan, by remote sensing techniques. Gentle slopes of landscape and low amplitudes of geoforms demands the development of specific methods to extract valuable topographic information. SRTM data and multispectral images were used to map paleochannels and to build digital elevation models (DEM). Relict streams were mapped by computer-aided design in GIS environment, using georeferenced mosaics of ASTER, CBERS and MODIS sensors. These vectors were used to calculate drainage density and directional histograms, revealing topological aspects and lead to interpret 6 depositional lobes. DEM was obtained by subtracting the original SRTM data from a simplified surface generated by cubic polynomial regression. This product revealed depressed areas in the Taquari megafan, potential accommodation spaces for deposition, and geoforms with a higher amplitude than their neighbor, probably because of continuous gradational processes in these specific sites. The recognition of these landforms is the initial step for figure out the evolution of geomorphic events and to support a well done planning in land occupation. The dynamics of Taquari megafan showed to be more complex than previous studies proposed.

Keywords: Pantanal wetland, megafan, depositional geoforms, SRTM, DEM.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Modelo digital do Pantanal.	2
Figura 2	Megaleques fluviais que compõe o trato deposicional do Pantanal.	3
Figura 3	Cronologia dos lobos deposicionais proposta por Assine (2003).	5
Figura 4	Depósitos de leques aluviais nas margens do rio Indo.	9
Figura 5	Classificação de leques aluviais de acordo com o clima.	9
Figura 6	Classificação de leques aluviais segundo Stanistreet & McCarthy (1993).	10
Figura 7	Modelo de sedimentação de leques aluviais segundo Denny e Schumm.	12
Figura 8	Relações entre morfologia de leques aluviais com a posição do nível de base.	13
Figura 9	Morfologia de leques aluviais em ambientes deposicionais segundo taxa de subsidência.	14
Figura 10	Modelo esquemático para a evolução de megaleques e sua rede de drenagem à montante.	15
Figura 11	Megaleque do Kosi e as mudanças de seu curso nos últimos 300 anos.	17
Figura 12	Megaleques fluviais.	18
Figura 13	Rios analisados por Leier et al. (2005).	18
Figura 14	Megaleque do Taquari subdividido em quadrículas 1:50.000.	22
Figura 15	Mapeamento de paleocanais e vazantes em diferentes escalas de visualização.	22
Figura 16	Etapas para a interpolação dos dados SRTM.	24
Figura 17	Exemplos de superfícies de tendências para uma grade de dados altimétricos.	25
Figura 18	Esquema ilustrativo de construção e abandono de lobos no Taquari.	27
Figura 19	Diferentes padrões de orientação dos paleocanais evidenciam transições entre lobos deposicionais.	28
Figura 20	Localização dos pontos visitados em campo	29
Figura 21	Cenas de campo.	30
Figura 22	Representação gráfica do método para extração do índice de concavidade longitudinal.	32
Figura 23	Paleocanais e drenagem atual mapeada através do conjunto de imagens multiespectrais.	34
Figura 24	Canais distributários atuais identificados através da diferença de refletância.	35
Figura 25	Diagramas de rosa com as direções de paleofluxo.	36
Figura 26	Densidade espacial dos vetores que representam os paleocanais.	37
Figura 27	Semivariogramas experimentais modelados dos quadros SRTM interpolados.	38
Figura 28	Dispersão dos dados SRTM originais (SRTM90) com os dados interpolados (SRTM30).	39
Figura 29	Comparação visual entre os dados SRTM90m (original) com MDE SRTM30m (corrigido).	40
Figura 30	Superfícies de tendência topográfica do Taquari e estatísticas descritivas.	42

Figura 31	Resíduos derivados da superfície de tendência do 3º do megaleque com o histograma de suas alturas.	43
Figura 32	Tela do SIG construído para o megaleque do Taquari demonstra a aparência do banco de dados.	44
Figura 33	Arquitetura do banco de dados construído.	44
Figura 34	Cronologia relativa dos lobos deposicionais.	45
Figura 35	Divisão dos lobos plotada sobre o MDE.	46
Figura 36	Formas deposicionais identificadas através dos resíduos.	48
Figura 37	Megaleques e bacias de captação.	49
Figura 38	Dificuldades encontradas no mapeamento da paleodrenagem.	53
Figura 39	Diagramas de rosa com as orientações da drenagem extraída sobrepostos aos compartimentos dos lobos deposicionais.	54
Figura 40	Distribuições dos valores de densidade de drenagem para os lobos delineados.	55
Figura 41	Comparação entre MDE de altitude com MDE da superfície de tendência cúbica.	57
Figura 42	Comparação entre MDE's gerados a partir de dados SRTM30m e de SRTM processado.	57
Figura 43	Divisão dos lobos através da rede de paleocanais (A) e dos resíduos de altura (B).	58
Figura 44	Diferentes padrões de paleocanal identificados no megaleque.	59
Figura 45	Geoformas com maiores amplitudes altimétricas que seu entorno.	60
Figura 46	Geoformas presentes na paisagem da Nhecolândia.	62
Figura 47	Feições erosivas estão dissecando as geoformas deposicionais do lobo nº 5	63
Figura 48	Vale entrincheirado na porção superior do Taquari.	64
Figura 49	Contexto tectônico da Bacia do Pantanal.	65
Figura 50	Evidências de tectônica no megaleque.	66
Figura 51	Perfil longitudinal teórico.	68
Figura 52	Processos de avulsão fluvial no que ocorreram no baixo curso do rio Taquari.	69
Figura 53	Fenômeno de avulsão em curso na altura da fazenda Caronal.	69
Figura 54	Perfil longitudinal, obtido através da média móvel dos resíduos, demonstra as alturas relativas do rio Taquari.	70
Figura 55	Construção de barragens próximas à Fazenda Caronal.	71
Figura 56	Auto-similaridade das geometrias lobadas em multiescalas.	72
Figura 57	Dispersão entre os parâmetros morfométricos dos megaleques comparados.	74
Figura 58	Padrões de drenagem no Taquari.	77
Figura 59	Padrões de drenagem no Taquari.	78

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Características dos sensores orbitais utilizados.	20
Tabela 2	Fonte das imagens utilizadas.	20
Tabela 3	Parâmetros morfométricos quantificados.	31
Tabela 4	Resultado dos testes de variância, com 5% de significância.	41
Tabela 5	Variáveis morfométricas dos megaleques comparados.	50
Tabela 6	Estatística descritiva das variáveis morfométricas.	50
Tabela 7	Matriz de proximidade entre os dados morfométricos.	51

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ASTER	Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer
CAD	Computer assisted design
CBERS	<i>China Brazil Resource Satelite</i>
CCD	<i>Charge-coupled device</i>
ETM	<i>Enhanced Thematic Mapper</i>
GLCF	<i>Global Land Cover Facility</i>
GPS	<i>Global Positioning System</i>
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INPE	Instituto Brasileiro de Pesquisas Espaciais
JPL	<i>Jet Propulsion Laboratory</i>
MDE	Modelo digital de elevação
MODIS	<i>Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer</i>
MSS	<i>Multispectral Scanner</i>
NASA	<i>National Aeronautics and Space Administration</i>
NGA	<i>National Geospatial-Intelligence Agency</i>
SAR	<i>Synthetic aperture radar</i>
SRTM	<i>Shuttle Radar Topography Mission</i>
TIN	<i>Triangular Irregular Network</i>
TM	<i>Thematic Mapper</i>

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
1.1. ÁREA DO ESTUDO	2
1.2. MUDANÇAS AMBIENTAIS NO MEGALEQUE DO TAQUARI E MOTIVAÇÃO PARA O TEMA	4
1.3. OBJETIVOS	6
2. SISTEMAS DE LEQUES ALUVIAIS: CONCEITOS BÁSICOS	7
2.1. LEQUES ALUVIAIS	7
2.2. SEDIMENTAÇÃO EM LEQUES ALUVIAIS	11
2.3. MEGALEQUES FLUVIAIS	16
3. MATERIAL E MÉTODOS	19
3.1. MAPEAMENTO DE PALEOCANAIS E DRENAGEM ATUAL	19
3.2. ANÁLISE ESPACIAL DOS MDE'S	23
3.3. IDENTIFICAÇÃO E DETERMINAÇÃO DA CRONOLOGIA DOS LOBOS DEPOSICIONAIS	26
3.4. TRABALHO DE CAMPO	28
3.5. COMPARAÇÃO COM OUTROS MEGALEQUES FLUVIAIS	31
4. RESULTADOS	33
4.1. PRODUTOS DERIVADOS DE GEOPROCESSAMENTO	33
4.2. CRONOLOGIA RELATIVA E LOBOS DEPOSICIONAIS IDENTIFICADOS	45
4.3. COMPARAÇÃO MORFOMÉTRICA ENTRE MEGALEQUES	49
5. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	52
5.1. AVALIAÇÃO DOS MÉTODOS UTILIZADOS	52
5.2. GEOFORMAS IDENTIFICADAS	59
5.3. EVIDÊNCIAS MORFOLÓGICAS DE TECTÔNICA RECENTE	64
5.4. CONSTRUÇÃO E ABANDONO DE LOBOS NO TAQUARI	67
5.5. CONTRIBUIÇÕES DO TAQUARI AOS ESTUDOS DE MEGALEQUES	73
6. CONCLUSÃO	79
REFERÊNCIAS	81

1. INTRODUÇÃO

A compreensão de mudanças ambientais globais tornou-se grande alvo da pesquisa científica multidisciplinar nas últimas décadas (Benito et al., 1998). Uma das principais estratégias adotadas neste esforço conjunto, principalmente nas Ciências da Terra, é a reconstrução paleogeográfica de ambientes e a análise dos processos responsáveis pela configuração das formas atuais (Slaymaker, 2000). Com esta perspectiva, torna-se possível a elaboração de modelos científicos que explicam a dinâmica das paisagens terrestres e que podem auxiliar na compreensão de eventos futuros.

Estudos do Quaternário continental fornecem valiosos prognósticos sobre mudanças ambientais. O Quaternário é um período curto e recente (últimos 1.8 Ma), mas é um intervalo pautado por grandes transformações ambientais, que se encontram melhor preservadas do que os registros de períodos anteriores (e.g. Volker et al., 2007). No Brasil, os depósitos quaternários são de origem fluvial, eólica e costeira, não sendo conhecidos depósitos glaciais do período em território brasileiro (Souza et al., 2005).

A geomorfologia, particularmente, é uma ciência que muito se interessa pelas formas quaternárias e processos que atuaram em sua modelagem. Conforme demonstrou Horton (1945), o principal método desta ciência consiste no estudo sistemático das formas para a identificação de processos genéticos. Grande parte do registro quaternário brasileiro é constituído por depósitos fluviais (e.g. Latrubesse & Franzinelli, 2002), relativamente muito menos estudados que os depósitos costeiros.

Neste contexto, a bacia sedimentar do Pantanal (Figura 1) é importante sítio a ser pesquisado, podendo contribuir significativamente para o entendimento das mudanças ambientais regionais. Os sistemas de leques que compõe sua morfologia são claros exemplos de formas que revelam quais processos atuaram em sua origem. Uma rápida visualização em pequena escala exhibe a geometria lobada e as grandes dimensões das unidades sedimentares que preenchem a bacia; e através do raciocínio geomorfológico pode-se concluir que processos aluviais depositaram – e continuam a depositar – um grande volume de sedimentos em uma área deprimida.

Determinar a sucessão temporal dos eventos deposicionais é uma etapa fundamental para a compreensão da dinâmica desta paisagem. Neste caso, através da disposição das formas superficiais, analisadas em maior escala, podem-se extrair relações morfológicas que auxiliam na ordenação temporal dos principais eventos morfogenéticos. Desta maneira, ao

contar a história sobre a gênese do relevo atual, a previsão de tendências futuras para este sistema aluvial torna-se possível.

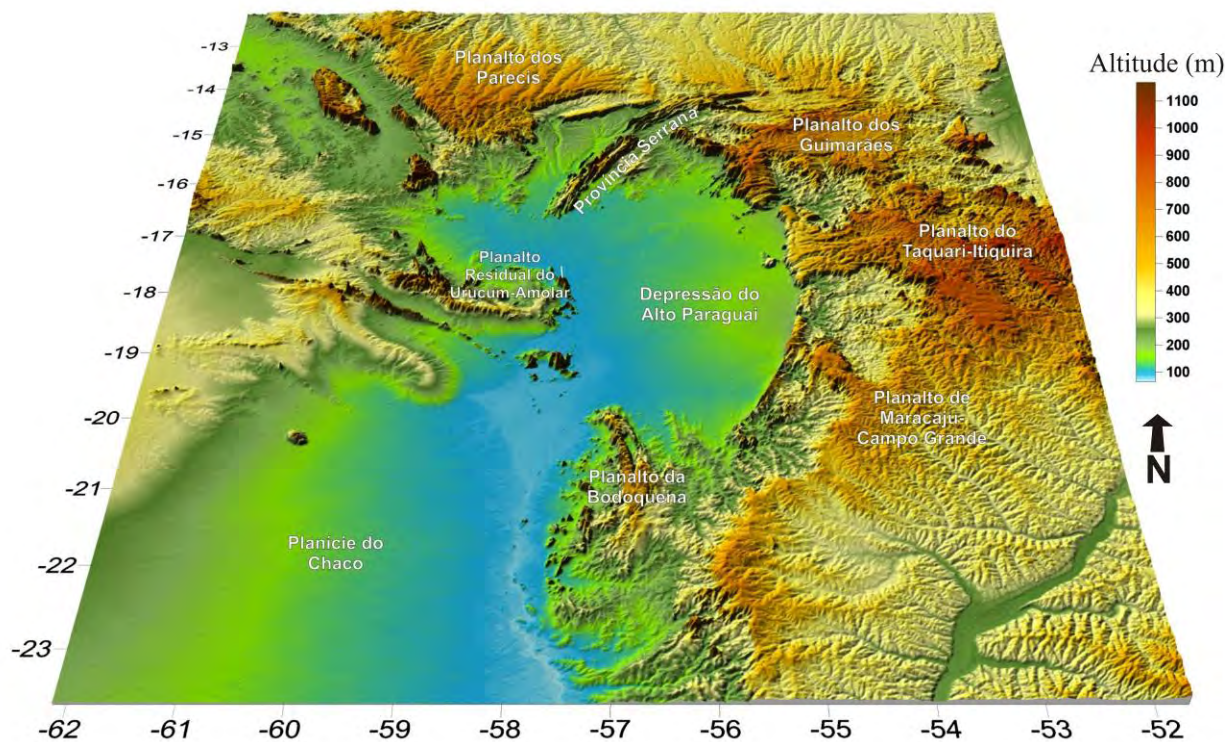


Figura 1. Modelo digital de elevação da região onde se encontra o Pantanal. Em azul e verde claro as Planícies do Chaco e Pantanal (Alto Paraguai).

1.1. Área do estudo

Dentre os sistemas de leques aluviais que compõe o trato deposicional do Pantanal (Figura 2), o megaleque do Taquari constitui a feição sedimentar mais notável da planície pantaneira (Braun, 1977), possuindo área aproximada de 50.000 km², distribuída em uma exótica geometria circular com diâmetro de 250 km. Suas altitudes apresentam baixas amplitudes, de 190m no seu ápice a leste a 85m na sua base a oeste, caracterizando um gradiente topográfico extremamente baixo de cerca de 36 cm.km⁻¹ (Assine & Soares, 1997). Seus perfis longitudinal e transversal são, respectivamente, côncavo e convexo, característica comum em sistemas de leques aluviais (Bull, 1977).

No megaleque do Taquari, dois segmentos distintos apresentam sedimentação ativa: 1) cinturão de meandros na porção superior, onde o rio Taquari se encontra entrincheirado; 2) lobo atual de sedimentação, onde o Taquari está construindo seu lobo distributário atual

(Assine, 2005). Segundo Padovani et al. (1998), a dinâmica sedimentar é diretamente influenciada pelo suprimento sedimentar proveniente da bacia de drenagem situada nos planaltos existente a leste, cujo incremento partir dos anos 70 foi responsável por considerável aumento na carga sedimentar depositada no canal nas últimas décadas.

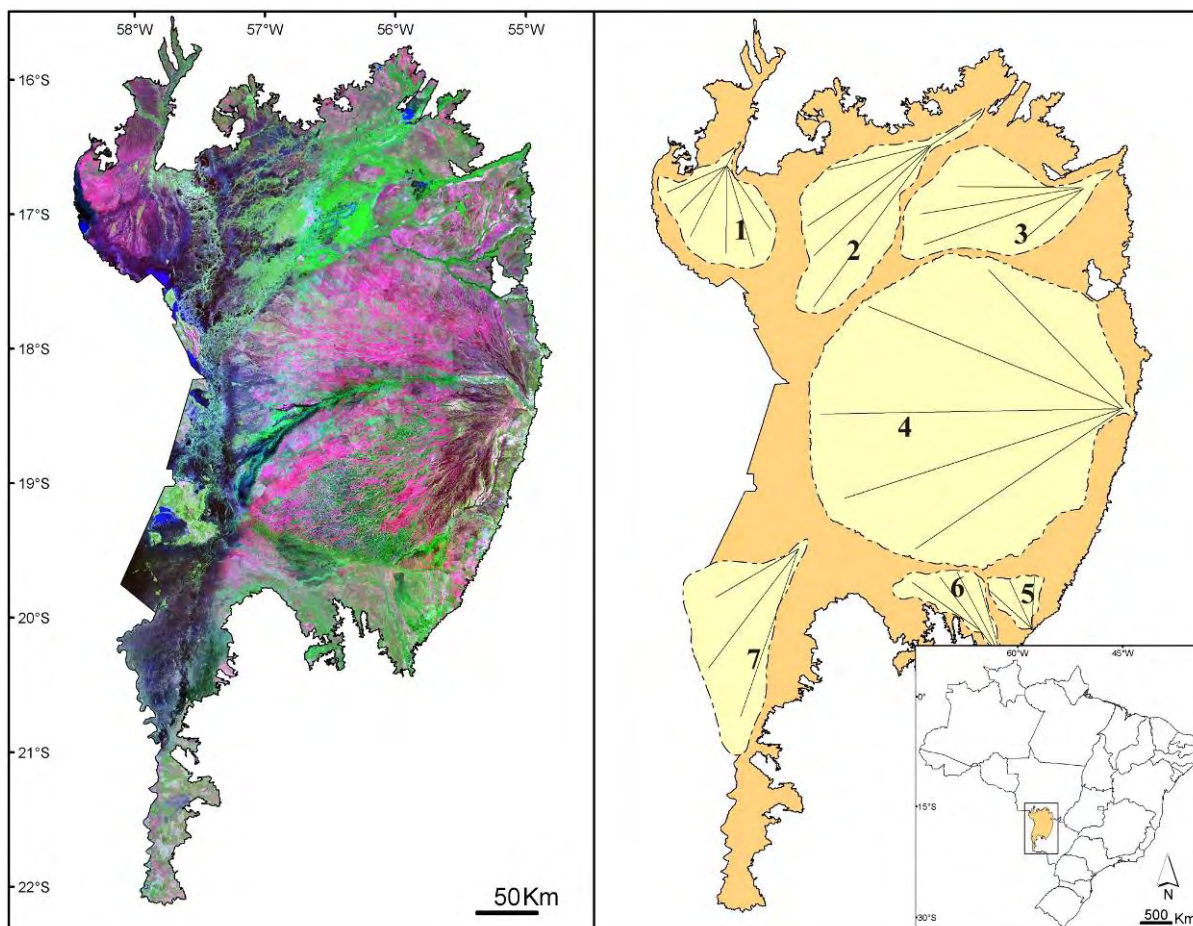


Figura 2. Megaleques fluviais que compõe o trato deposicional do Pantanal: 1 – Corixo Grande; 2 – Cuiabá; 3 – São Lourenço; 4 – Taquari; 5 – Taboco; 6 – Aquidauana e 7 – Nabileque (Mosaico Landsat 4/5 GeoCover 1990, composição R7G4B2).

No megaleque do Taquari, assim como nos demais megaleques do Pantanal, expressões morfológicas como paleocanais e complexos de avulsão abandonados atestam o caráter mutante deste sistema. Segundo Assine & Soares (1997), processos alogênicos foram responsáveis pela criação de espaços de acomodação, ao passo que a dinâmica de preenchimento sedimentar, caracterizada pela construção e abandono de lobos, é regida por processos autogênicos, ou seja, inerentes ao funcionamento dos sistemas de leques aluviais.

Os agentes responsáveis pela atual dinâmica sedimentar do Pantanal estão ativos desde o Pleistoceno tardio (Braun, 1977; Ab`Saber, 1988) e a extensa rede de paleocanais no

megaleque do Taquari representa geformas relictas deste sistema. Reconstruções paleoidrológicas mostram que a paisagem do megaleque do Taquari modifica-se com grande velocidade e que mudanças continuarão a ocorrer, em especial no lobo distributário atual. A compreensão destes eventos através do mapeamento de paleoformas e o estabelecimento da cronologia das mudanças ocorridas tornam-se, assim, conhecimento fundamental para antever futuras mudanças na paisagem desta área do Pantanal Mato-Grossense.

1.2. Mudanças ambientais no megaleque do Taquari e motivação para o tema

A percepção de que a morfologia do megaleque do Taquari vem sendo modelada pela construção e abandono de lobos deposicionais é recente (e.g. [Assine et al., 1997](#)). A primeira tentativa de distinguir lobos deposicionais e estabelecer sua cronologia relativa encontra-se no trabalho de [Assine \(2003\)](#), cuja proposta não teve por objetivo descrever detalhadamente a história quaternária do megaleque, mas sim propor um método para analisar a natureza e a magnitude das mudanças ambientais e da paisagem. O critério morfológico utilizado na hierarquização dos processos deposicionais possui uma base conceitual simples: redes de paleocanais distributários relictos, que caracterizam antigos lobos deposicionais, são truncados por conjuntos de canais mais recentes. Desta maneira, uma sucessão temporal destes eventos foi preliminarmente estabelecida a partir da subdivisão morfológica do megaleque, onde os compartimentos refletem a ordem cronológica dos distintos eventos deposicionais identificados, ou seja, dos diferentes lobos ([Figura 3](#)).

Entretanto, a aplicação do critério morfológico apresenta problemas. Lobos abandonados, embora não seja domínio de sedimentação direta a partir do canal principal, são palco de inundações periódicas, que depositam sedimentos mais jovens por sobre os depósitos mais antigos, mascarando as formas e dificultando a datação dos lobos. Por isso, idades pleistocênicas tardias foram obtidas para depósitos de diferentes compartimentos geomorfológicos reconhecidos, em datações pelo método da termoluminescência ([Assine, 2003](#)).

O fenômeno de construção e abandono é de natureza fractal, podendo ser observado no lobo distributário atual, onde complexos de avulsão ([Assine, 2005](#)) constituem lóbulos deposicionais abandonados dentro da planície. A existência de redes de canais distributários de diferentes magnitudes, com freqüentes superposições no espaço deposicional, é outro fator que dificulta a aplicação de critérios morfológicos unicamente baseados no truncamento de

redes de paleocanais. As dificuldades são maiores quando a análise é realizada em escalas maiores, ou seja, em unidades deposicionais de dimensões menores.

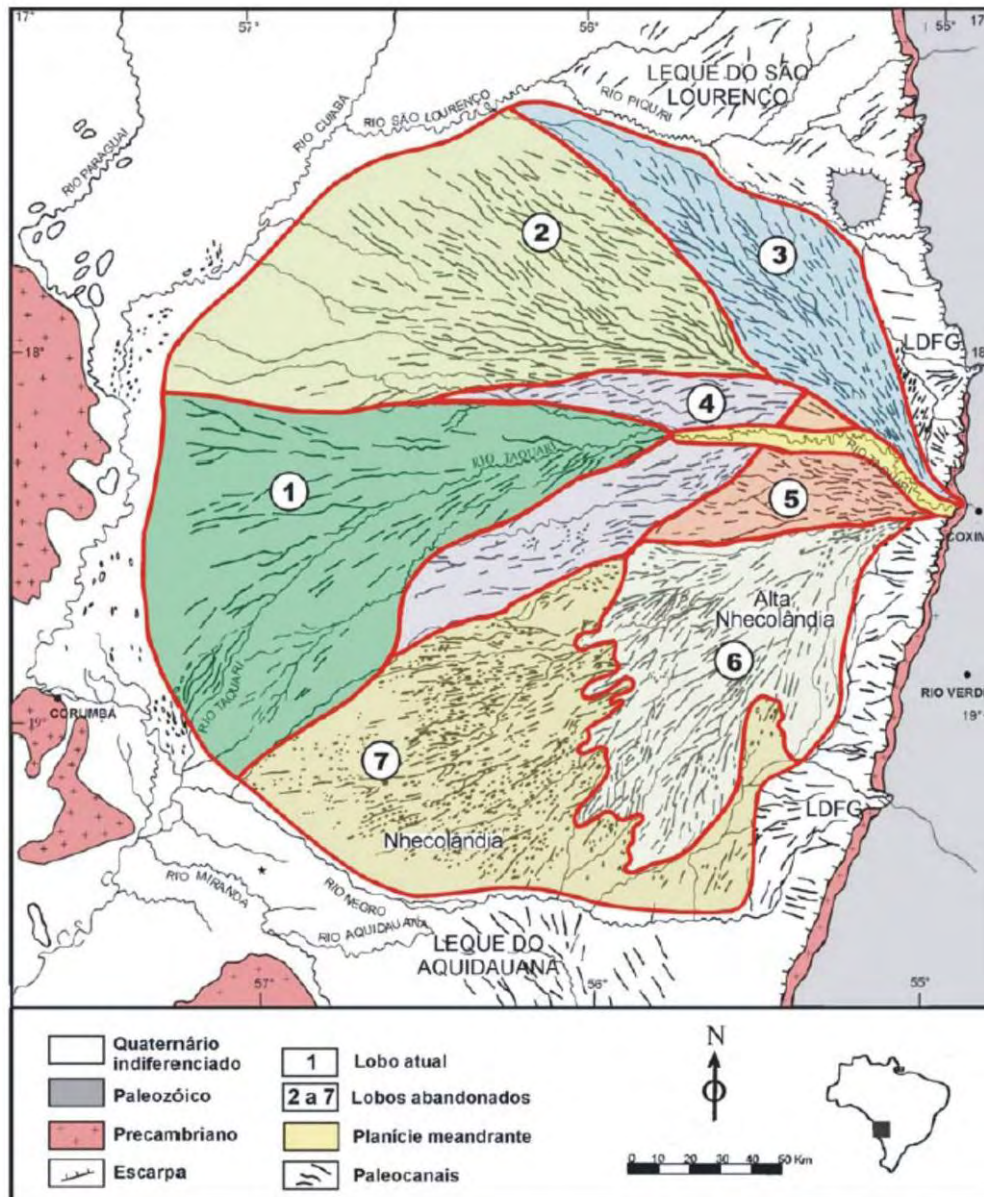


Figura 3. Cronologia dos lobos deposicionais proposta por Assine (2003).

A idéia de que a análise detalhada da morfologia do megaleque em escalas maiores, com a obtenção de dados mais acurados sobre as redes e paleo-redes de drenagem, e de informações de maior detalhe a respeito das relações morfológicas superficiais, pudesse fornecer novos e importantes elementos para a compreensão da evolução do megaleque do Taquari, motivou o desenvolvimento desta dissertação. Durante seu desenvolvimento novos enfoques foram buscados, como a aplicação de outros métodos de análise geomorfológica.

1.3. Objetivos

O escopo deste trabalho é a compreensão da evolução do megaleque do Taquari através da análise morfológica, buscando-se caracterizar geoformas deposicionais. No sentido de contribuir para atingir tal meta, esta dissertação tem por objetivos específicos:

1. Identificar e mapear redes de paleocanais distributários e de canais distributários atuais;
2. Delinear a morfologia do megaleque e de unidades deposicionais;
3. Definir a geometria das geoformas deposicionais;
4. Identificar e delimitar lobos deposicionais abandonados;
5. Estabelecer a sucessão cronológica dos lobos;
6. Comparar o Taquari com outros megaleques da literatura.

2. SISTEMAS DE LEQUES ALUVIAIS: CONCEITOS BÁSICOS

Para atingir os objetivos apresentados no item 1.3, foi fundamental compreender os processos envolvidos na dinâmica sedimentar dos sistemas de leques aluviais.

Neste capítulo é apresentada uma revisão sucinta dos conceitos teóricos mais relevantes para o tema. Três aspectos são particularmente importantes como fundamentação conceitual para a discussão dos resultados alcançados no estudo do megaleque do Taquari. Em primeiro lugar, a questão da definição do espectro de sistemas naturais abrangido na categoria de leques e da classificação de leques, apresentadas no item 2.1. Em segundo lugar, a lógica de funcionamento do sistema, com a construção e o abandono de lobos deposicionais, apresentada no item 2.2. Por último, no item 2.3 é feito um breve relato mostrando que megaleques fluviais são um sistema deposicional importante, com exemplos em várias partes do mundo, e caracterizado por drenagem distributária e freqüentes fenômenos de avulsão do canal principal.

2.1. Leques aluviais

O termo “leque aluvial” surgiu na literatura geológica no final do séc. XIX, quando [Drew \(1873, apud Blair & McPherson, 1994a\)](#) identificou depósitos coalescentes de sedimentos clásticos na porção superior da Bacia do rio Indo, com pequena extensão ($\sim 1\text{km}^2$), alto gradiente topográfico e predominância de granulação grossa. Quando vistos em planta, tais depósitos possuem geometria semi-cônica, semelhante a um leque ([Figura 4](#)).

A sistematização do conceito ocorreu a partir de trabalhos efetuados no Vale da Morte na Califórnia. Na planície do vale, no sopé das escarpas dos planaltos circundantes, depósitos em forma de leque constituem as feições geomórficas mais recentes da paisagem. Diversos pesquisadores (e.g. [Bull, 1963](#); [Denny, 1967](#); [Bull, 1977](#)) descreveram detalhadamente as fácies sedimentares, relações entre a área de captação de drenagem com a superfície do leque, assim como os processos envolvidos na sua dinâmica sedimentar dos leques aluviais do Vale da Morte.

Na busca de uma classificação que abrigasse os diferentes tipos de leques observados, [Galloway & Hobday \(1983\)](#) propuseram a distinção entre leques de clima árido/semi-árido e leques de clima úmido ([Figura 5](#)). Consideraram que o clima é fator determinante,

caracterizando-se os leques de clima árido/semi-árido por progradação sedimentar restrita e pequena extensão superficial.

Leques de clima úmido teriam sua progradação favorecida devido às maiores taxas de pluviosidade. Embora se reconheça a influência climática sobre a gênese de leques, esta proposta é utilizada com restrições. O principal argumento para a cautela é o fato de que leques de grandes dimensões também se desenvolvem em ambientes de climas árido/semi-árido. Como exemplo tem-se o leque fluvial do Okavango na África e grandes leques formados nos desertos de Taklimakan e Gobi, China.

A proposta de classificação mais utilizada nos últimos anos foi elaborada por [Stanistreet & McCarthy \(1993\)](#). Através do estudo da dinâmica sedimentar do rio Okavango e caracterização de sua geomorfologia, propuseram um novo modelo que ficou conhecido como leque “losimean” (*low sinuosity/meandering*). Os referidos autores unificaram os demais modelos existentes em leques dominados por fluxo de detritos e leques de rio entrelaçados ([Figura 6](#)).

Utilizando uma abordagem voltada para a investigação estratigráfica, [Blair e McPherson \(1994b\)](#) discordaram da proposta de [Stanistreet & McCarthy \(1993\)](#). Recomendaram que a associação de depósitos fluviais com a terminologia de leque fosse restrita a rampas com declives entre 1.5° a 25°, alegando que depósitos de baixa declividade possuem fácies semelhante aos sistemas fluviais tributários e não seriam reconhecidos como leques no registro geológico. Através deste raciocínio os autores retornam o conceito de leque aluvial a seu significado clássico: sistemas de alta declividade construídos por fluxos episódicos de sedimentos clásticos grossos, com extensão areal que raramente excede 1km².

Poucos são os trabalhos que compartilharam tal proposta. [McCarthy & Candle \(1995\)](#) julgaram que os dados utilizados por [Blair e McPherson \(1994b\)](#) eram incompletos e não suportavam tal generalização. Deve-se considerar também que a geometria da drenagem distributária sempre apresentará um padrão radial, o que torna possível o reconhecimento de leques no registro geológico através da análise de paleocorrentes (e.g. [Miall, 1996](#)). A organização de fácies igualmente fornece a distinção entre sistemas tributários e distributários (e.g. [Nichols, 2007](#)).

[Assine \(2003\)](#) adotou os modelos propostos por [Stanistreet & McCarthy \(1993\)](#), reagrupando-os em dois grandes grupos: leques dominados por fluxos gravitacionais e leques dominados por rios. No primeiro estão contidos os sistemas com declives superiores a 1.5° ([Figura 6-A](#)), produtos da ação de processos gravitacionais, e com menor intensidade, fluviais. O segundo grupo caracteriza-se por abrigar sistemas de baixo gradiente topográfico,

subdividido em leques de rios entrelaçados e leques de rios meandrantos / baixa sinuosidade (Figura 6-B,C).

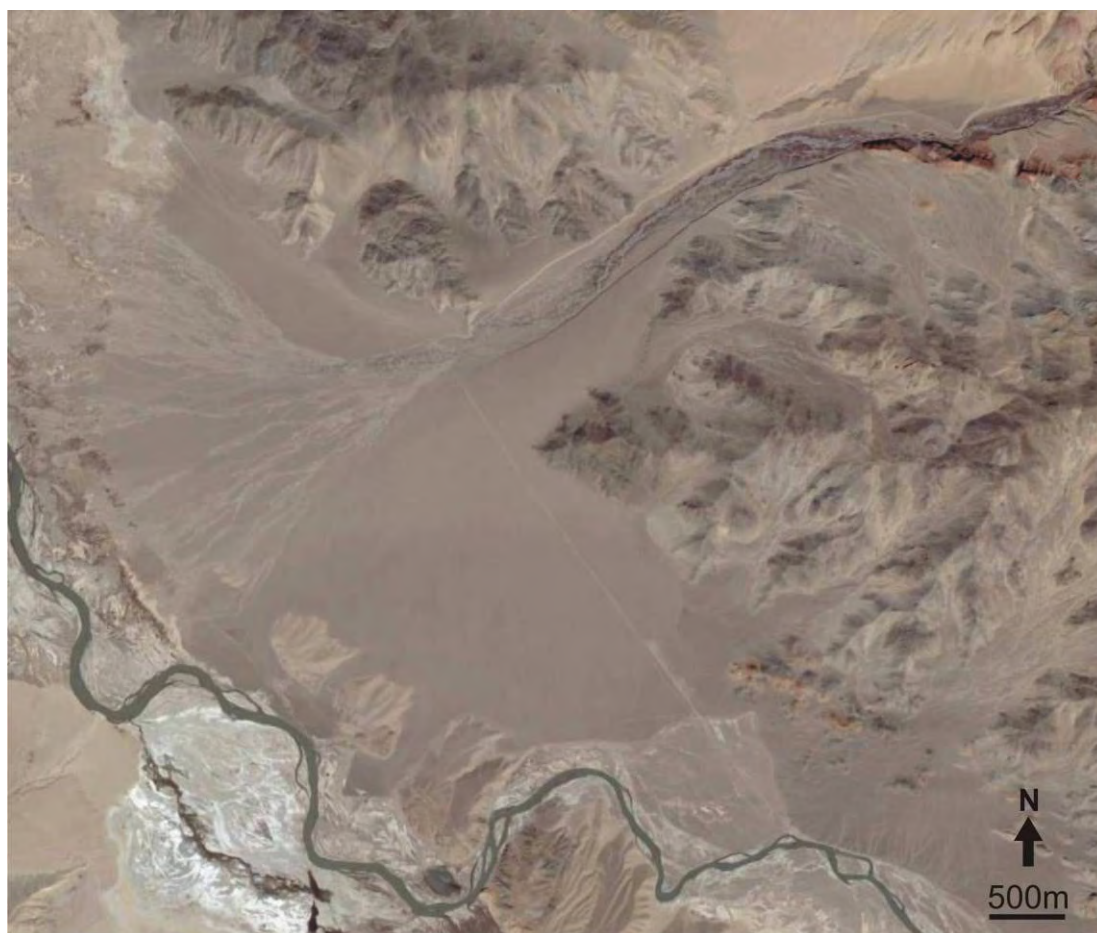
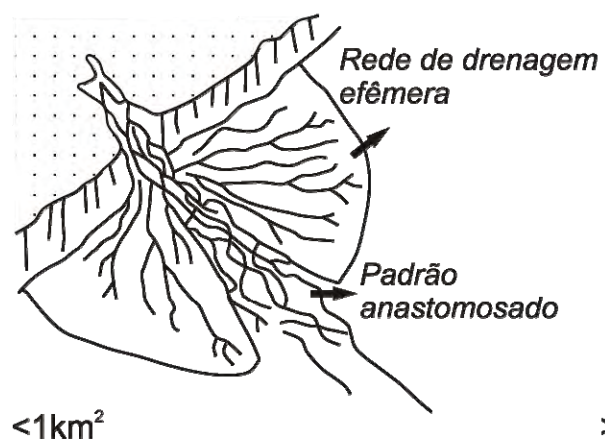


Figura 4. Depósito em forma de leque aluvial nas margens do rio Indo – Índia (Google Earth, 2008).

a - Leque de clima árido/semi-árido



b - Leque de clima úmido

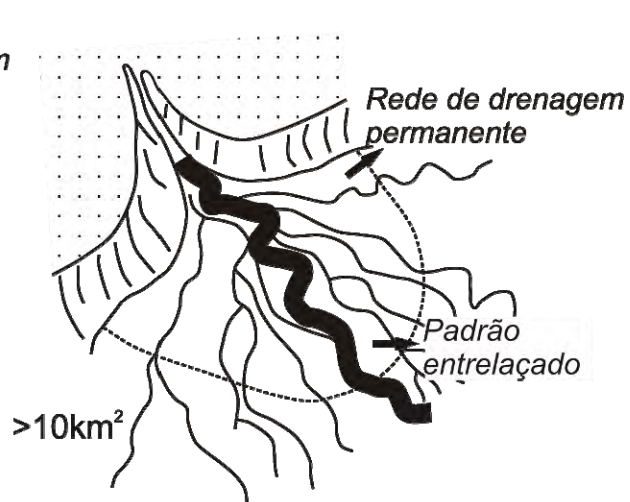


Figura 5. Classificação de leques aluviais de acordo com o clima. (Galloway & Hobday, 1983).

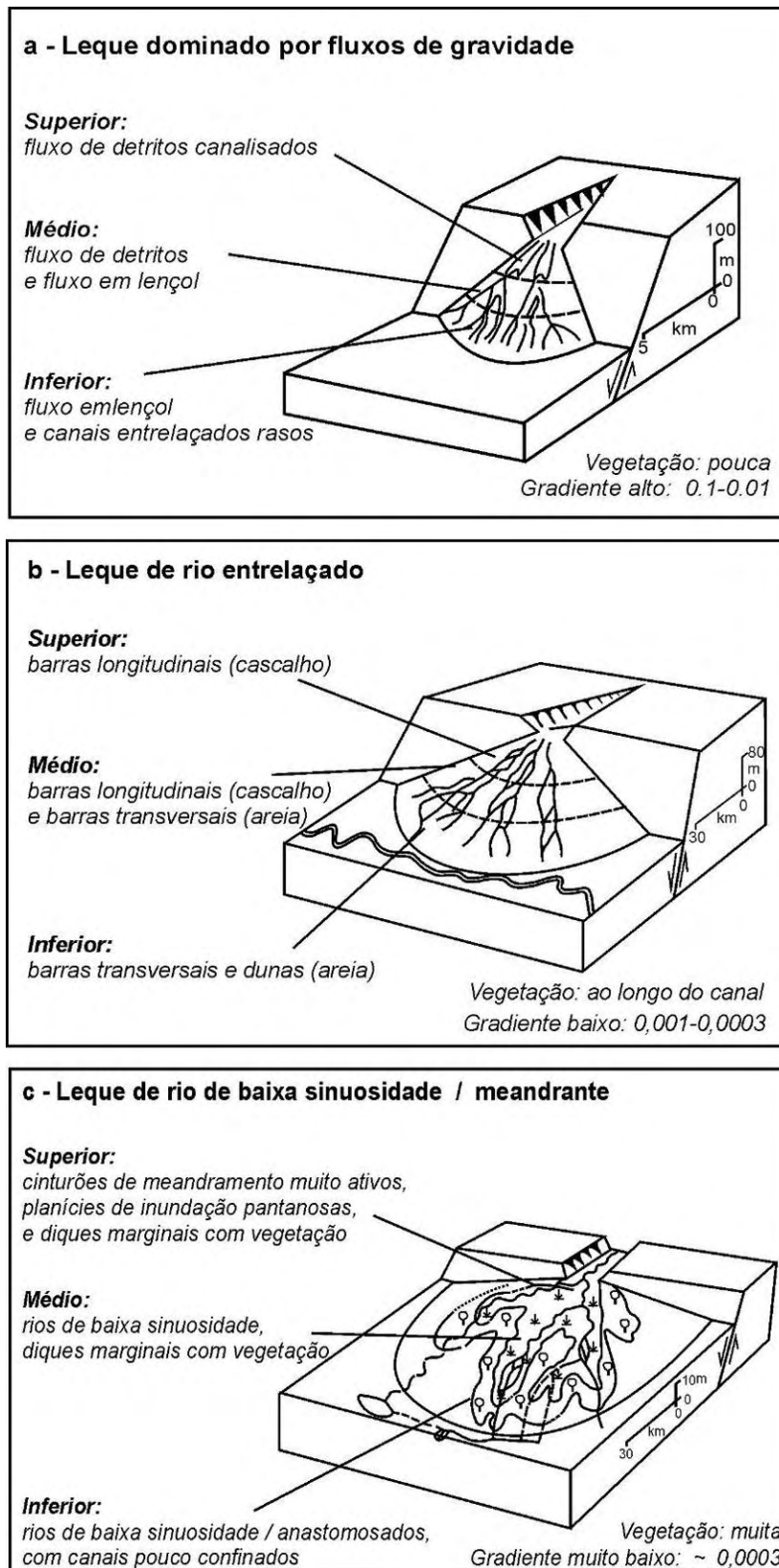


Figura 6. Classificação de leques aluviais segundo Stanistreet & McCarthy (1993).

O debate sobre a aplicação e abrangência do termo leque aluvial continua aberto. A questão ganhou novas dimensões através da disseminação de técnicas de sensoriamento remoto e o maior intercâmbio de informações. Dados morfométricos obtidos através de imagens orbitais e modelos numéricos de terreno destacam-se nas abordagens recentes (e.g. [Milana, 2000](#); [Saito & Oguchi, 2005](#); [Volker et al., 2007](#)).

2.2. Sedimentação em leques aluviais

Para ocorrer acúmulo de sedimentos são necessárias algumas condições ambientais. Primeiramente deve haver espaço de acomodação disponível. Este conceito define o volume potencial que pode ser preenchido por sedimentos ([Posamentier & Vail, 1988](#)) e é criado através de movimentos tectônicos ou mudanças nas condições hidráulicas do sistema ([Miall, 1996](#)). Suprimento sedimentar e agentes com capacidade para o transporte também são indispensáveis. Portanto, a sedimentação em forma de leque ocorre quando há a expansão de um fluxo previamente confinado para um local de menor gradiente, com espaço de acomodação disponível ([Leeder, 1999](#)).

A manutenção do espaço de acomodação ocorre em função de outro elemento conceitual: o nível de base. Este pode ser entendido como um plano teórico abaixo do qual o sistema possui menor energia e tende a ocorrer com maior intensidade processos de sedimentação ([Schumm, 1993](#)). Processos alogênicos (e.g. mudanças climáticas, movimentos tectônicos, ciclos astronômicos) e autogênicos (e.g. construção de diques marginais, preenchimento sedimentar do canal), quando promovem aumento na cota altimétrica do nível de base, induzem um acréscimo de volume no espaço de acomodação (e.g. [Harvey, 1987](#); [Schumm, 1977](#); [Miall, 1996](#)).

[Denny \(1967\)](#) propôs que a evolução sedimentar em ambientes de leques ocorre através do abandono e entrincheiramento dos leques primários pelos canais alimentadores de leques secundários ([Figura 7](#)). Neste ambiente os processos de progradação e agradação sedimentar ocorrem em posições topograficamente inferiores às áreas adjacentes. A superfície destes corpos sedimentares é composta por feições abandonadas (mais velhas), onde predominam processos erosivos, e feições com sedimentação ativa (mais recentes) onde está ocorrendo agradação / progradação sedimentar.

Em um estudo de caso, [Harvey \(2002\)](#) identificou quais as repostas morfológicas para três diferentes situações. No ambiente com nível de base estável ocorre progradação

sedimentar na porção distal do leque e preenchimento do canal principal (Figura 8-A). Na hipótese do nível de base se manter estável por um longo tempo, processos de avulsão ocorrerão com maior frequência podendo provocar a migração lateral do lobo deposicional. Na situação em que houve queda no nível de base, a resposta morfológica foi a incisão na porção distal do leque (Figura 8-B) e o estabelecimento de um padrão meandrante na zona proximal. Este mudança de padrão fluvial ocorre em resposta à alteração do perfil longitudinal do canal. Já o aumento do nível de base acentuou a declividade do perfil longitudinal do canal resultando em incisões à montante do leque (Figura 8-C).

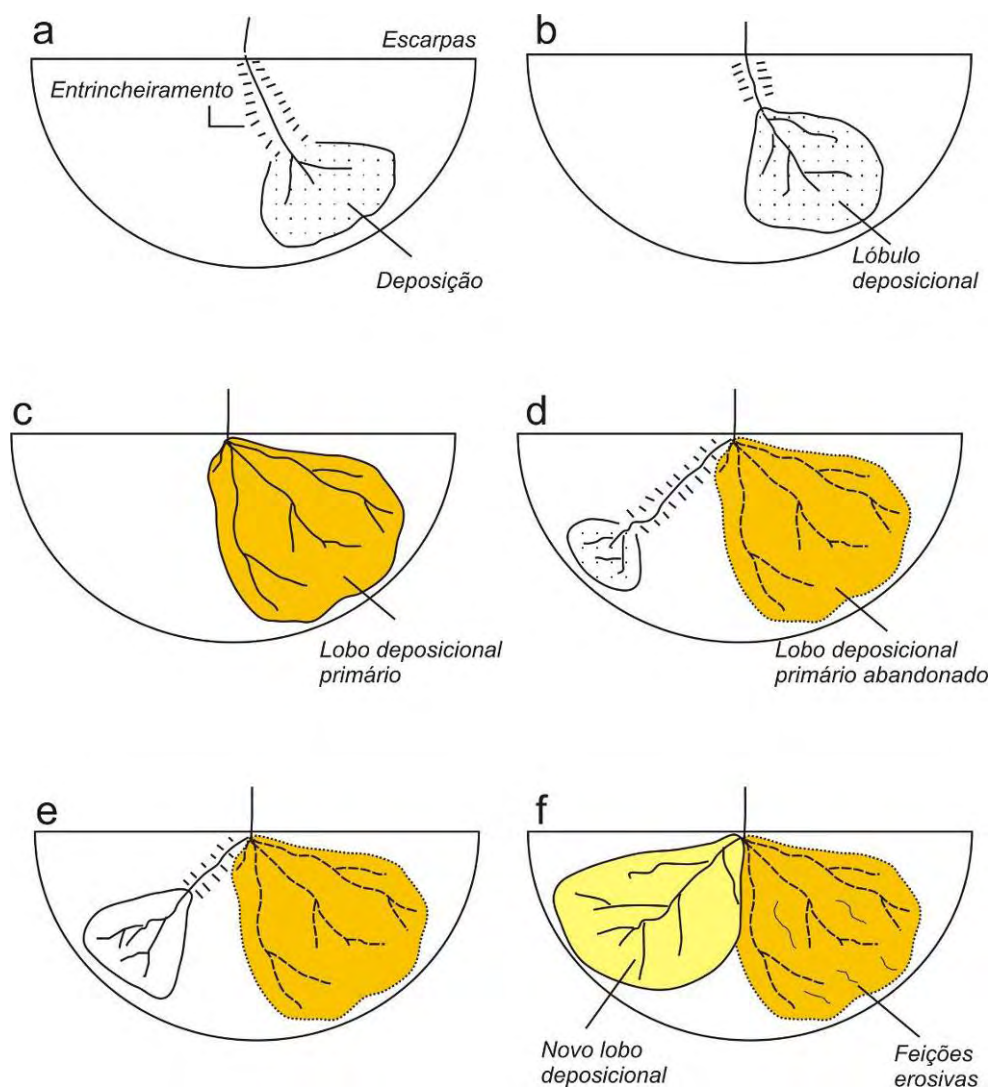


Figura 7. Modelo de sedimentação de leques aluviais segundo Denny (1967) e Schumm (1977). (A) Incisão e entrincheiramento da zona proximal e início da deposição na zona distal; (B) preenchimento sedimentar do canal à montante e progradação sedimentar para jusante; (C) preenchimento do canal e aumento da rede distributária; (D) abandono do lobo primário com incisão à montante do novo canal e deposição na zona distal; (E) (F) progradação sedimentar, aumento da rede distributária e formação de um novo lobo deposicional.

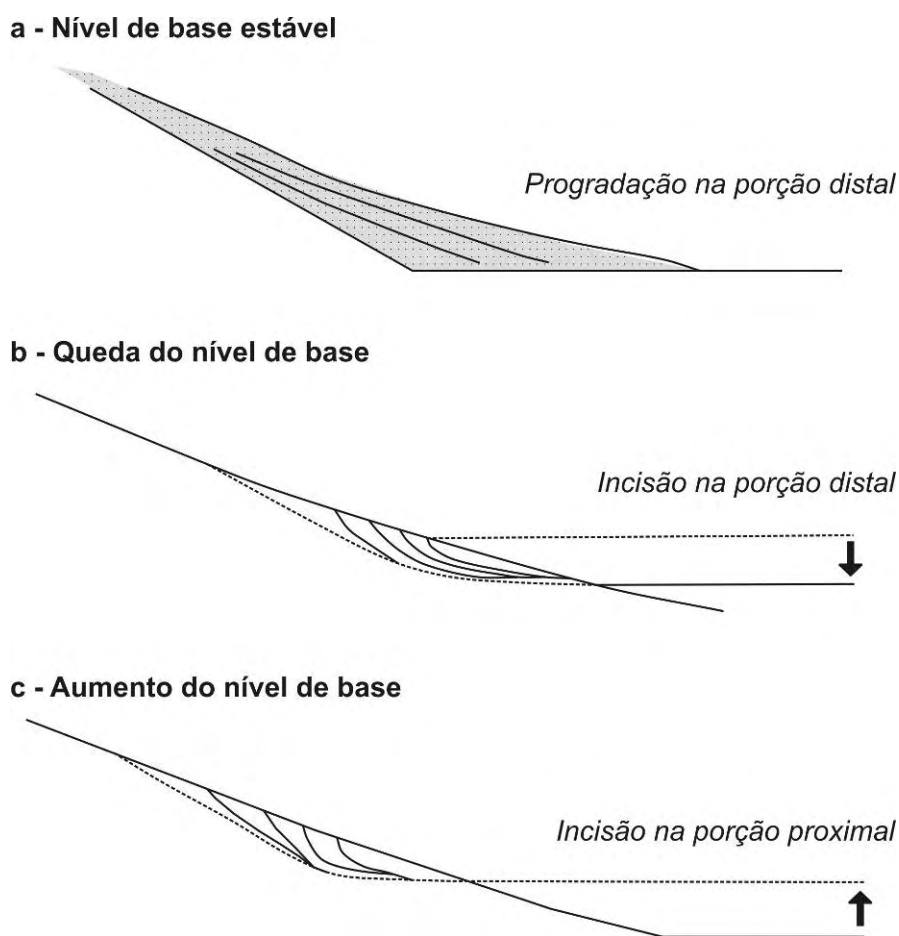
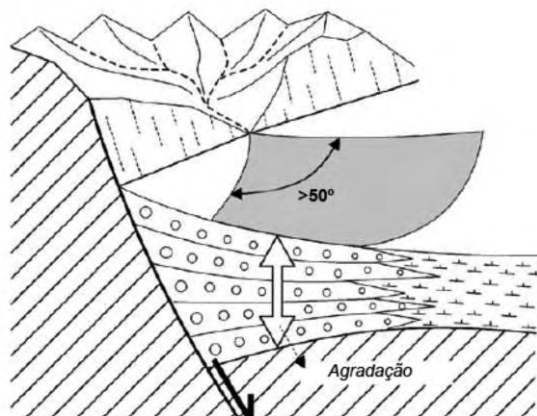


Figura 8. Relações entre morfologia de leques aluviais com a posição do nível de base. Fonte: Adaptado de Harvey (2000).

A alternância entre as fases de sedimentação e incisão está relacionada com mudanças climáticas e movimentos tectônicos (Harvey, 1990). O clima possui maior influência na taxa de sedimento transportado e na geometria do leque (e.g. Bull, 1991; Harvey, 2002), e as oscilações tectônicas determinam o volume de sedimento disponível no sistema exercendo maior controle na geração do espaço de acomodação (e.g. Denny, 1967; DeCelles & Giles, 1996; Horton & DeCelles, 2001). Quando movimentos tectônicos provocam alta taxa de subsidência da área de deposição, processos agradacionais tendem a formar depósitos de grande espessura sedimentar (Viséras et al., 2003). Leques nestas condições são dominados por fluxos de gravidade o que resulta em alto gradiente topográfico (Figura 9-A). Em áreas deposicionais com baixas taxas de subsidência, processos sedimentares progradacionais são dominantes e produzem leques de grande extensão espacial, mas com reduzida espessura sedimentar (Figura 9-B).

a - Alta taxa de subsidência da bacia



b - Baixa taxa de subsidência da bacia

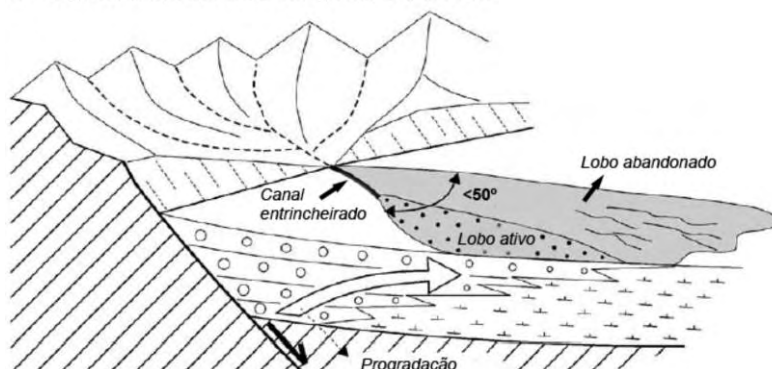


Figura 9. Morfologia de leques aluviais em ambientes deposicionais com (A) alta taxa e (B) baixa taxa de subsidência. Fonte: Viséras *et al* (2003).

Um modelo proposto por Horton & DeCelles (2001) para a gênese de megaleques na Planície do Chaco demonstra como é possível sua construção. Inicialmente sistemas fluviais com alto coeficiente de *stream power* entalharam a cordilheira andina e estabeleceram bacias hidrográficas isoladas no altiplano. Com o processo orogenético de arqueamento da região, estes sistemas tiveram suas direções de fluxo orientadas para o interior do continente. Nesta primeira etapa houve o estabelecimento de redes de drenagens, criação do espaço de acomodação e o início dos processos deposicionais (Figura 10-A). No estágio intermediário processos de captura de drenagem iniciam a integração entre as redes hidrográficas do altiplano; paralelamente processos orogenéticos promoviam o aumento das bacias hidrográficas. Com isto a carga sedimentar aumenta e predominam processos progradacionais (Figura 10-B). O estabelecimento dos megaleques ocorre com o estabelecimento de uma grande rede hidrográfica a montante (Figura 10-C). Os autores também destacam que a

sazonalidade climática da região foi fundamental para o transporte dos sedimentos e a manutenção dos processos deposicionais (Leier et al., 2005).

Nos megaleques fluviais a dinâmica sedimentar também está relacionada com mecanismos de criação de espaço de acomodação e disponibilidade de suprimento sedimentar. No entanto, condições ambientais especiais são necessárias para que estes depósitos atinjam as grandes dimensões espaciais que os caracterizam. Desta maneira possuem maior dependência de fatores alogênicos (movimentos tectônicos e mudanças climáticas regionais) para o fornecimento de grande volume sedimentar e criação de espaço potencial para sua deposição.

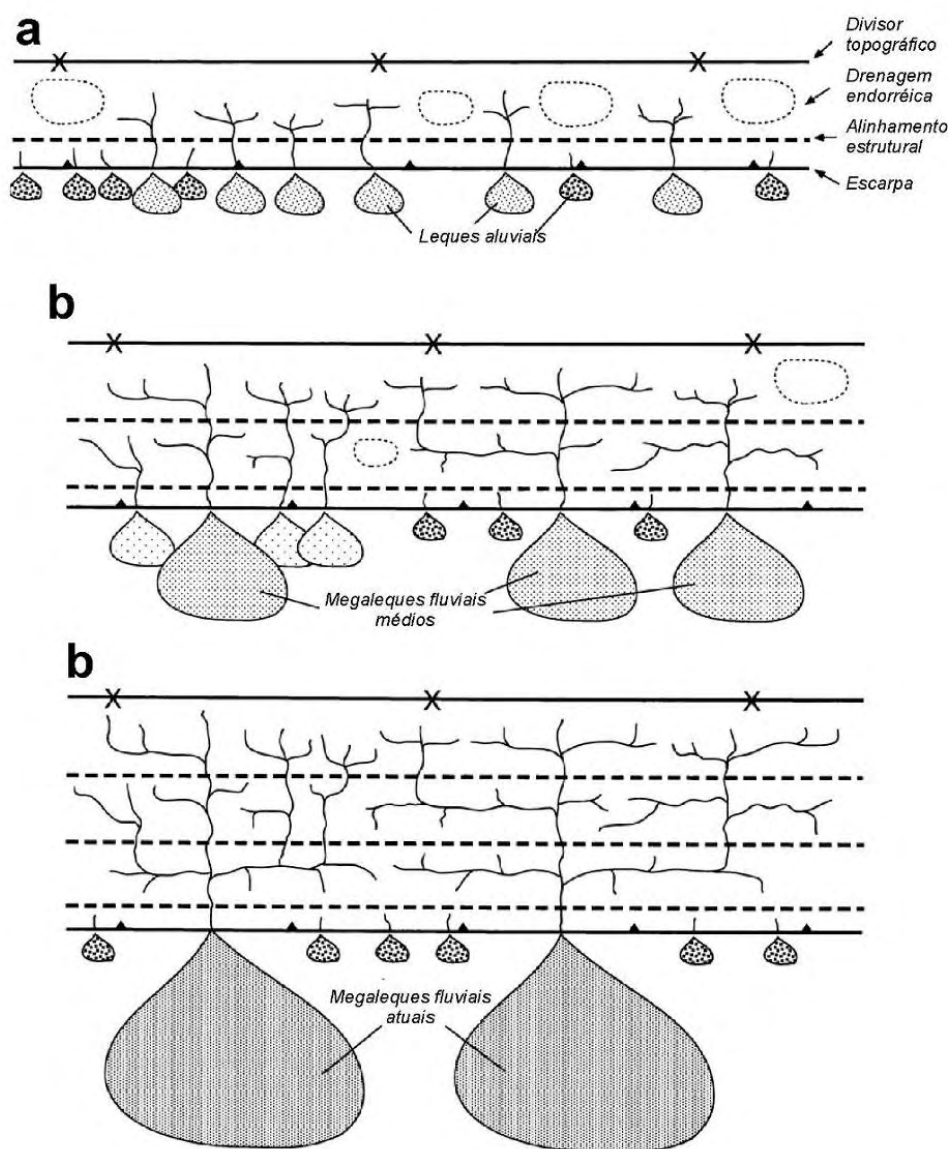


Figura 10. Modelo esquemático para a evolução de megaleques fluviais e sua rede de drenagem a montante. Fonte: Horton & DeCelles (2001).

2.3. Megaleques fluviais

Muitos dos leques dominados por rios constituem megaleques fluviais. Distinguem-se por serem dominados quase que exclusivamente por processos fluviais, terem alto suprimento sedimentar e apresentam extensões superficiais que superam 1000km² (Horton & DeCelles, 2001). Sua dinâmica deposicional é controlada por um sistema fluvial de grande mobilidade lateral, sendo os depósitos de fluxo de gravidade restritos ao sopé das escarpas (DeCelles & Cavazza, 1999). O gradiente topográfico é baixo, com declividades oscilando entre 0.1° e 0.01° (Leier et al., 2005).

Geddes (1960), ao estudar grandes rios que nasciam na cadeia de montanhas do Himalaia e se espalhavam nas planícies Hindus, como o rio Kosi, constatou a forma de “mega-cones” destes depósitos fluviais (Figura 11). A identificação de uma feição semelhante à geometria de um leque aluvial, mas com dimensões inéditas, chamou atenção de muitos pesquisadores e tornou-se foco de muitos estudos nas décadas posteriores (Singh, 1993). Sinteticamente estas pesquisas se restringiam a dinâmica fluvial do rio Kosi, descrição de fácies e construção de modelos teóricos para a evolução deste sistema (Gohaim & Parkash, 1990). Neste contexto surgiram várias sugestões de terminologias como “delta intra-continental” (Gole & Chitale, 1966), “leque aluvial úmido” (Schumm, 1977), “leque de rio entrelaçado” (Blatt et al., 1980) e “megaleque” (Gohaim & Parkash, 1990).

Extrapolando os limites das planícies Hindus, novos megaleques passaram a ser identificados em outras localidades do planeta Terra. Braun (1977) reconhece nos depósitos do rio Taquari o primeiro exemplar de megaleque brasileiro. McCarthy et al. (1991) ao estudar o rio Okavango descarta a hipótese vigente de um delta intra-continental e, mesmo não adotando a terminologia, descreve uma morfologia que compartilha com o conceito de megaleque. Räsänen et al. (1992) identificam na região norte da cordilheira andina três grandes sistemas fluviais que dão origem a megaleques: Pilcomayo, Parapeti e Grande. No deserto de Taklimakan, China, (Li & Yang, 1998) também foram reconhecidos sistemas modernos de megaleques (Figura 12).

A análise comparativa entre estes grandes sistemas distributários permitiu a compreensão das características ambientais necessárias para o surgimento de megaleques. Novamente as geotecnologias se destacam em abordagens quantitativas e fornecem ferramentas para a manipulação de grandes quantidades de dados.

Em um estudo de síntese [Leier et al. \(2005\)](#) examinaram um total de 202 rios em todo o mundo. Foram compiladas informações de vazão, precipitação, modelos numéricos de elevação e dados de publicações anteriores. A organização das informações em um banco de dados georreferenciado permitiu que os autores identificassem a sazonalidade climática como um dos pré-requisitos para a formação de megaleques ([Figura 13](#)). Outras conclusões foram à constatação da alta frequência de processos de avulsão em megaleques e a necessidade de espaço de acomodação para a deposição sedimentar.

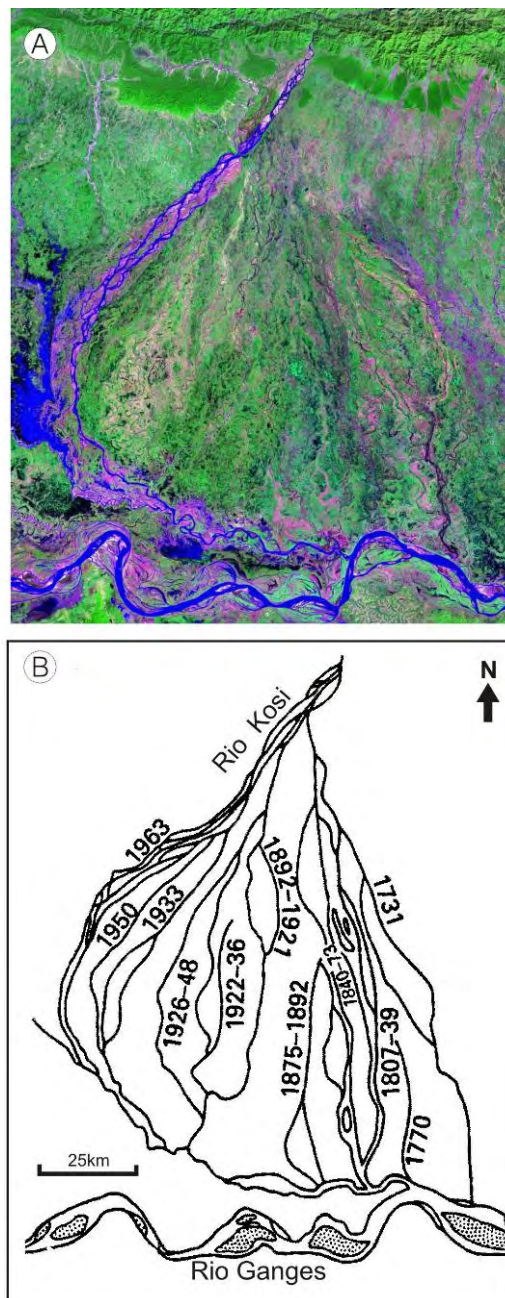


Figura 11. Megaleque do rio Kosi. (A) Mosaico Landsat 7 GeoCover 2000, composição R7G4B2. e (B) as mudanças de seu curso nos últimos 300 anos ([Gole e Chitale, 1966](#)).

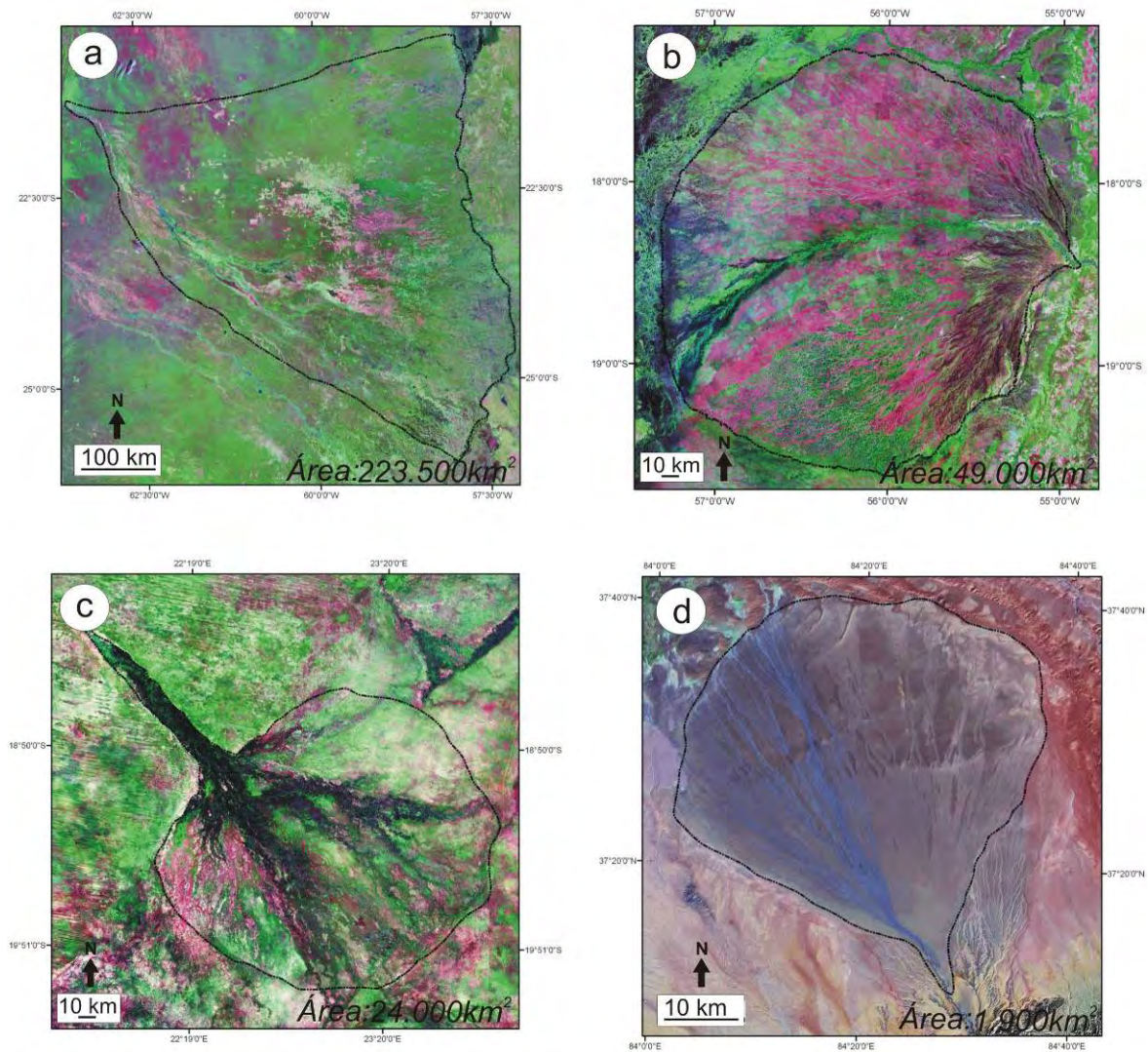


Figura 12. Megaleques fluviais. A – Pilcomayo; B – Taquari; C – Okavango; D – Taklimakan. Mosaicos Landsat 4/5 GeoCover 1990, composição R7G4B2.

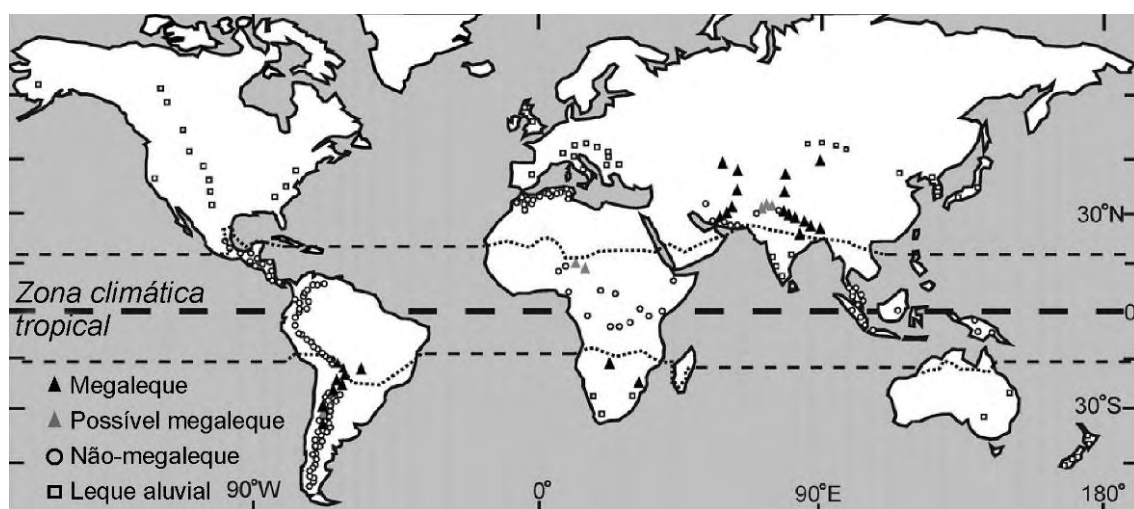


Figura 13. Rios analisados por Leier et al. (2005). Os autores observaram que a sazonalidade climática extratropical pode favorecer a formação de megaleques.

3. MATERIAL E MÉTODOS

Conforme exposto no capítulo conceitual sobre leques aluviais, a maioria dos estudos se concentra em sistemas deposicionais dominados por fluxo de gravidade. Devido à grande diferença nas dimensões destes sistemas com os megaleques, métodos utilizados no estudo de leques dominados por fluxo de gravidade apresentam limitada aplicabilidade se empregados em megaleques como o do Taquari. Dentre os artigos que abordam megaleques, também não foram encontrados estudos que consideram a dinâmica de lobos deposicionais e métodos para extração destes elementos.

Desta maneira, buscou-se o desenvolvimento de metodologia específica para a extração de informações que possibilitem identificar os compartimentos de lobos deposicionais e possibilitar considerações sobre a evolução geomorfológica do Taquari. Conceitos introduzidos por Assine (2003) foram utilizados e revistos sob a ótica de dados espaciais mais acurados e atualizados.

Dados orbitais consistem a principal fonte de informação utilizada. Atenção especial foi dada aos procedimentos de processamento e interpretação de dados, visando a reaplicabilidade dos métodos desenvolvidos para outros sistemas deposicionais. Trabalho de campo foi realizado na tentativa de reconhecer *in loco* formas e feições delineadas remotamente. Finalmente, foram selecionados megaleques descritos na literatura e comparados quantitativamente com o do Taquari.

3.1. Mapeamento de paleocanais e drenagem atual

O procedimento inicial para a extração dos paleocanais e drenagem atual consistiu na aquisição das imagens multiespectrais. Foram adquiridas cenas de 6 sensores diferentes (Tabela 1) obtidas gratuitamente na Internet (Tabela 2). A diversidade dos instrumentos utilizados se justifica pela necessidade de produtos em diversas resoluções espaciais, também como por uma coleção de dados que represente uma extensa série temporal.

Tabela 1. Características dos sensores orbitais utilizados.

Satélite e sensor	Faixa espectral	Número de bandas	Resolução espacial	Nº de cenas utilizadas
Terra/MODIS	0.40-14.4µm	36	250, 500 e 1000m	1
Terra/ASTER	0.45-12µm	14	15, 30 e 90m	30
Landsat7/ETM+	0.45-12.5 µm	8	15, 30 e 60m	9
Landsat5/TM	0.45-12.5 µm	7	30 e 120m	10
Landsat2/MSS	0.50-10.1µm	4	80m	6
Cbers2/CCD	0.45-0.73 µm	5	20m	11

Tabela 2. Fonte das imagens utilizadas.

Satélite e sensor	Fonte	Endereço eletrônico
Terra/MODIS	NASA	http://edcimswww.cr.usgs.gov/pub/imswelcome/
Terra/ASTER	NASA	http://edcimswww.cr.usgs.gov/pub/imswelcome/
Landsat7/ETM+	INPE / GLCF	http://www.dgi.inpe.br/CDSR/ http://glcfapp.umiacs.umd.edu:8080/esdi/index.jsp
Landsat5/TM	INPE / GLCF	http://www.dgi.inpe.br/CDSR/ http://glcfapp.umiacs.umd.edu:8080/esdi/index.jsp
Landsat2/MSS	INPE	http://www.dgi.inpe.br/CDSR/
Cbers2/CCD	INPE	http://www.dgi.inpe.br/CDSR/

Nestes dados foram aplicados métodos básicos de processamento digital de imagens como correção geométrica das cenas, realce digital, construção de mosaicos e agrupamento de *layers*. Devido à baixa variabilidade dos valores de *pixel*, demonstrados por histogramas, optou-se também pela utilização do método *optimum index factor* (OIF) para a escolha da composição colorida ideal. O OIF é baseado na correlação entre os níveis de cinza das bandas espectrais (Chavez et al., 1982):

$$\text{OIF} = \frac{\sum|\sigma(i)|}{\sum|r(i)|} \quad (1)$$

onde: $\sum|\sigma(i)|$ é a somatória dos desvios padrões das bandas avaliadas; $\sum|r(i)|$ é somatória dos coeficientes de correlação das bandas avaliadas. Quanto maior o coeficiente OIF, maior a variabilidade da composição RGB. Este método foi aplicado individualmente para cada sensor.

Posteriormente, os tripletes RGB foram exportados em formato *GeoTIFF*, com nomenclatura indicando sensor, composição e data. Foi utilizado o *datum* WGS84 zona 21S como sistema de projeção cartográfica. Todos os procedimentos mencionados foram realizados no software ENVI 4.5 (ITT Visual Information Solution, 2008).

Após o processamento das cenas, foi construído um banco de dados geográfico para o megaleque do Taquari. Como referência teórica adotou-se a configuração de modelos sugerida por Burrough & McDonnell (1998). Estes autores propõem que os dados inseridos em um SIG devem se agrupar em três modelos bem definidos: dados vetoriais, dados do tipo *raster* e grades não regulares de dados (TIN). Portanto, todas as feições e planos de informações digitais adicionadas e criadas no banco de dados foram enquadrados nestes padrões. Para a construção do SIG foi utilizado o *software* ArcGIS 9.2 (ESRI, 2007), que possui bons aplicativos para gerenciamento e manipulação de informações espaciais com um pacote completo de ferramentas para desenho digital de vetores (CAD).

O mapeamento iniciou-se com o delineamento do megaleque do Taquari através da interpretação visual dos mosaicos digitais. Este plano de informação definiu os limites para a interpretação dos paleocanais e drenagem atual. Em seguida, a área do megaleque foi subdividida em quadrículas regulares com articulação compatível a escala 1:50.000 do IBGE (Figura 14), afim de sistematizar a tarefa de identificação das feições.

A extração dos paleocanais e da drenagem atual foi feita manualmente através do desenho digital realizado sob os mosaicos georeferenciados das imagens orbitais. Diferentes escalas de visualização foram empregadas no mapeamento das feições. Para os paleocanais utilizaram-se escalas de até 1:25.000, preferencialmente sob o mosaico de cenas ASTER (Figura 15-A). Na identificação da drenagem atual tributária, também conhecida como *vazantes*, foram utilizadas escalas menores (até 1:500.000) e cenas de períodos de cheia (Figura 15-B). Após a confecção dos planos de informação dos paleocanais e drenagem atual, foi adicionado ao banco de dados um arquivo *shape* contendo a representação das lagoas da Nhecolândia. Este produto foi disponibilizado pela NGA, disponível no endereço <<ftp://e0srp01u.ecs.nasa.gov/srtm/version2/SWBD/>>.

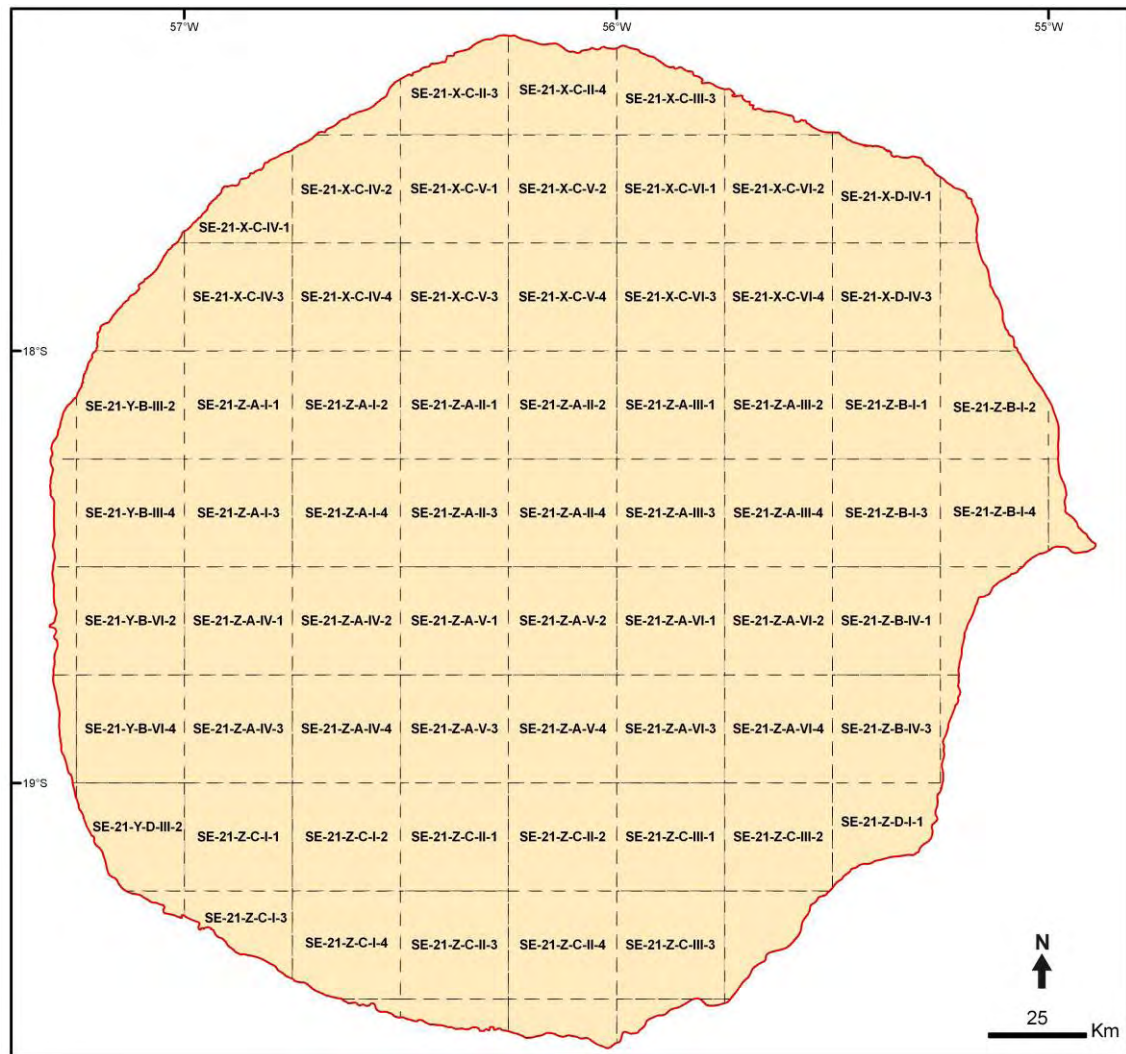


Figura 14. Megaleque subdividido folhas topográficas, compatíveis com escala 1:50.000.

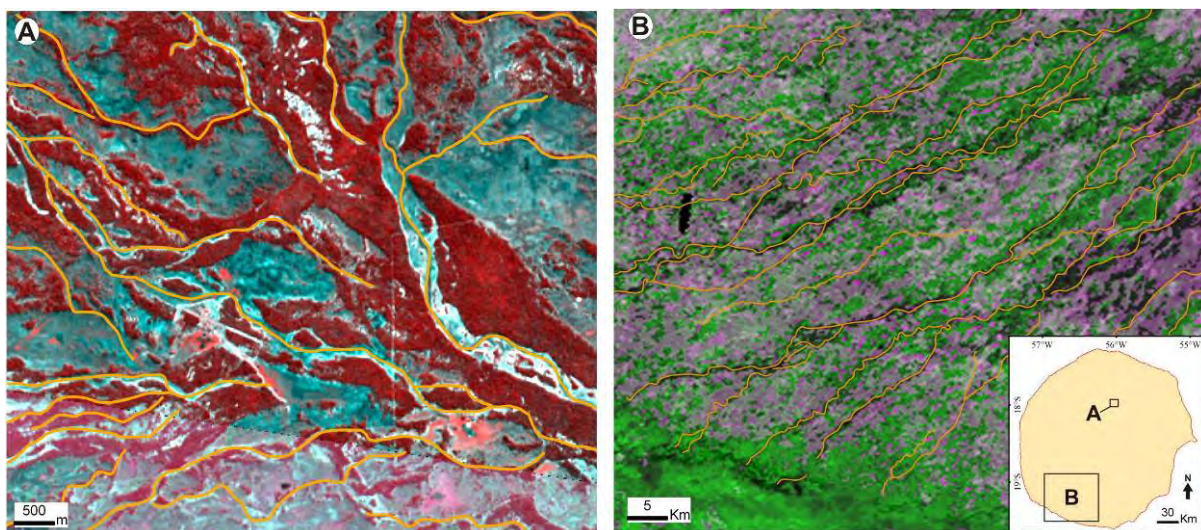


Figura 15. Mapeamento de paleocanais (A) e vazantes (B) em diferentes escalas de visualização. (A: Imagem ASTER R3G2B1 – 22/07/2005 e B: Imagem MODIS R1G2B1 – 13/06/2007).

3.2. Análise espacial dos modelos digitais de elevação (MDE's)

Para a confecção dos MDE's foram utilizados os dados altimétricos SRTM. Estas informações provêm de uma missão espacial realizada pela NASA entre os dias 11 a 22 de fevereiro de 2000, onde um instrumento SAR a bordo do ônibus espacial Endeavour fez a aquisição nas bandas X (3cm) e C (5.6cm) (Rabus et al, 2003). Os dados da banda C foram processados no JPL / NASA e distribuídos gratuitamente em formato digital com a resolução espacial de 3-arcos de segundo (~90m em latitudes equatoriais). Características e especificidades técnicas da missão, fundamentais para a boa interpretação dos dados, encontram-se detalhadamente discutidas em trabalhos como os de Zyl (2001) e Far et al. (2007).

Vários pesquisadores aplicaram com sucesso esta fonte de informação altimétrica em estudos geomorfológicos (e.g. Verstraeten, 2006; Rossetti & Valeriano, 2007, Reinhard et al., 2008). No entanto, o componente SAR banda C da missão SRTM apresenta grande sensibilidade a objetos presentes na superfície, como elementos antrópicos e dosséis arbóreos (Valeriano et al., 2006), podendo resultar em formas artificiais de relevo. Portanto, para a ideal utilização dos dados, se fez necessário a aplicação de técnicas corretivas.

O processamento inicial aplicado nos dados SRTM consistiu na reamostragem geoestatística dos dados de 90m para 30m, de acordo com a proposta de Valeriano (2004). Segundo Valeriano & Abdon (2007), este método melhora consideravelmente a resolução dos dados altimétricos e reduz objetos superficiais indesejados. Em linhas gerais, o processo se inicia com a reposição de valores irregulares de altitude e a conversão dos dados para um formato tabular. Posteriormente, são retiradas pequenas amostras para análise variográfica de seus resíduos. Esta modelagem fornece os pesos ótimos para a krigagem ordinária e reamostragem espacial dos dados (Figura 16).

Com os dados SRTM corrigidos e com *pixel* reamostrado para 30m, foram realizados mais dois processamentos: cálculo das superfícies de tendência e quantificação dos resíduos topográficos. As informações altimétricas obtidas a partir de ambos os métodos demonstrará a disposição geral das formas do megaleque e fornecerá a altitude relativa das formas deposicionais, facilitando assim a distinção de eventos deposicionais de mesma hierarquia.

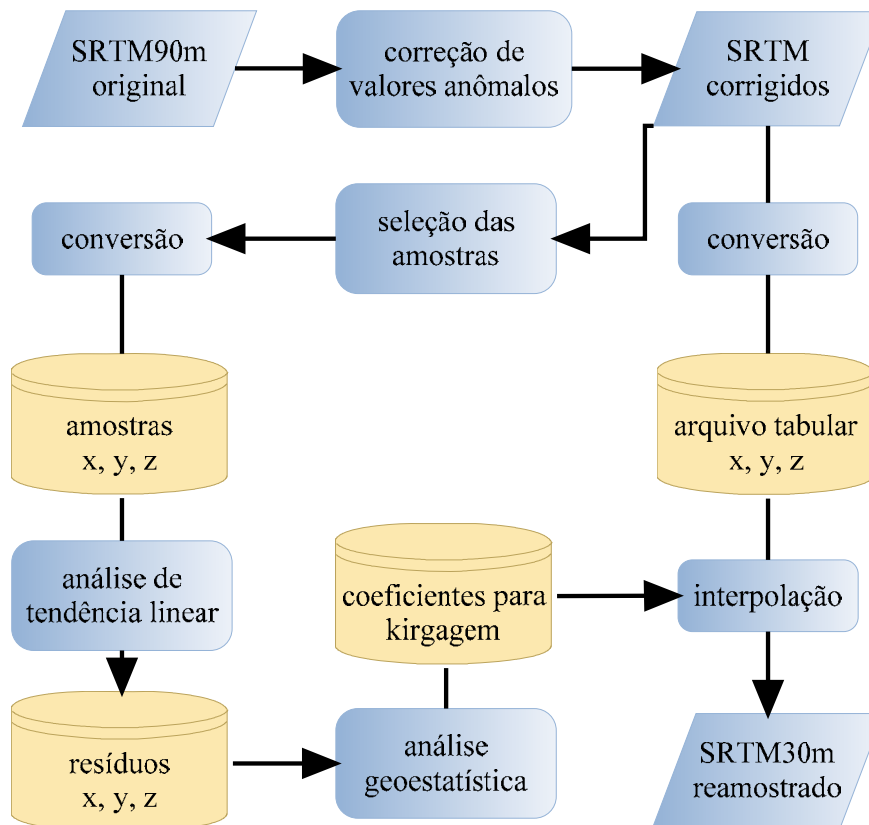


Figura 16. Etapas para a interpolação dos dados SRTM (Valeriano et al., 2006).

A superfície de tendência foi obtida através de um método de regressão global, com a aplicação de uma equação polinomial genérica na variável altimétrica (Z) dos dados SRTM corrigidos:

$$Z = \sum_{i=0}^k \sum_{j=0}^i b_{x^i y^j} x^i y^j \quad (2)$$

onde: k é o grau escolhido para o polinômio; i e j são variáveis de interação associadas à k , nas quais $i=0..k$ e $j=0..i$. Quanto menor for o grau do polinômio (k) mais simples será a superfície resultante. Graus mais elevados apresentam um melhor encaixe dos dados em relação à grade original e, conseqüentemente, geram superfícies de maior complexidade espacial (Figura 17).

Testes estatísticos paramétricos foram realizados para identificar a razão das variâncias entre as superfícies de tendências computadas com os dados originais SRTM, ou seja, para verificar quantitativamente qual é a ordem da Equação 2 que possui representatividade mínima para o megaleque do Taquari. O método da construção de

superfícies de tendência com os dados SRTM também torna possível a delimitação das cotas altimétricas simplificadas do megaleque.

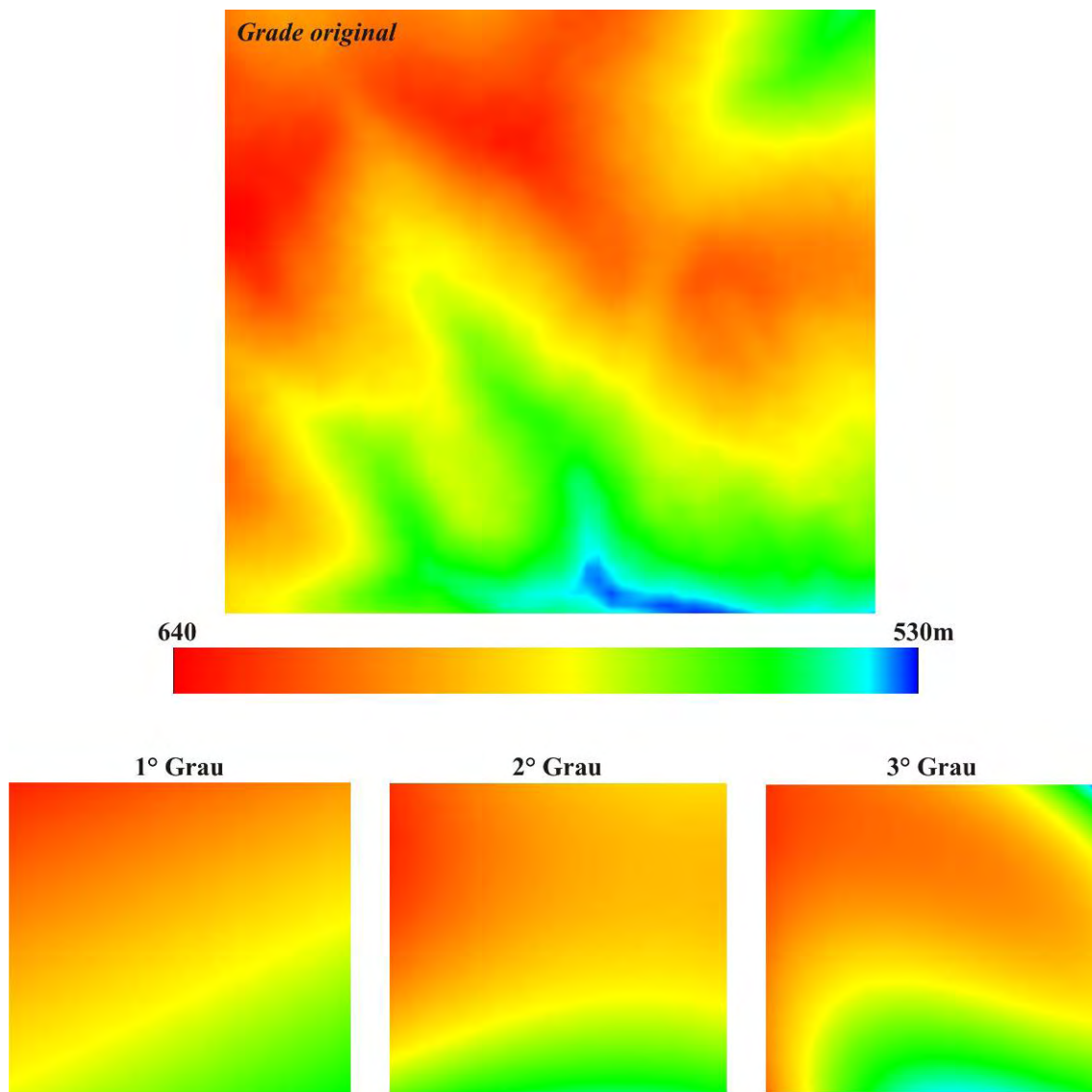


Figura 17. Exemplos de superfícies de tendências para uma grade de dados altimétricos.

A superfície de tendência calculada pela Equação 2 (Z_{TRD}) e selecionada a partir de teste paramétrico foi subtraída da grade de dados SRTM corrigida (Z_{SRTM}), resultando valores altimétricos relativos (Z_{RES}):

$$Z_{res} = Z_{trd} - Z_{grd} \quad (3)$$

Desta maneira os resíduos expressam as altitudes relativas, ou seja, variações altimétricas negativas e positivas em relação à disposição geral da superfície, calculada pela

Equação 2. O processamento também pode ser entendido como uma modificação do *datum* global, geóide WGS84 (padrão SRTM), para uma superfície de menor complexidade calculada por um método global de regressão. Este procedimento foi aplicado visando o aumento da frequência relativa dos dados altimétricos, aumentando assim o contraste topográfico para viabilizar a identificação dos lobos deposicionais.

Nas Geociências aplicações destas técnicas são mais facilmente encontrados em dados geológicos (e.g. [Landim, 1973](#); [Sturaro, 1994](#)). A subtração de cotas de isópacas com superfícies de tendências resulta em resíduos negativos e positivos e facilita a identificação de áreas tectonicamente positivas e negativas ([Landim, 1998](#)). Em Geomorfologia a posição altimétrica relativa das formas pode fornecer pistas sobre sua gênese e auxiliar na compreensão de sua evolução (e.g. [Soares & Landim, 1973](#)).

No megaleque, onde predominam processos deposicionais, os resíduos topográficos podem indicar regiões com maior acúmulo de sedimentos (valores positivos) e locais deprimidos que foram denudados ou possuem menor aporte sedimentar que seu entorno (valores negativos).

3.3. Identificação e determinação da cronologia dos lobos deposicionais

Atributos morfológicos de feições superficiais podem ser empregados na distinção de variados eventos genéticos. [González & Aydin \(2008\)](#) utilizaram orientação e forma de lagos para distinguir episódios tectônicos em uma região dos Andes, [Ehsani & Quiel \(2008\)](#) identificaram diferentes processos erosivos através de padrões altimétricos de yardangs e [Solomon et al. \(1992\)](#) fizeram uso da direção de derrames de lava para ordenar episódios de vulcanismo em Venus.

Em sistemas fluviais deposicionais, como o megaleque do Taquari, a determinação da cronologia relativa das formas (lobos deposicionais) também pode ser obtida através da análise de atributos morfológicos superficiais. Neste tipo de ambiente, conjuntos de paleocanais de um lobo mais antigo são truncados e/ou sobrepostos por conjuntos de canais de um lobo mais recente. Este fenômeno, que é próprio da evolução de sistemas de leques ([Denny, 1967](#)), está ilustrado de forma esquemática na [Figura 18](#).

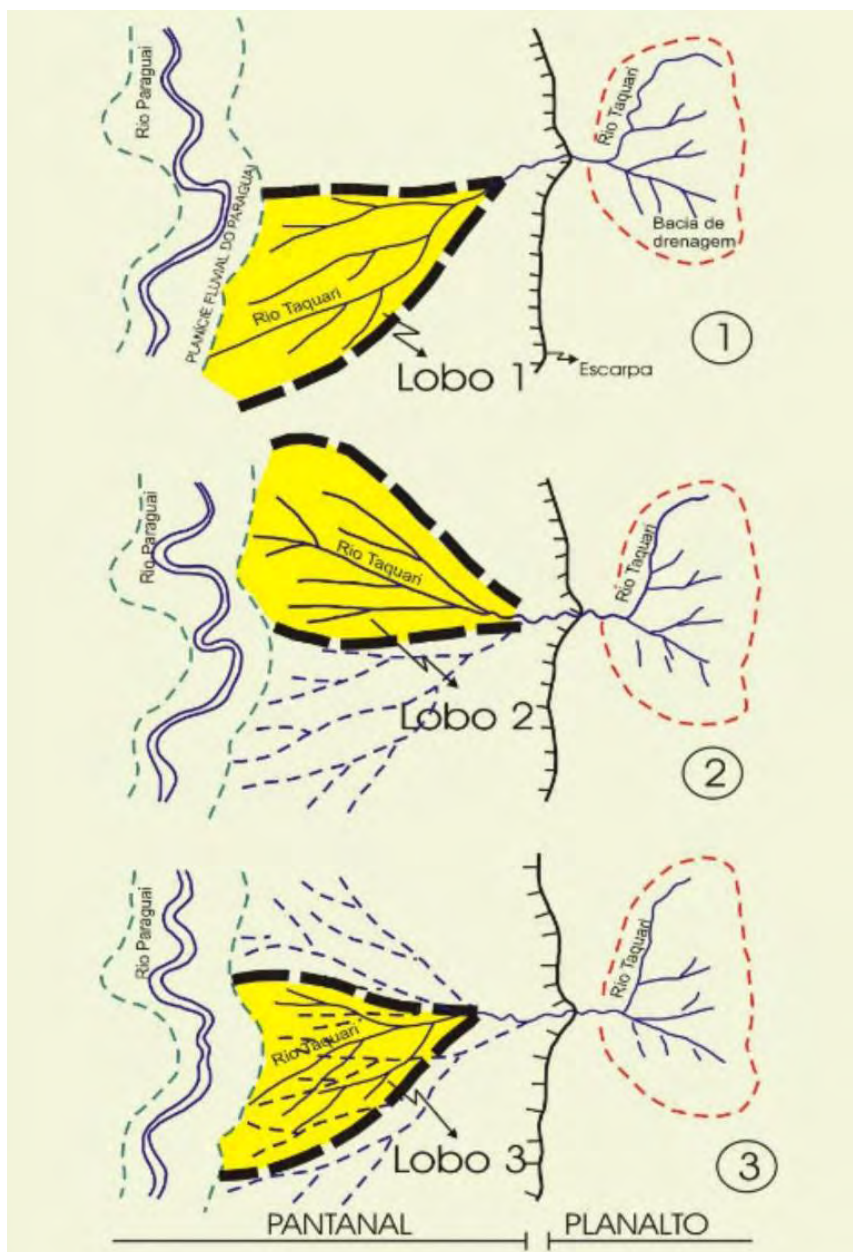


Figura 18. Esquema ilustrativo de construção e abandono de lobos no Taquari (Assine, 2003).

A drenagem mapeada através dos métodos comentados no tópico 3.1 forneceu as relações morfológicas para a identificação inicial dos lobos deposicionais e sua ordenação temporal na superfície do megaleque do Taquari. Esta primeira diferenciação foi baseada exclusivamente no arranjo geométrico e orientação dos paleocanais mapeados. Áreas de contato entre diferentes padrões geométricos de paleocanais foram delineadas como transições entre distintos lobos deposicionais (Figura 19). Para diminuir a subjetividade do método também foram aplicadas técnicas de estatística direcional, na tentativa de observar direções preferenciais do paleofluxo hídrico.

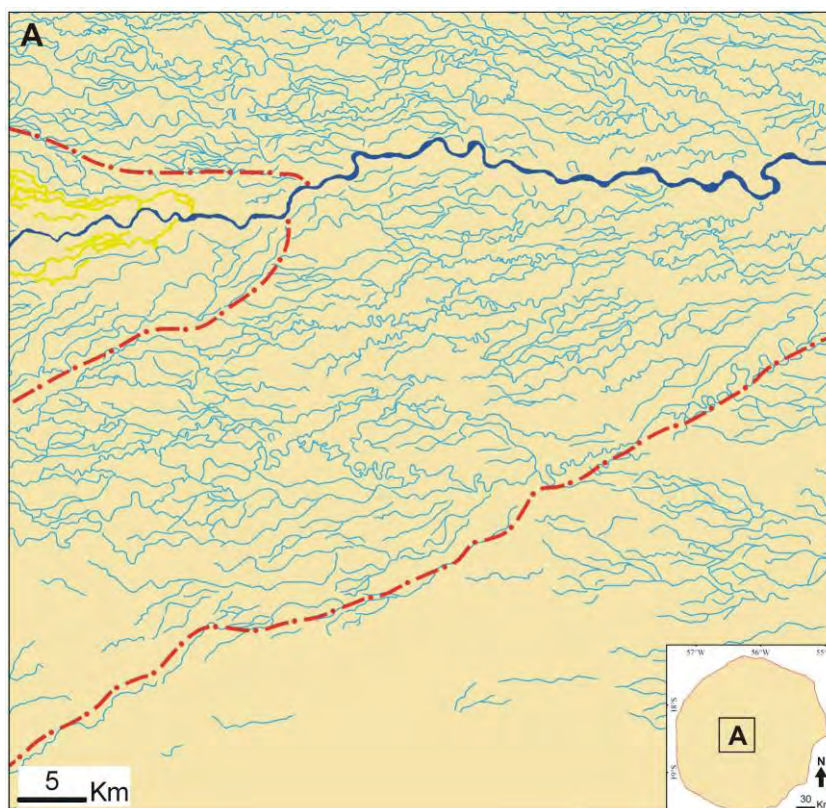


Figura 19. Diferentes padrões de orientação dos paleocanais evidenciam transições entre lobos deposicionais.

Os MDE's processados foram utilizados para delimitação mais precisa das formas deposicionais. No megaleque do Taquari, onde predominam baixas declividades, processos de agradação e progradação sedimentar resultam em formas com maiores amplitudes altimétricas que às das áreas adjacentes (e.g. [Assine, 2005](#); [Volker et al., 2007](#)). Portanto, os principais elementos geomórficos que compõem este ambiente, como os lobos deposicionais, complexos de canais distributários e seus diques marginais, devem apresentar expressões altimétricas características. Assim, os MDE's constituem excelente ferramenta para a identificação destas formas deposicionais e para o reconhecimento de relações morfológicas.

3.4. Trabalho de campo

A expedição de campo teve a duração de 5 dias e foi efetuada nas porções proximal e distal do megaleque ([Figura 20](#)). Devido às dificuldades do trânsito automotivo na região, a grande maioria dos pontos visitados ficou restrito ao curso superior do rio Taquari e às poucas estradas transitáveis na parte sul do megaleque (Nhecolândia). Um sobrevôo de 3h foi

realizado para a aquisição de imagens obliquas e reconhecimento da área, tendo sido sobrevoada a região da Nhecolândia e o curso atual do Taquari.

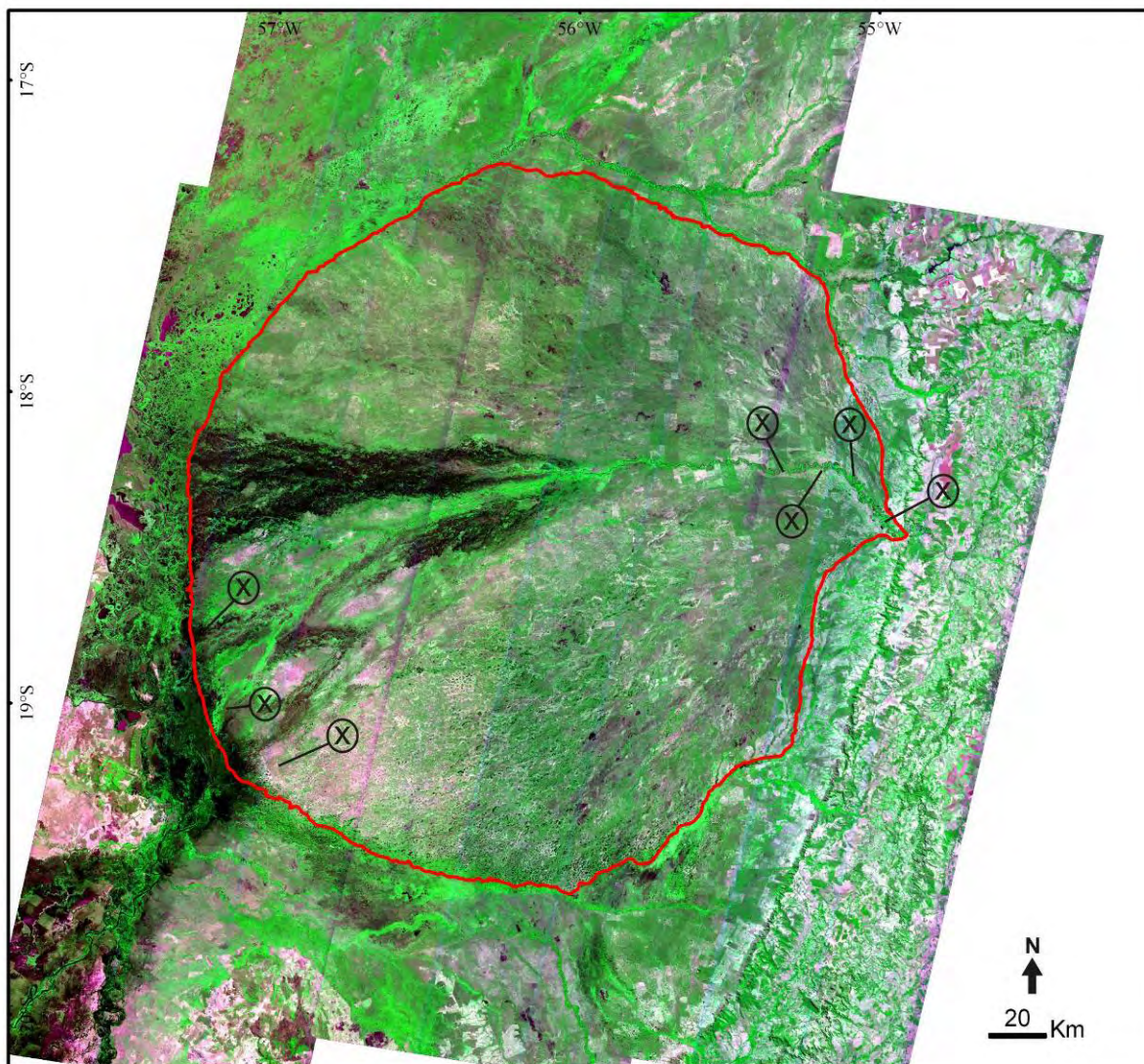


Figura 20. Localização dos pontos visitados em campo sobrepostos ao mosaico CBERS2 R3G4B2.

Tentativas de incursão por terra na porção norte do megaleque foram frustradas pelas péssimas condições das estradas e, principalmente, pelo modelo de veículo inadequado (Figura 21-A,B).

Coordenadas dos pontos de interesse, previamente definidos através dos dados orbitais, foram inseridas em um aparelho GPS e forneceram a precisão necessária para a localização dos locais desejados (Figura 21-C).

A campanha objetivou a tentativa de reconhecimento *in loco* das feições mapeadas e interpretadas através dos dados orbitais. Também foram coletadas amostras de pontos específicos para futuras análises granulométricas e materiais para datação.



Figura 21. Cenas de campo. Péssimas condições das estradas (A e B) inviabilizaram o deslocamento para áreas mais remotas do megaleque. Todas as rotas percorridas e pontos visitados foram registrados e auxiliados por aparelho GPS em um computador portátil (C).

3.5. Comparação com outros megaleques fluviais

Dos artigos consultados e comentados na seção 2.3 foram selecionados cinco exemplos de megaleques para comparação com o Taquari: 1 – Kosi (Índia); 2 – Pilcomayo (Argentina); 3 – Bermejo (Argentina); 4 – Taklimakan (China) e 5 – Okavango (Botsuana). Para os cinco megaleques, foram construídos bancos de dados geográficos independentes contendo dados altimétricos SRTM30” e mosaicos pré-processados Landsat GeoCover 2000. Foram quantificados seis tipos de parâmetros morfométricos para cada megaleque (Tabela 3).

Tabela 3. Parâmetros morfométricos quantificados.

Parâmetro	Fonte	Software
Área do megaleque (Am)	Landsat Geocover	ArcGIS 9.2
Área da bacia de captação (Ab)	SRTM30”	ArcGIS 9.2
Declividade do megaleque (Dm)	SRTM30”	ENVI 4.5
Declividade da bacia (Db)	SRTM30”	ENVI 4.5
Desenvolvimento do perímetro (Dp)	Landsat Geocover	-
Concavidade longitudinal (Cl)	SRTM30”	-

O delineamento das superfícies dos megaleques foi realizado através da interpretação visual dos mosaicos Landsat GeoCover, semelhante ao método utilizado para o Taquari. Rotinas de análise espacial do *software* ArcGIS 9.2 (ESRI, 2006) efetuadas nos dados SRTM30 auxiliaram na extração semi-automática das bacias de captação. Posteriormente estes arquivos foram exportados para o *software* ENVI 4.5 (ITT Visual Solutions, 2008) e convertidos em máscaras para o cálculo médio das declividades.

O parâmetro desenvolvimento de perímetro (Thomaz et al, 2003) consiste na relação entre o perímetro de um polígono (P), neste caso o limite do megaleque, e a circunferência de um círculo com mesma área de P:

$$D_p = P / 2.\pi.r \quad (4)$$

onde: $\pi = 3.14$ e r = raio de uma circunferência com mesma área de P. Este índice é utilizado para mensurar irregularidades nas margens de lagos (e.g. Morais et al., 2005) e quanto mais próximo D_p for de 1, maior a regularidade do contorno. No presente estudo este parâmetro foi utilizado na tentativa de descrever e comparar quantitativamente a geometria de outros megaleques com o Taquari.

As concavidades longitudinais dos megaleques foram comparadas através de um índice definido por [Leopold et al. \(1964\)](#) para perfis longitudinais de rios. Considera-se a razão entre duas alturas: H_a – diferença de altitude entre a parte média do perfil longitudinal com uma linha reta projetada entre o início e fim do perfil e H_b – diferença de altitude entre a parte mais baixa do perfil com o ponto médio da linha projetada. Quanto mais distante de zero, maior o grau de concavidade do perfil. Esta relação é demonstrada através da [Figura 22](#).

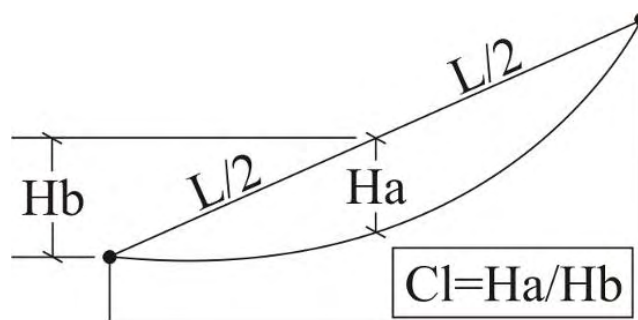


Figura 22. Representação gráfica do método para extração do índice de concavidade longitudinal. Adaptado de [Leopold et al. \(1964\)](#).

Estatísticas descritivas e visualização de distribuições foram realizadas para os parâmetros morfométricos identificados. Variáveis que apresentaram alto erro-padrão na assimetria foram convertidas para escala logarítmica (e.g. [Burrough & McDonnell, 1998](#)). Posteriormente, realizaram-se análises de correlação linear (Pearson) nos atributos morfométricos obtidos para verificar a interdependência dos parâmetros e fundamentar as considerações morfológicas.

4. RESULTADOS

4.1. Produtos derivados de geoprocessamento

Todos os processamentos dos dados orbitais geraram produtos específicos e foram considerados os primeiros resultados deste trabalho. A aplicação do método OIF (Equação 3) para a determinação da composição colorida RGB com maior variabilidade resultou nos seguintes tripletes: ASTER 3R2B1G; CBERS2 CCD 3R4G2B e Landsat TM/ETM+ 7R4G2B. Para os sensores MODIS e Landsat MSS, o método não se mostrou representativo devido ao número restrito de bandas com a resolução desejada. A correção geométrica de georreferenciamento apresentou precisão superior à $\pm 20\text{m}$ para as imagens CBERS2 e $\pm 80\text{m}$ para o sensor MSS. As imagens ASTER foram orientadas 8°w para concordarem com o norte geográfico e apresentaram precisão de $\pm 15\text{m}$ no registro das coordenadas. Os sensores MODIS e Landsat TM/ETM+ foram ajustados ao *datum* geográfico WGS84.

O mosaico do megaleque foi gerado com as imagens CBERS2, que juntamente com o ASTER, foram os únicos dados multiespectrais de alta resolução obtidos para toda a área. A operação de mosaico com as imagens ASTER não foi possível devido a restrições de *hardware*, sendo que seriam necessários 6GB de memória computacional para a realização deste procedimento. No entanto, estas cenas foram exportadas individualmente e agrupadas no SIG, onde foram analisadas com as mesmas técnicas aplicadas ao mosaico. A construção deste banco de dados georreferenciados com os mosaicos digitais constituiu a base para a identificação do sistema de paleocanais e drenagem atual do Taquari.

No total foram mapeados 37.457 km de drenagem, sendo destes 33.205 km paleocanais distributários e 2.626 km canais tributários atuais (Figura 23). A diferença de reflectância de alguns canais distributários, devido à maior carga de sedimentos em suspensão, permitiu a distinção de 813 km de drenagem distributária atual dos canais distributários abandonados (Figura 24).

Figura 23. Paleocanais e drenagem atual mapeada através do conjunto de imagens multiespectrais.

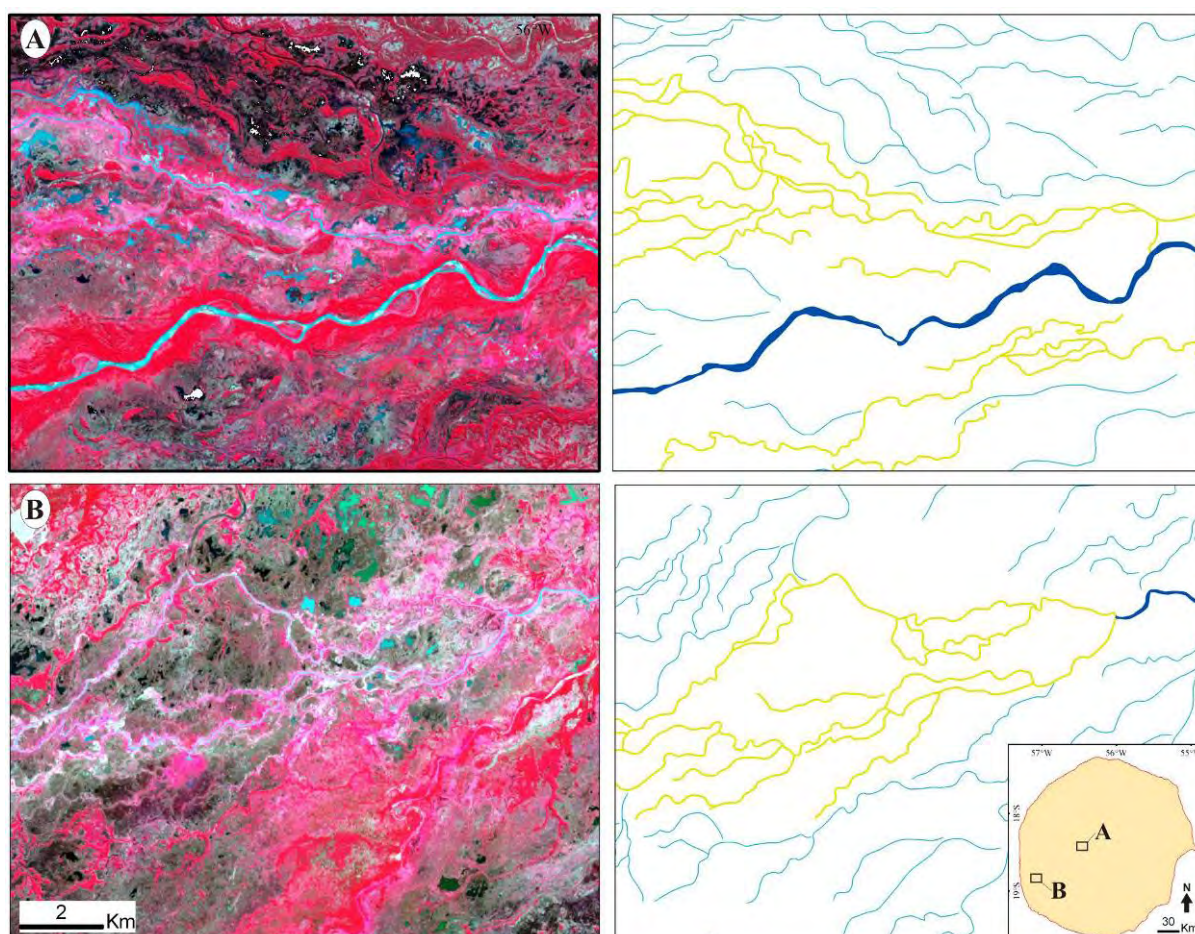


Figura 24. Canais distributários atuais (amarelo) identificados através da diferença de refletância (A: Imagem ASTER R3G2B1 – 02/07/2005 e B: Imagem ASTER R3G2B1 – 28/07/2006).

Os vetores de drenagem foram analisados para diferentes células (25km x 25km), fornecendo informações sobre as direções preferências de paleofluxo (Figura 25) e densidade espacial das feições (Figura 26).

Procedimentos dos dados SRTM geraram três produtos interdependentes: 1) modelo digital de elevação corrigido, com resolução espacial reamostrada para 30m; 2) superfícies de tendência topográfica e 3) modelo digital dos resíduos altimétricos do megaleque.

O modelo digital de elevação, obtido através da análise geoestatística realizada individualmente nos 10 quadros de dados SRTM (100km x 100km), apontou o arquétipo teórico gaussiano como representação ideal da semivariância dados topográficos da planície. Na Figura 27 estão representados todos os semivariogramas experimentais obtidos e os pesos ótimos utilizados para a *krigagem* ordinária dos quadros SRTM utilizados.

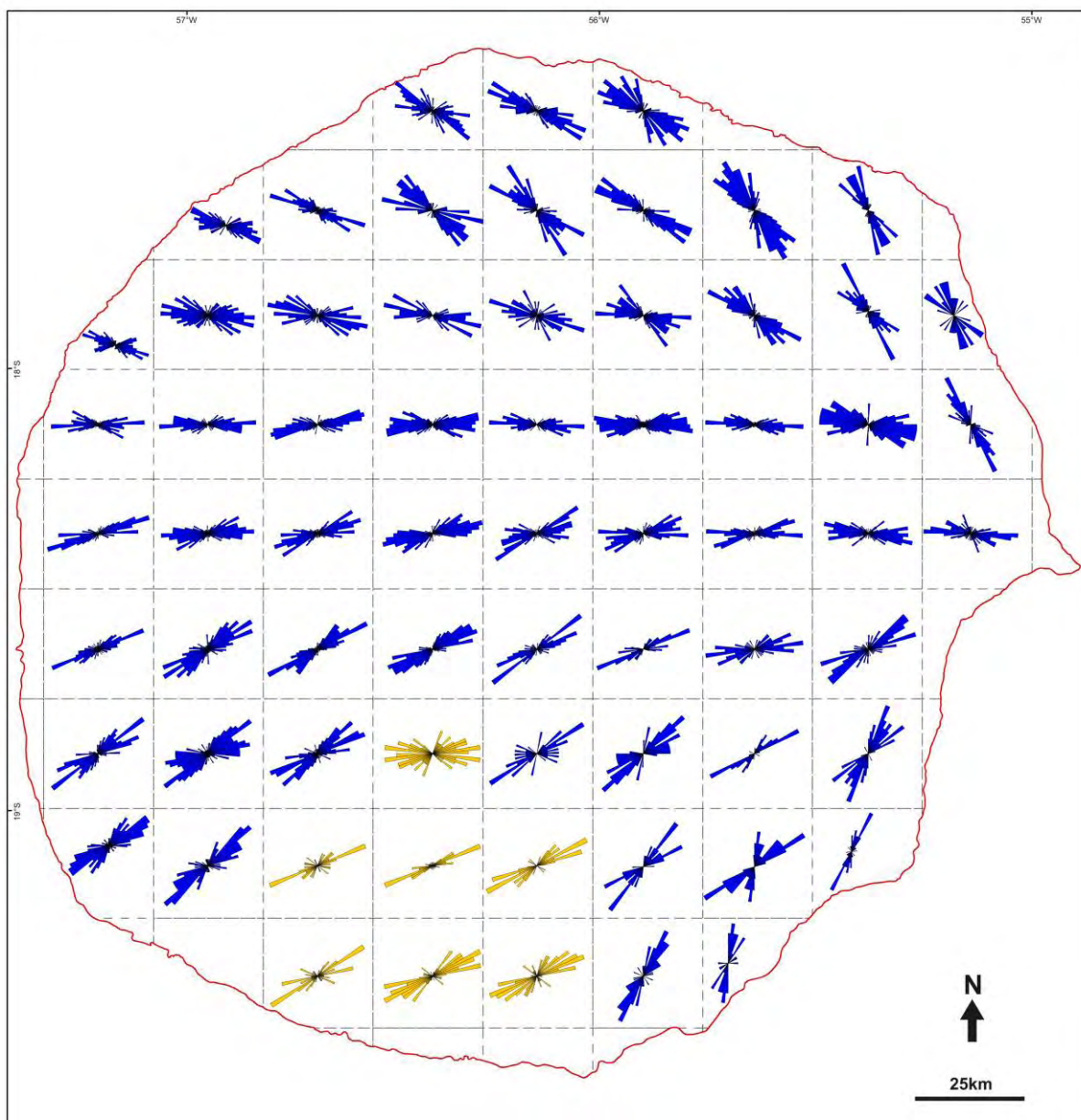


Figura 25. Diagramas de rosa com as direções de paleofluxo. Os gráficos amarelos representam os eixos de maior comprimento dos lagos da Nhecolândia. A quadrícula sobreposta indica a articulação 1:50.000 do IBGE.

O tempo médio para a interpolação de cada quadro foi de 2 horas e 30 minutos, demandando um total de 25 horas para o processamento dos 10 quadros. A dimensão computacional destes dados, posterior ao procedimento de *krigagem* ordinária, foi de ~1GB.

Para o controle de qualidade dos novos dados de altitude (SRTM30m), otimizados através de análise geoestatística, foram efetuados experimentos de correlação linear e concluídos gráficos de dispersão com os dados originais (SRTM90m). Para tal, o plano de informação SRTM30m foi reajustado para as mesmas dimensões de SRTM90m. Conforme pode ser observado na [Figura 28](#), os gráficos de dispersão apresentaram fortes correlações positivas e pequenas dispersões isoladas, o que indica consistência do método utilizado.

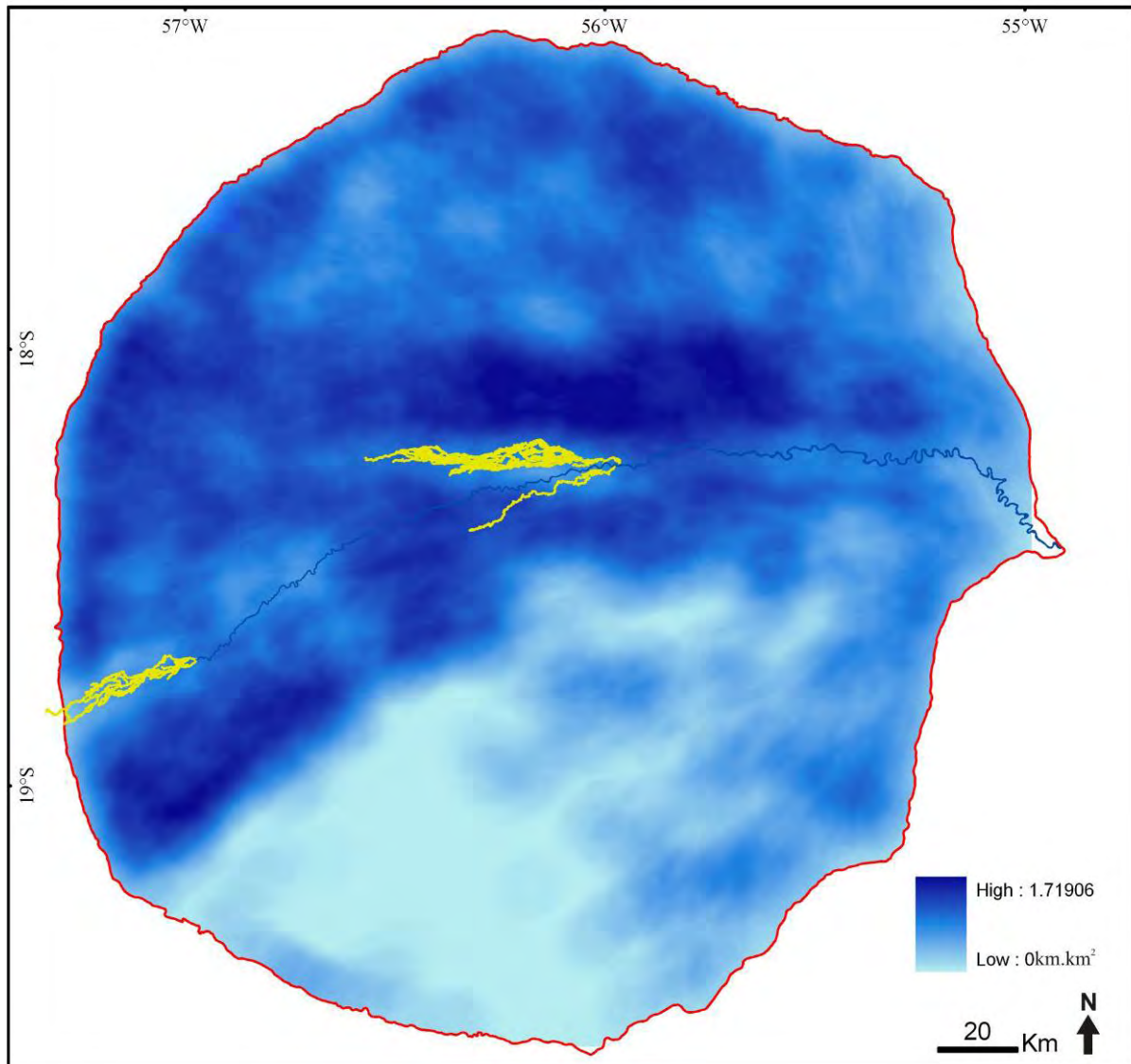


Figura 26. Densidade espacial dos vetores que representam os paleocanais. Estão sobrepostos, em amarelo, os canais distributários atuais

No âmbito visual (qualitativo), os dados SRTM corrigidos demonstraram manter a coerência da morfologia superficial e foram capazes de diminuir valores altimétricos extremos, conferindo um aspecto suavizado ao modelo digital de elevação (Figura 29). Este procedimento de correção também atenuou a influência altimétrica de elementos indesejados, como uso do solo e porções isoladas de vegetação de grande porte, sendo indispensável para as análises espaciais seguintes.

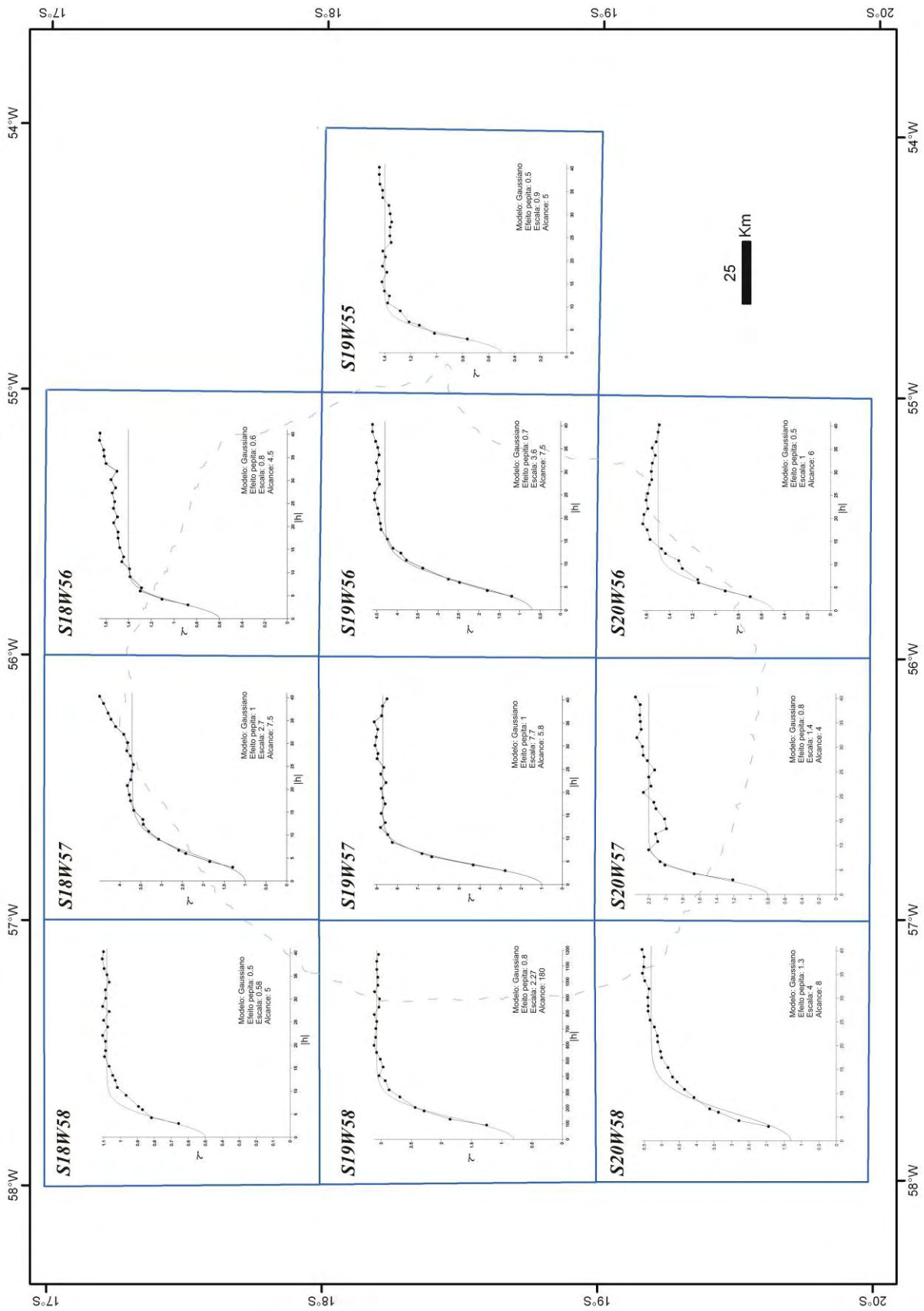


Figura 27. Semivariogramas experimentais modelados dos quadros SRTM interpolados.

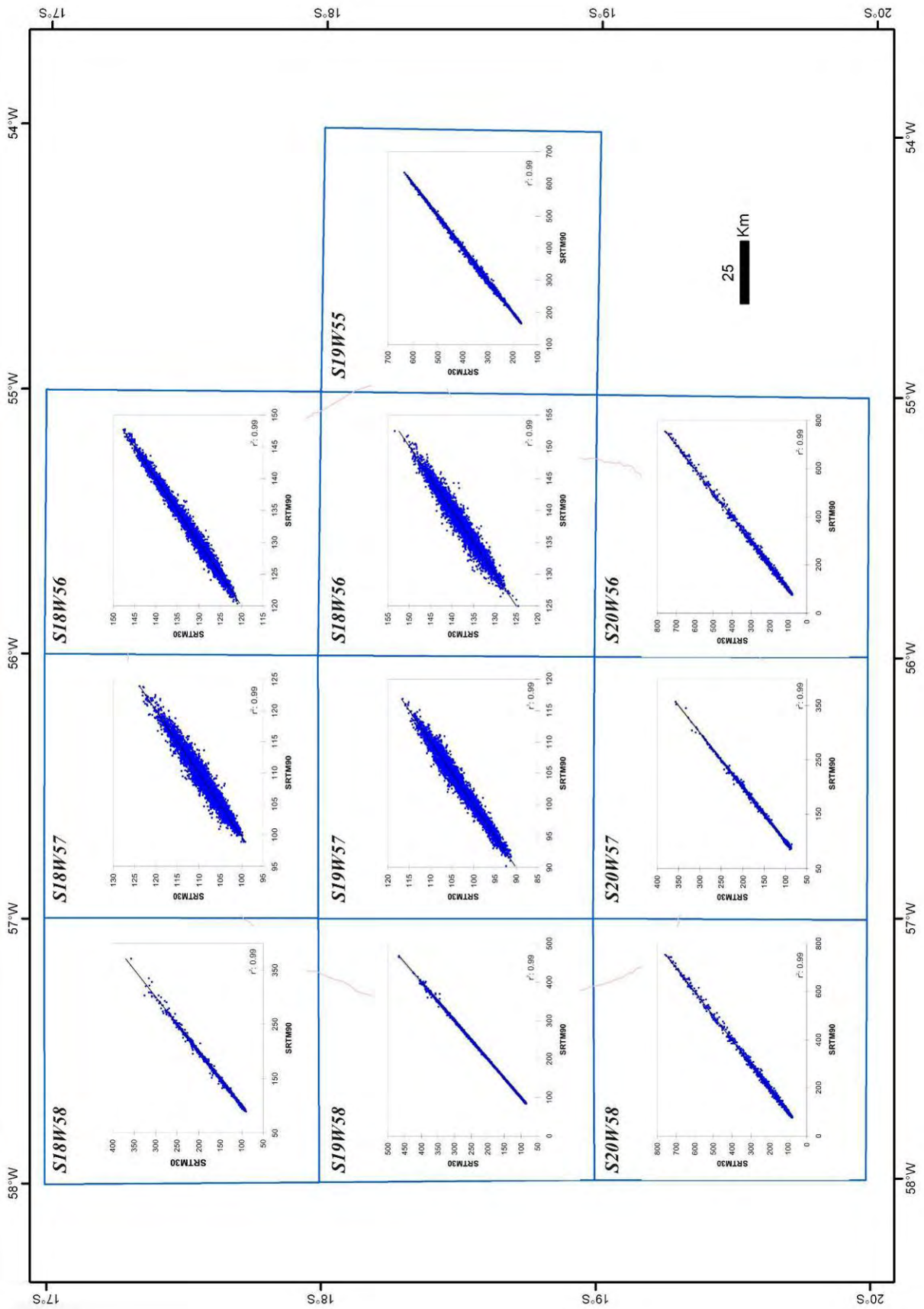


Figura 28. Dispersão dos dados SRTM originais (SRTM90) com os dados interpolados (SRTM30).

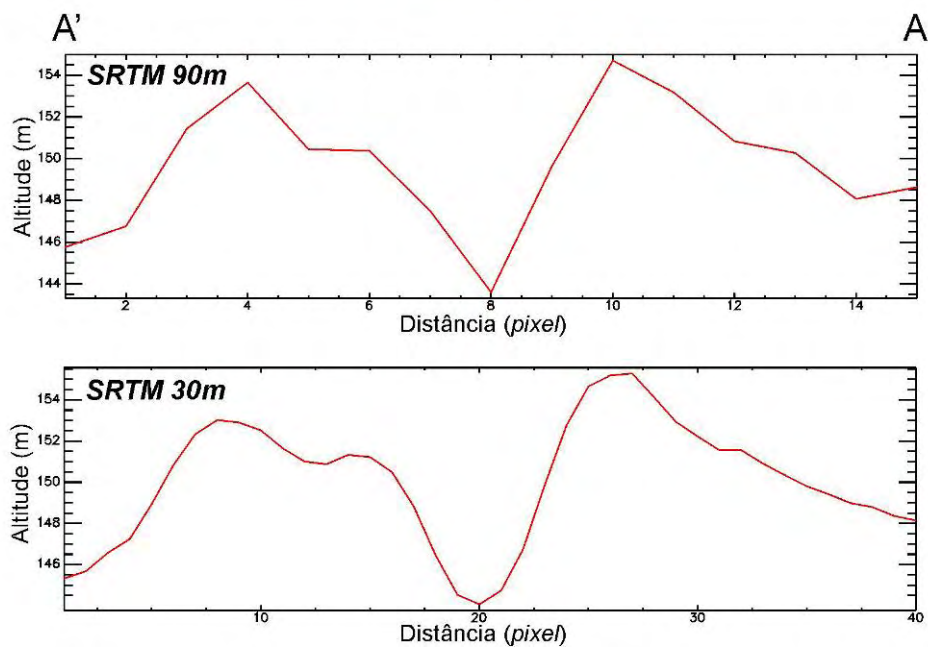
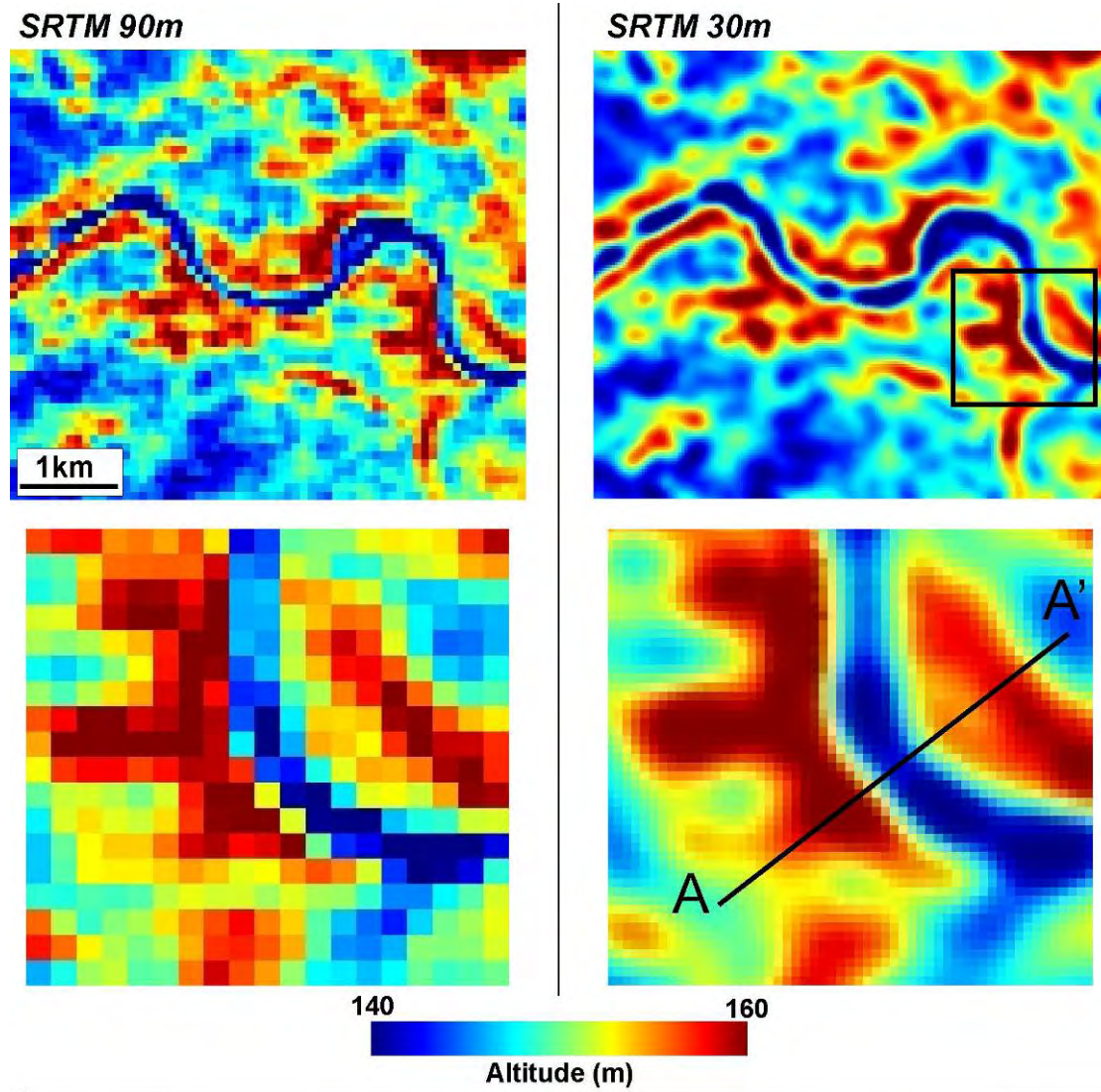


Figura 29. Comparação visual entre os dados SRTM90m (original) com MDE SRTM30m (corrigido).

O cálculo das superfícies de tendência dos dados SRTM corrigidos resultou em modelos simplificados da superfície topográfica do megaleque e forneceu a base digital para a quantificação e espacialização dos resíduos topográficos.

A Equação 1 foi empregada nos dados SRTM30m para a construção de superfícies de tendência do 1º, 2º, 3º e 4º graus (Figura 30). Os testes paramétricos (F-Fisher e χ^2 de Bartlett), utilizados na comparação das variâncias das superfícies simplificadas com os dados corrigidos, apontaram que uma superfície cúbica possui a complexidade espacial mínima para representar a tendência topográfica do megaleque (Tabela 4).

Tabela 4. Resultado dos testes de variância, com 5% de significância.

Grau da superfície	Ajuste dos dados (r)	F crítico	F observado	χ^2 crítico	χ^2 observado	Hipótese aceita*
1º	0.91	1.018	1.082	3.841	75.376	Ha
2º	0.97	1.018	1.049	3.841	27.960	Ha
3º	0.98	1.018	0.996	3.841	0.161	H0
4º	0.98	1.018	0.992	3.841	0.847	H0

* H0: os valores de tendência computados possuem baixa variância em relação aos dados originais

Ha: os valores de tendência computados diferem dos dados originais

Portanto, conforme indica os resultados da Tabela 4, utilizou-se uma superfície de tendência do 3º grau na extração dos resíduos topográficos. Por isso, foi subtraída da grade altimétrica original (Equação 2), resultando em MDE com maior frequência e contraste altimétrico em relação aos dados SRTM originais (Figura 31), o que constituiu a base para a identificação das formas deposicionais. Na prática, o processamento realizado alterou o *datum* global, geóide WGS84 (padrão SRTM), para uma superfície cúbica calculada pela Equação 1.

Como mostra o histograma, a distribuição está próxima do modelo normal (ou *gaussiano*), com 50% das alturas concentradas entre -2.0 e 1.7m. O gráfico de distribuição também aponta alta curtose dos resíduos com mediana de -0.1m e 0m de média das alturas.

Finalmente, o último produto de geoprocessamento obtido foi o próprio banco de dados (Figura 32). Com base no padrão organizacional proposto por Burrough & McDonnell (1998), os planos de informações e os dados utilizados nesta pesquisa resultaram no seguinte agrupamento: *raster* (dados orbitais) e vetorial (pontos de campo e interpretação dos dados orbitais) (Figura 33). Como não foram manipulados dados distribuídos em grades irregulares, o modelo TIN não foi utilizado. O SIG atingiu um tamanho computacional de 6.2GB, sendo que grande parte deveu-se à alocação dos dados do tipo *raster* (~6.1GB).

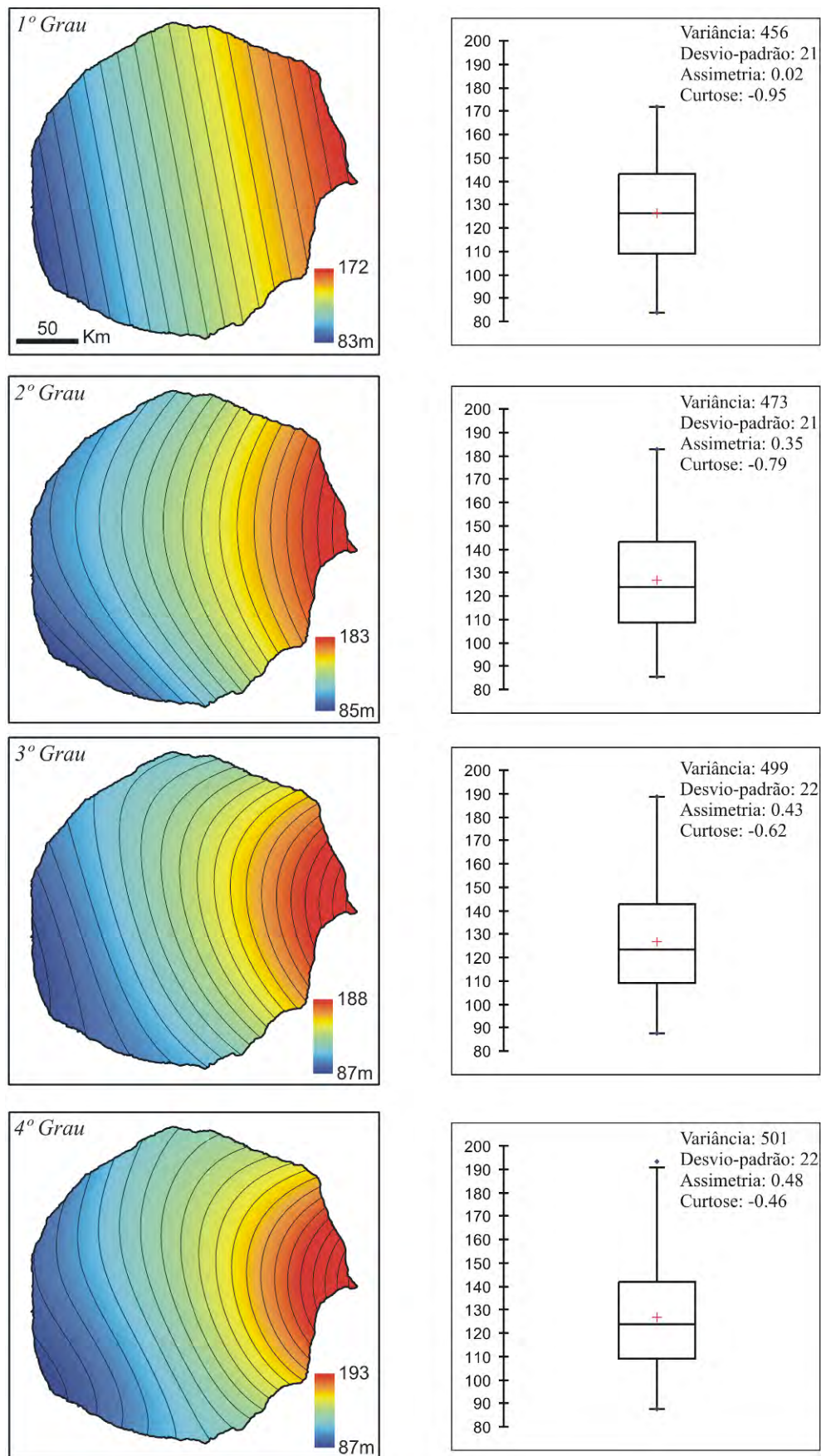


Figura 30. Superfícies de tendência topográfica do Taquari e estatísticas descritivas.

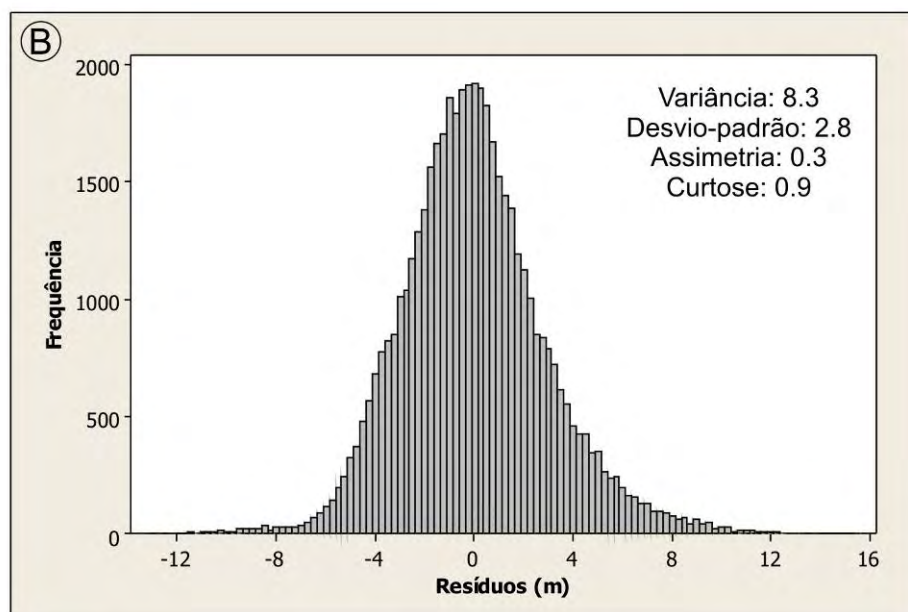
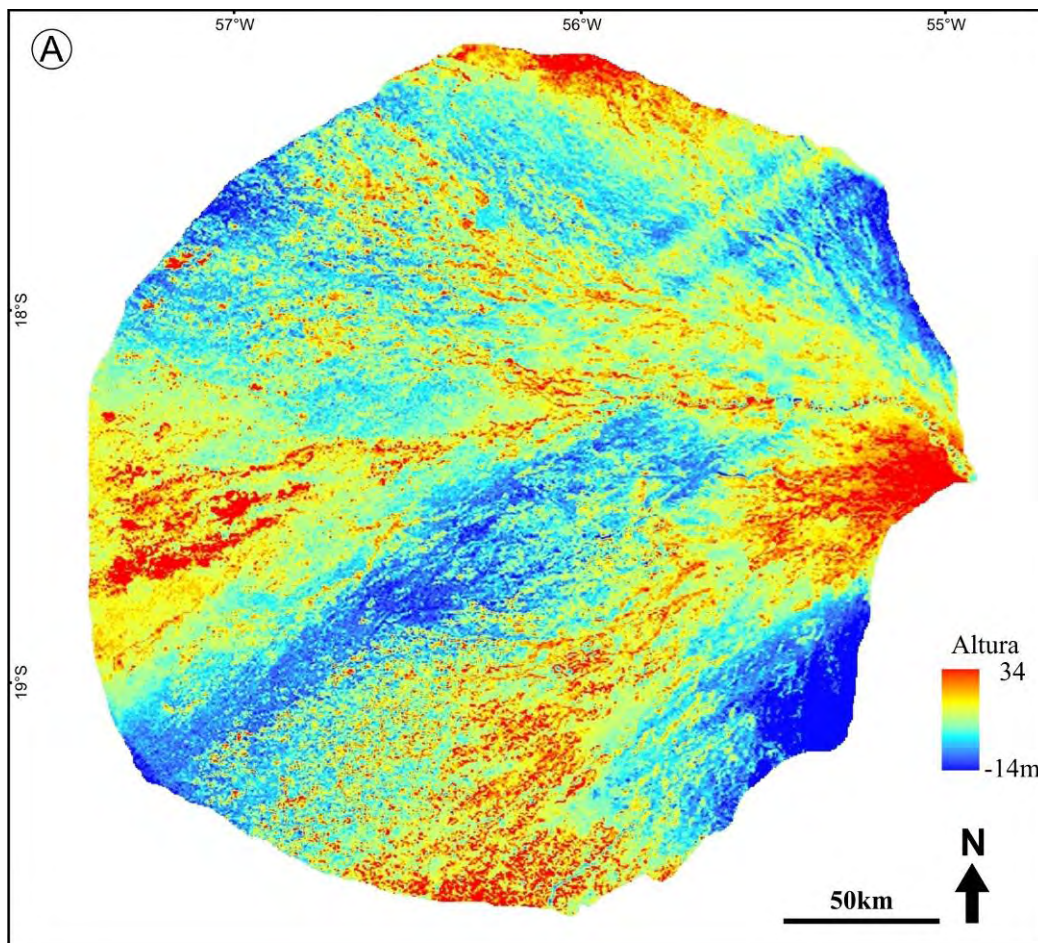


Figura 31. Resíduos derivados da superfície de tendência do 3° do megaleque (A), com o histograma de suas alturas (B).

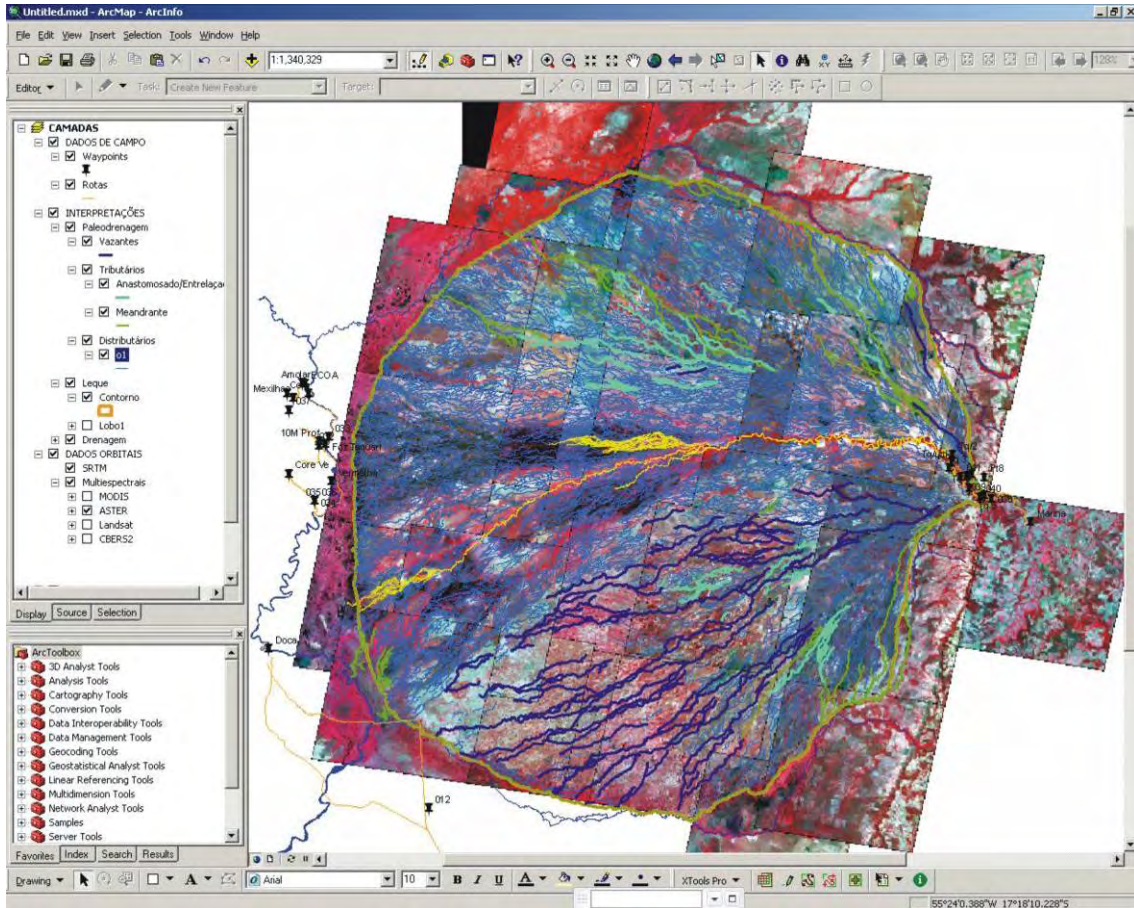


Figura 32. Tela do SIG construído para o megaleque do Taquari demonstra a aparência do banco de dados.

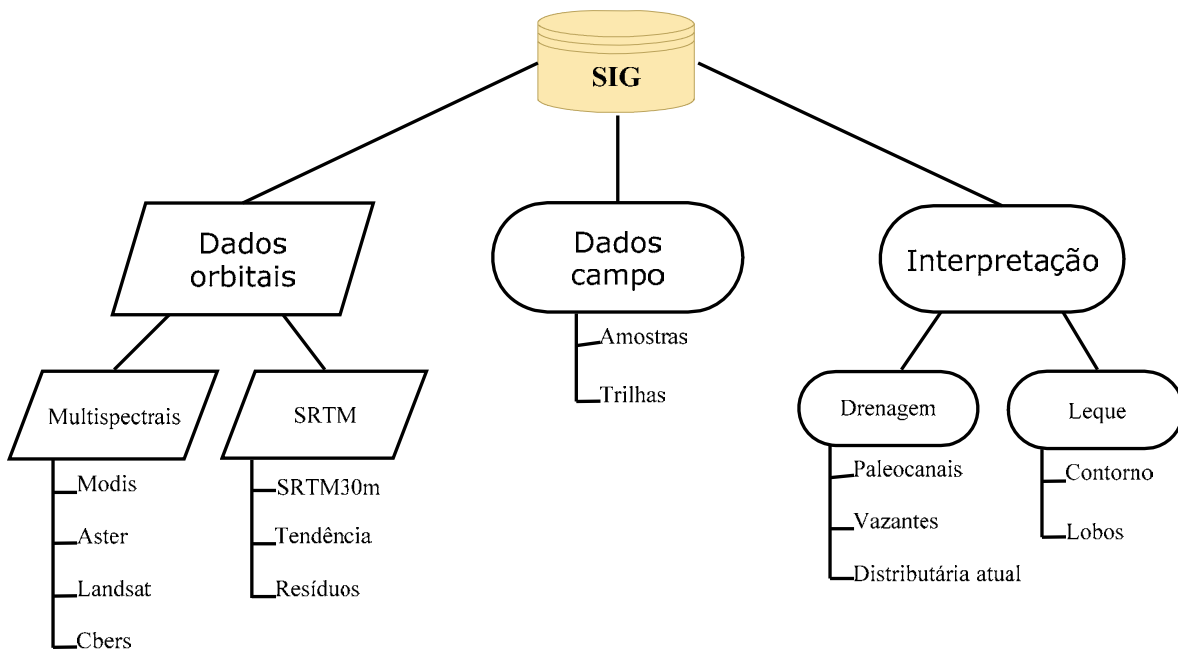


Figura 33. Arquitetura do banco de dados construído.

4.2. Cronologia relativa e lobos deposicionais identificados

A análise da rede de drenagem mapeada e de seus produtos derivados resultou em uma divisão hipotética da cronologia dos lobos deposicionais que compõe o megaleque do Taquari. Esta compartimentação é resultado da aplicação de conceitos de sobreposição e truncamento de paleocanais (Assine, 2003) e de modelos qualitativos de construção e abandono de lobos deposicionais (Denny, 1967; Bull, 1977; Schumm, 1977; Rachocki, 1981). Seis lobos deposicionais foram identificados sendo um lobo distributário atual (lobo 1) e cinco lobos abandonados (lobos 2 a 6), que se encontram delineados na Figura 34.

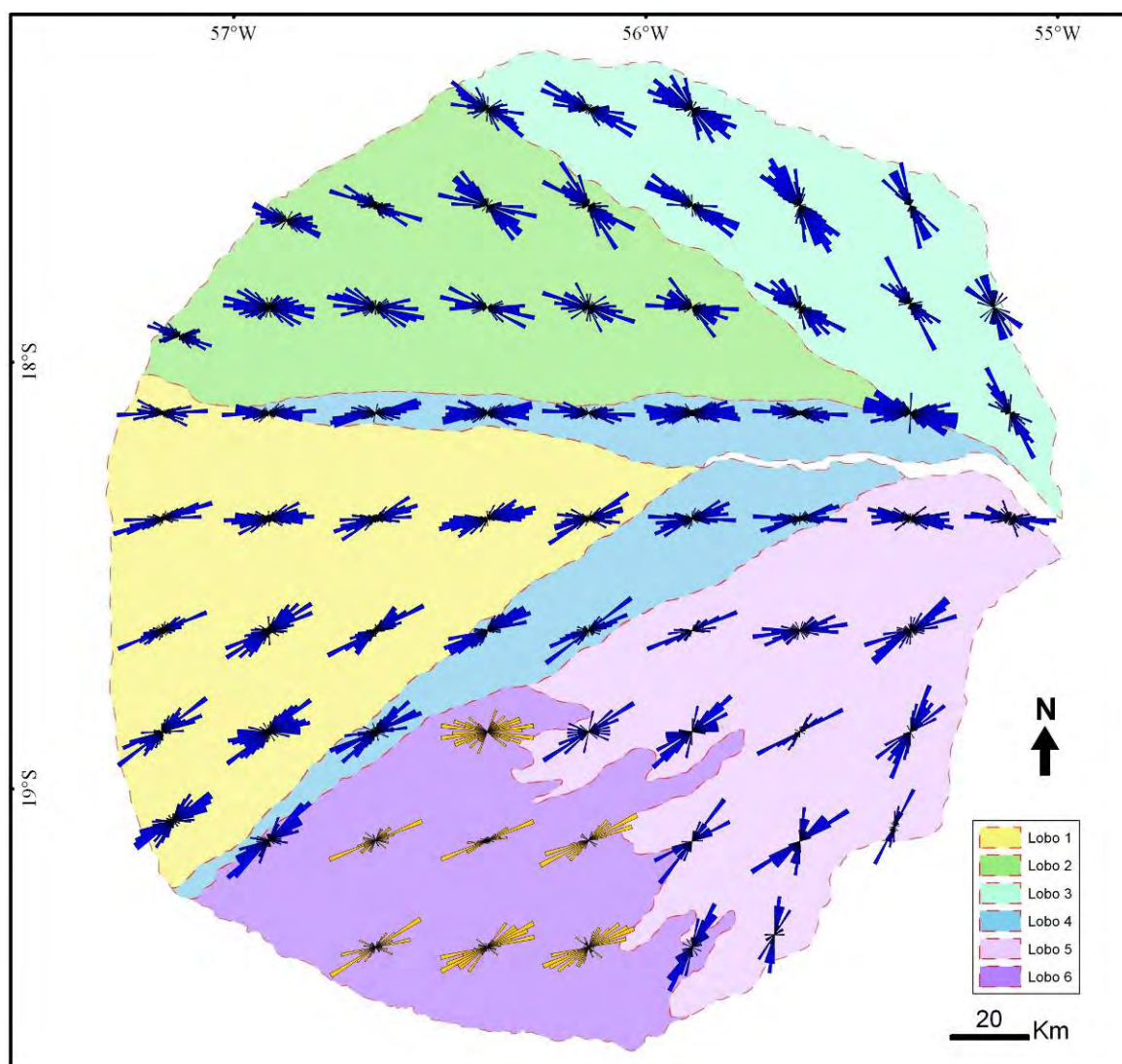


Figura 34. Cronologia relativa dos lobos deposicionais. 1 – lobo atual, 2 a 6 – lobos abandonados.

No lobo atual foram identificados diversos elementos morfológicos, destacando-se um canal principal de baixa sinuosidade com diques marginais, que se sobressaem até 5m em relação ao seu entorno (Figura 35). Neste compartimento, também se destacam a presença de lóbulos lineares arenosos e antigos complexos de avulsão, que devido a sucessivos processos de agradação sedimentar, igualmente se encontram topograficamente mais elevados que a planície (Figura 35).

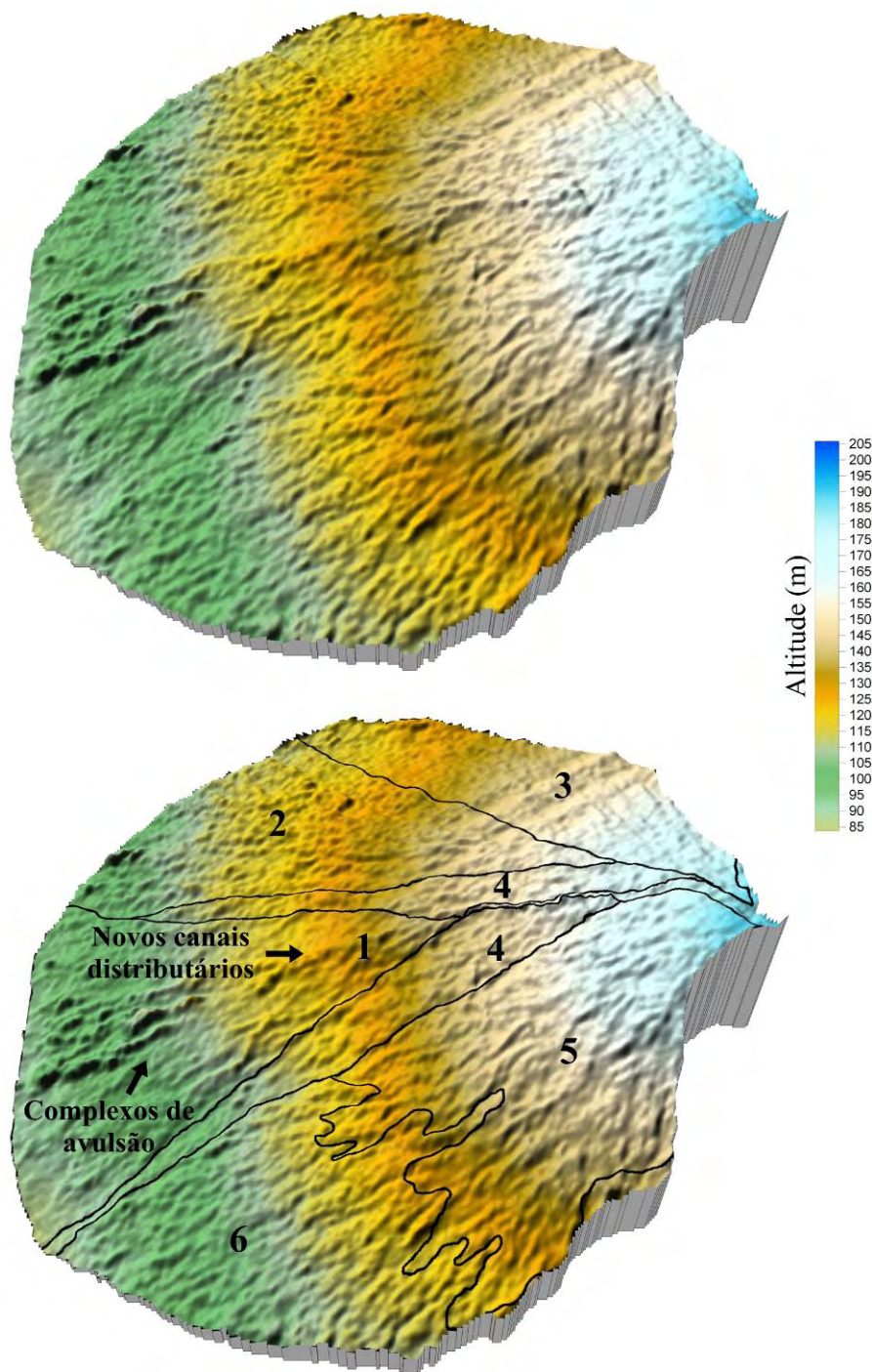


Figura 35. Divisão dos lobos plotada sobre o MDE. 1 – lobo atual, 2 a 6 – lobos abandonados.

Os lobos 2 e 3 apresentam muitas semelhanças morfológicas em relação ao lobo atual. Feições lineares altimetricamente superiores que seu entorno foram identificadas e associadas à feições relictas semelhantes aos atuais diques marginais do rio Taquari, possivelmente originadas a partir dos mesmos processos de agração sedimentar que estão ocorrendo no baixo curso atual. Os padrões dos canais distributários destes lobos, principalmente no lobo 2, são semelhantes aos atuais: meandros de alta sinuosidade. No entanto, possuem paleofluxo com direção preferencial para NW.

O lobo 4 encontra-se quase que totalmente superposto pelo lobo atual. Possui seu ápice na área do cinturão de meandros atual do Taquari e padrões lineares observados na rede de drenagem deste lobo indicam um controle tectônico sob a rede de drenagem e no limite sudeste do lobo. No compartimento dominado pelo lobo 5, complexa paisagem com distintas feições geomorfológicas se encontram lado a lado, muitas vezes superpostas. Também identificou-se a presença de uma rede de drenagem tributária mais desenvolvida, em relação ao observado nos demais lobos.

O lobo 6 é o compartimento que melhor preserva geoformas relictas. Sua morfologia é marcada por milhares de lagoas, muitas das quais de água salobra/salgada (*salinas*), que são bordejadas por elevações de depósitos arenosos com até 5m de altura, cobertos com vegetação arbórea de grande porte (localmente denominadas *cordilheiras*). Superimpostos à paisagem das lagoas existem canais largos e rasos, que drenam as águas durante as cheias, localmente conhecidos como *vazantes*. Discussões e hipóteses que explicam a dinâmica de construção e abandono destes lobos deposicionais serão realizadas no próximo capítulo.

Paralelamente às aplicações voltadas aos vetores de drenagem, utilizou-se o MDE dos resíduos para a extração de formas deposicionais. Após seu processamento e integração ao banco de dados, conforme descrito nos métodos, este foi fatiado em três classes de altura: A) -15 a -1m para as superfícies abaixo da tendência do megaleque; B) -1 a 2m para as superfícies concordantes com a tendência e C) 2 a 32m para as superfícies com alturas superiores à tendência geral (Figura 36-A). No total foram identificadas dez formas deposicionais com geometria lobada, sendo cinco localizadas no lobo de sedimentação atual do Taquari e cinco nos lobos abandonados (Figura 36-B).

Os elementos morfológicos interpretados através dos resíduos também podem ser considerados como lobos deposicionais e encontram-se sob o domínio da compartimentação realizada sobre os paleocanais.

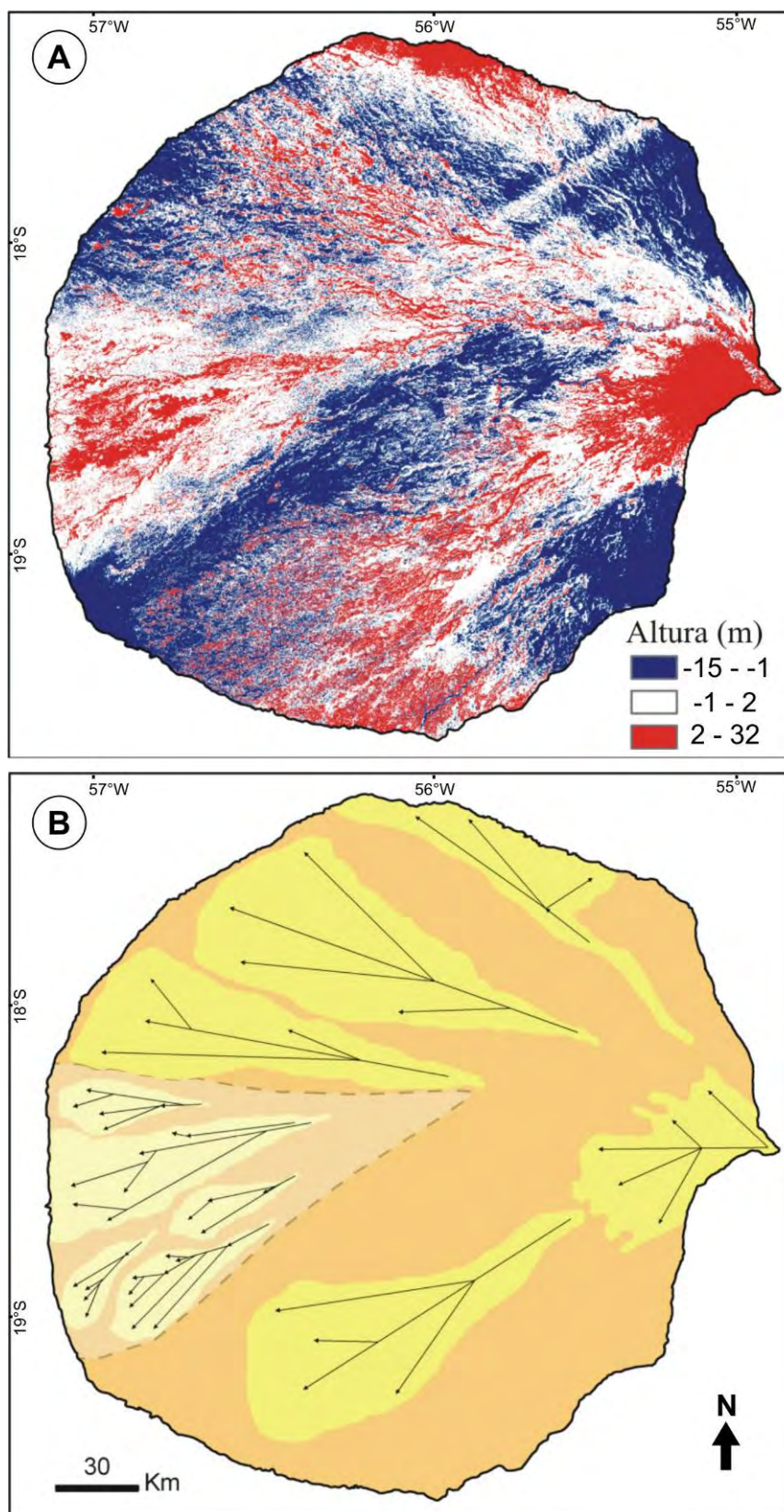


Figura 36. Formas deposicionais identificadas através dos resíduos. (A) MDE fatiado em 3 classes de altura; (B) lobos deposicionais recentes (amarelo claro) e lobos abandonados (amarelo escuro).

4.3. Comparação morfométrica entre megaleques

Dentre os artigos utilizados nesta análise (Gohaim & Parkash, 1990; Stanistreet & McCarthy, 1993; Li & Yang, 1998; Horton & DeCelles, 2001), constatou-se que alguns apresentam figuras e esboços de mapas sobre a extensão dos megaleques e compartimentação da bacia de captação tributária. No entanto, como estes produtos são secundários para os artigos em questão, os autores não especificaram os métodos que foram utilizados no mapeamento e interpretação. Portanto, todos os megaleques escolhidos para a comparação foram novamente delineados para as análises morfométricas (Figura 37).

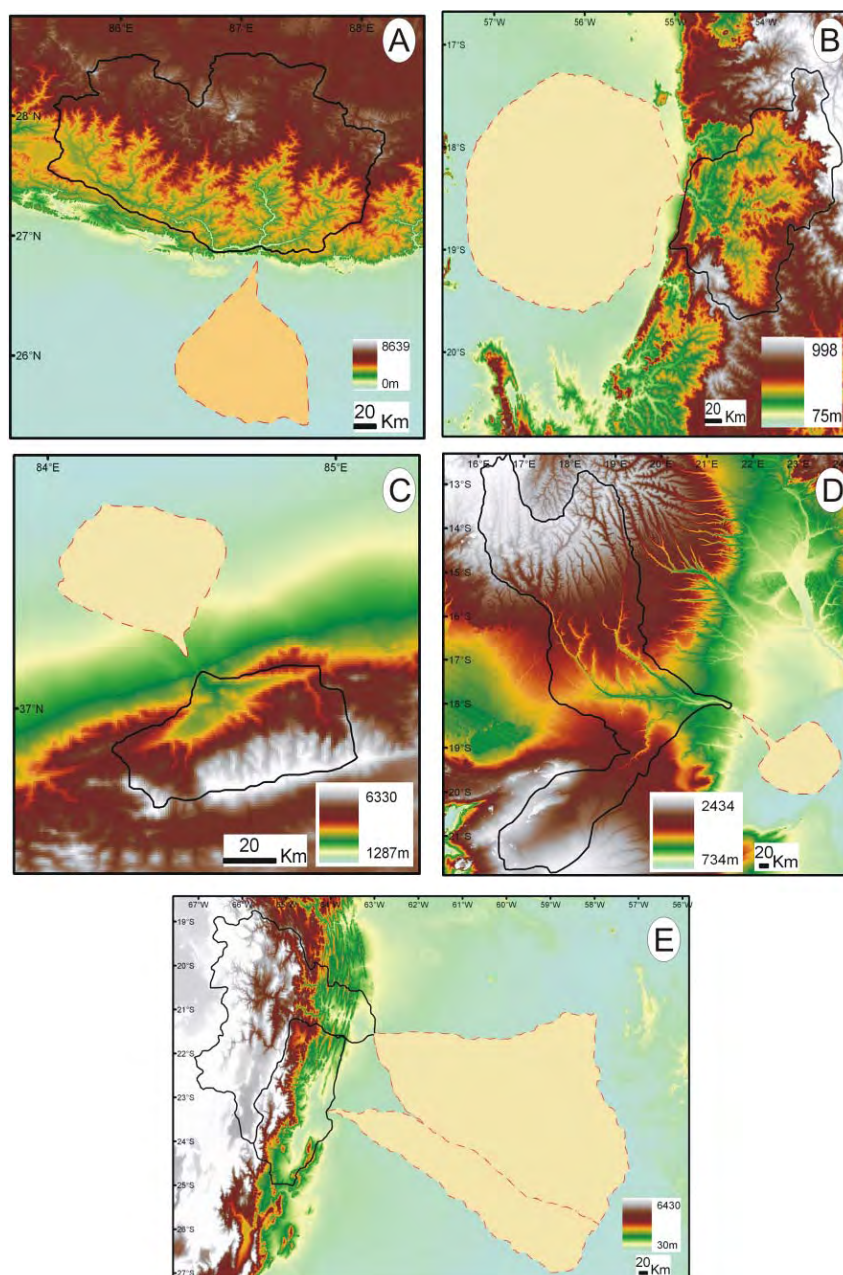


Figura 37. Megaleques e bacias de captação. A – Kosi; B- Taquari; C – Taklimakan; D – Okavango e E – Pilcomayo (norte) e Bermejo (sul).

Conforme demonstrado na seção de material e métodos, utilizou-se seis parâmetros para comparar os megaleques: área superficial do megaleque (*Am*); área da bacia de captação (*Ab*); declividade média do megaleque (*Dm*); declividade média da bacia tributária de captação (*Db*); desenvolvimento do perímetro do megaleque (*Dp*) e concavidade do perfil longitudinal (*Cl*). Foram obtidas as seguintes variáveis para os seis megaleques escolhidos (Tabela 5):

Tabela 5. Variáveis morfométricas dos megaleques comparados.

	Am (km ²)	Ab (km ²)	Dm (grau)	Db (grau)	Dp *	Cl *
Kosi	10012.14	35607.45	0.56	26.89	1.13	0.15
Taquari	49143.23	28703.56	0.04	1.19	1.03	0.07
Pilcomayo	183282.46	106805.09	0.06	5.15	1.22	0.20
Bermejo	70995.95	54506.46	0.06	5.81	1.69	0.12
Taklimakan	1811.94	2401.38	1.23	11.02	1.11	0.02
Okavango	25128.79	172769.39	0.03	0.65	1.31	0

* adimensional

Estatísticas descritivas apontaram considerável grau de assimetria nas variáveis obtidas (Tabela 6). Portanto, para proceder às análises seguintes, os atributos foram convertidos para escala logarítmica, exceto a variável *Cl* (e.g. Scally & Owens, 2004; Burroughs & McDonnell, 1998). Após a transformação das variáveis morfométricas para escala logarítmica verificou-se as relações dos dados através de uma matriz de proximidade de correlação Pearson (Tabela 7).

Tabela 6. Estatística descritiva das variáveis morfométricas.

	Am (km ²)	Ab (km ²)	Dm (grau)	Db (grau)	Dp *	Cl *
Mediana	37136.01	45056.96	0.06	5.48	1.18	0.10
Média	56729.09	66798.89	0.33	8.45	1.25	0.09
Erro padrão média	27370.17	25529.42	0.20	3.99	0.10	0.03
Desvio-padrão (n)	61201.57	57085.53	0.44	8.93	0.22	0.07
Assimetria (Fisher)	1.72	1.10	1.70	1.72	1.62	0.13
Erro padrão assimetria	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85

* adimensional

Tabela 7. Matriz de proximidade entre os dados morfométricos.

	Am *	Ab *	Dm *	Db *	Dp *	Cl **
Am *	-	0.79	-0.84	-0.39	0.38	0.58
Ab *	0.79	-	-0.81	-0.48	0.42	0.32
Dm *	-0.84	-0.81	-	0.81	-0.35	-0.06
Db *	-0.39	-0.48	0.81	-	-0.04	0.50
Dp *	0.38	0.42	-0.35	-0.04	-	0.13
Cl **	0.58	0.32	-0.06	0.50	0.13	-

*escala log10

** adimensional

Conforme exhibe a [Tabela 7](#) fortes correlações lineares, positivas e negativas, foram identificadas entre os atributos mensurados. Considerações específicas serão realizadas na seção de discussão dos resultados.

5. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

5.1. Avaliação dos métodos utilizados

Os resultados alcançados comprovam a significativa contribuição dos dados de sensoriamento remoto e técnicas de análise espacial para o cumprimento dos objetivos propostos. Os benefícios de sua aplicação em Geociências são bem conhecidos (e.g. [Chuvieco, 1990](#); [Novo, 1992](#); [Campbell, 2002](#)). Geotecnologias são ferramentas presentes em inúmeros estudos de ambientes sedimentares modernos (e.g. [Farr & Chadwick, 1996](#); [Guzzetti et al., 1997](#); [Milana, 2000](#); [Al-Juaidi et al., 2003](#); [Volker et al., 2007](#)), especialmente em grandes áreas e de difícil acesso como o Pantanal.

Dos métodos aplicados, o mapeamento da drenagem possibilitou o esboço inicial e arranjo cronológico dos lobos deposicionais. A tarefa do desenho digital dos paleocanais consumiu aproximadamente 1/2 do tempo empregado na preparação dos dados utilizados. Influências antrópicas e áreas inundadas constituíram os maiores obstáculos para o processo de mapeamento ([Figura 38](#)). A sobreposição da grade 1:50.000 do IBGE antecedendo o mapeamento, além de fundamental para a sistematização da tarefa, diminuiu a propensão a se fazer traçado, embora em detalhe, induzido pela continuidade dos paleocanais, preservando assim características locais da paleodrenagem.

A cronologia relativa obtida ([Figura 34](#)) apresenta uma seqüência construcional muito semelhante àquelas observadas em modelos físicos experimentais ([Schumm, 1977](#), [Rachocki, 1981](#)), em observações de campo em sistemas de fluxo gravitacional ([Bull, 1977](#); [Viséras et al., 2003](#)) e em modelos teóricos ([Denny, 1967](#); [Horton & DeCelles, 2001](#)). No entanto, por ser uma aproximação hipotética, amparada apenas pelo arranjo espacial dos paleocanais, sua acurácia pode ser prejudicada pela subjetividade da interpretação. Foi com o objetivo de mitigar a influência de percepção pessoal nos resultados, que se derivaram outros elementos dos vetores traçados.

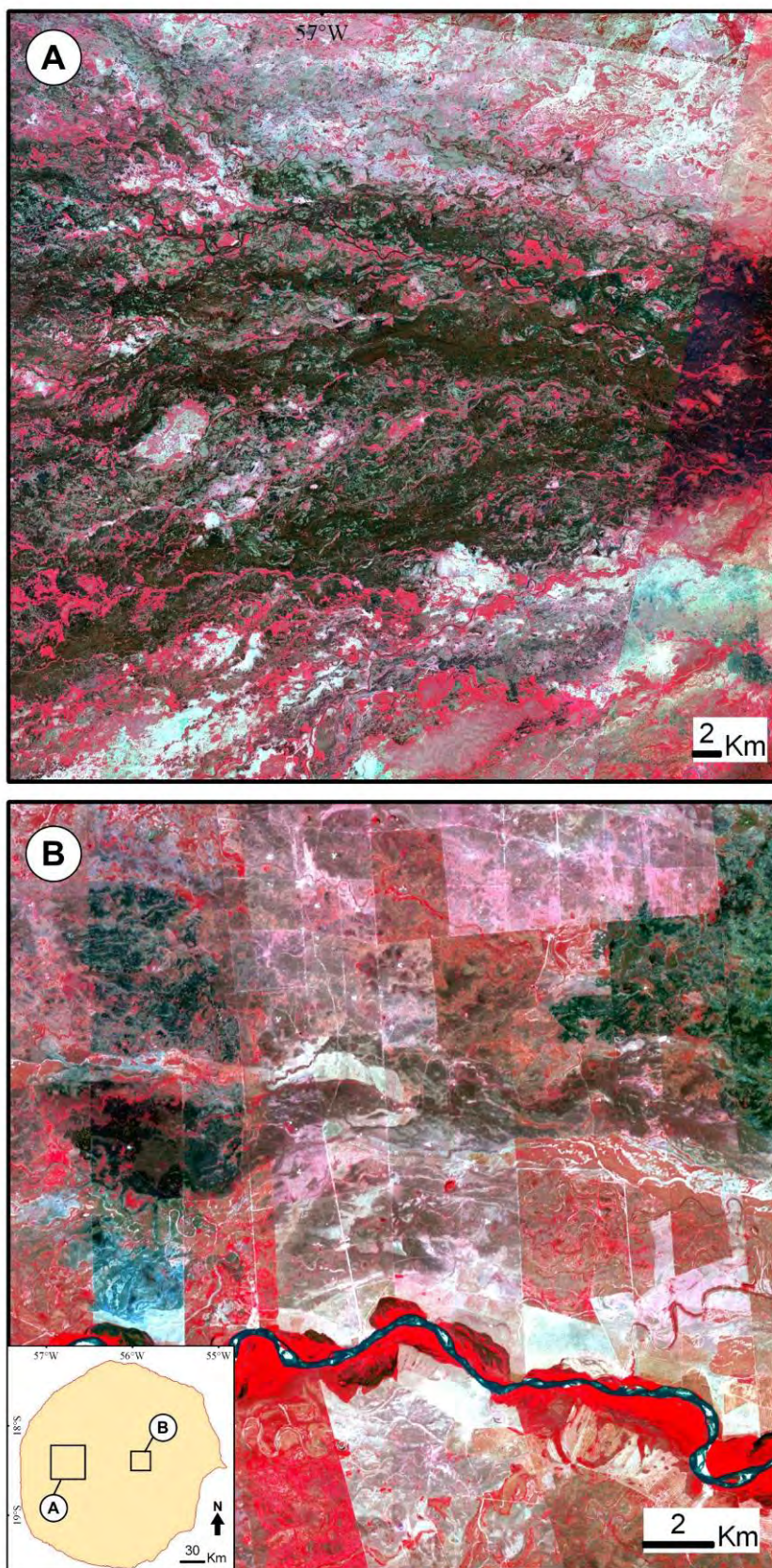


Figura 38. Dificuldades encontradas no mapeamento da paleodrenagem. A: zonas permanentemente inundadas inviabilizam a observação dos paleocanais (imagem ASTER R3G2B1 – 28/07/2006); B: delimitações de propriedades e estradas podem causar equívocos na interpretação (imagem ASTER R3G2B1 – 29/09/2004).

Os diagramas de rosa, que demonstram graficamente os azimutes dos paleocanais, apontaram o mesmo padrão radial da divisão dos lobos deposicionais (Figura 39).

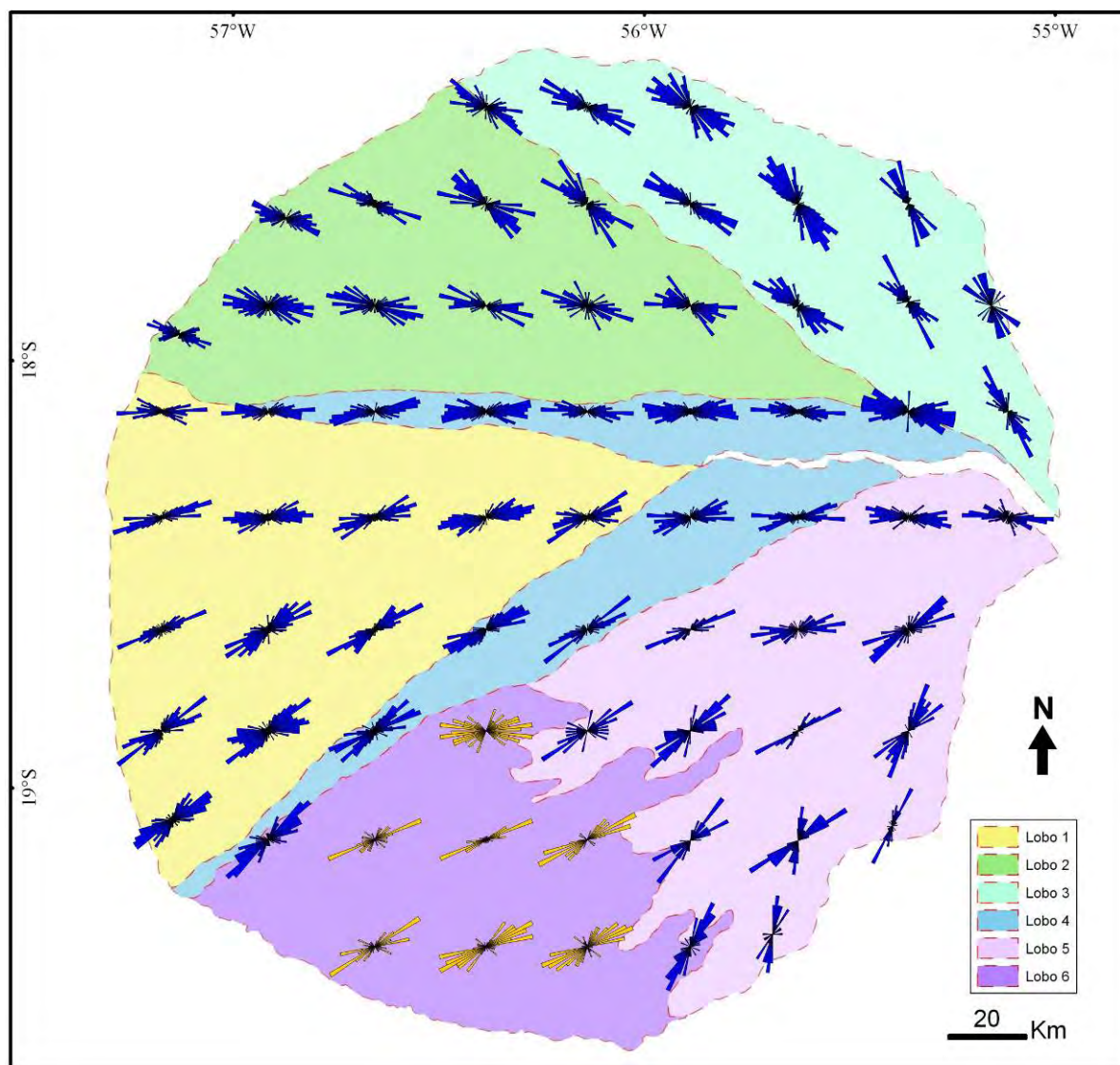


Figura 39. Diagramas de rosa com as orientações da drenagem extraída sobrepostos aos compartimentos dos lobos deposicionais.

No lobo distributário atual, os diagramas de rosa evidenciam a geometria do segmento atual de deposição, identificado por Assine et al. (1997). O contraste de orientações entre as porções norte (lobos 2 e 3) e sul (lobos 5 e 6) suporta a interpretação de que estes compartimentos são produtos de distintos eventos sedimentares. Já as rosetas localizadas sob o lobo 4 mostram um claro padrão de transição, também em coerência com a divisão proposta. Os diagramas amarelos (lobo 6) são os únicos que representam os azimutes dos eixos das lagoas, ao invés de paleocanais. Apesar das lagoas e paleocanais constituírem diferentes feições, suas direções mostraram-se semelhantes.

O mapeamento dos paleocanais revelou regiões com diferentes densidades de drenagem, ressaltadas pelo mapa de densidade espacial dos vetores (Figura 26). O conceito de densidade de drenagem, proposto por Horton (1945), demonstra a razão do comprimento total dos canais (km) dentro da unidade de uma bacia (km^2). No entanto, no presente trabalho foi considerada a unidade de um *pixel*, permitindo deste modo a verificação de possíveis correlações entre densidade de paleocanais com os lobos deposicionais identificados.

Em um sistema de drenagem tributária, a densidade de canais presentes pode demonstrar o grau de dissecação de uma superfície (Knighton, 1998). No sistema distributário do Taquari observou-se que os compartimentos identificados como sendo mais recentes, exceto o lobo 4, apresentaram maiores densidades de paleocanais (Figura 40). Duas hipóteses podem justificar este fato: 1 – nos lobos mais antigos a evidência superficial dos paleocanais se encontra mais deteriorada em relação aos lobos mais recentes; 2 – o aumento progressivo da pluviosidade a montante (e.g. Assine, 2003) está influenciando o acréscimo da densidade de canais distributários nos lobos mais recentes.

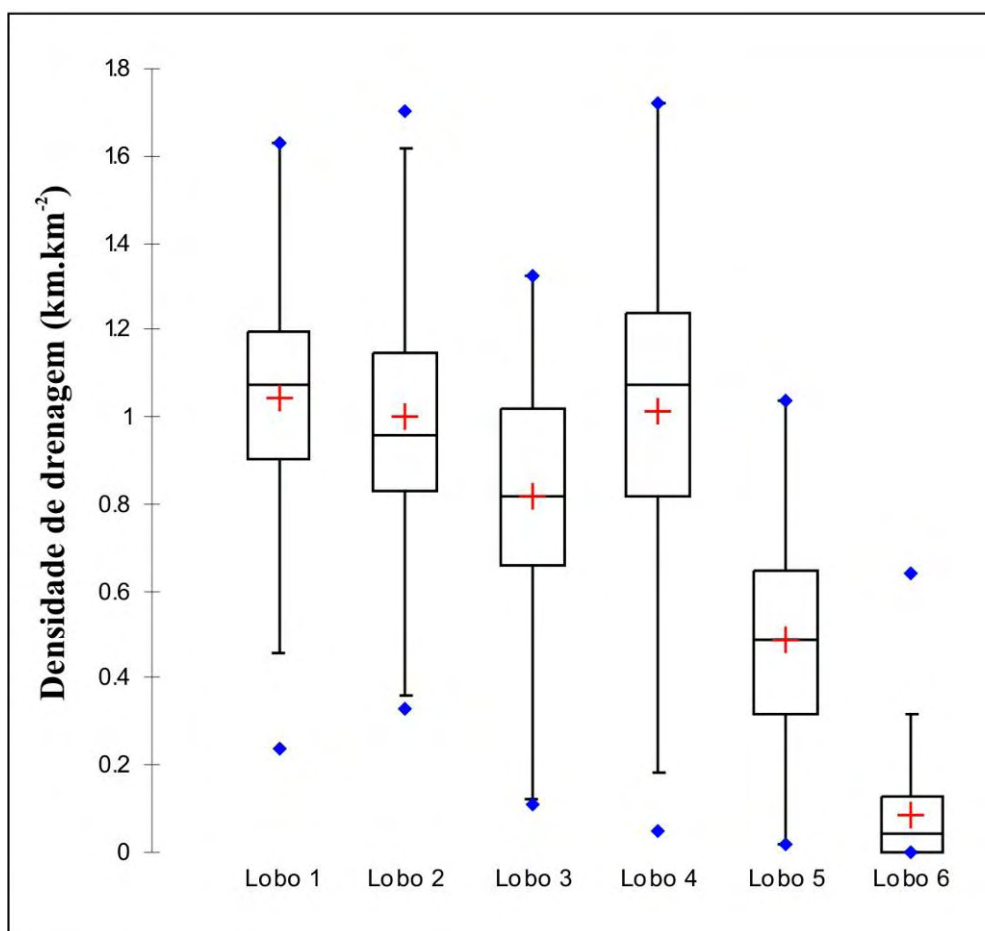


Figura 40. Distribuições dos valores de densidade de drenagem para os lobos delineados.

As baixas declividades de relevo do Pantanal demandaram aplicação de métodos geoestatísticos para atenuar a influência da cobertura vegetal e artefatos nos MDE's gerados. Conforme demonstrado na seção de métodos, utilizou-se a proposta de Valeriano (2004) para a correção e interpolação dos dados. Como pode erroneamente sugerir a Figura 29, este procedimento não introduziu informações altimétricas adicionais para a análise do terreno, ou seja, não aumentou a resolução real do MDE. Segundo Landim (1998), a geoestatística não é uma “metodologia caixa-preta”, pois não fornece dados que precisam ser adicionados. A baixa dispersão dos gráficos da Figura 28 demonstra exatamente isto. Ela apenas estima novos valores altimétricos levando em consideração a variância espacial dos dados e, desta maneira, cria um MDE com aspecto suavizado (devido à maior resolução dos *pixels*), que pode atenuar a influência de elementos indesejados.

O procedimento geoestatístico não excluiu a influência da vegetação nos dados altimétricos. Este resultado não foi totalmente inesperado, pois já se havia notado que a cobertura vegetal apresenta uma distribuição contínua na superfície do megaleque, possivelmente com uma correlação espacial que se ajusta aos modelos teóricos dos variogramas aplicados. A maior potencialidade deste procedimento, portanto, consistiu no ganho qualitativo do MDE corrigido. A interpolação geoestatística dos *pixels* aumenta a representatividade do relevo e melhora consideravelmente a visualização das feições.

As superfícies de tendência representaram em diferentes graus de complexidade o arranjo global da topografia do megaleque do Taquari. A partir da superfície de 2º grau (Figura 30), observa-se que isolinhas altimétricas semicirculares irradiam das altitudes mais elevadas. Este tipo de configuração topográfica é característico de sistemas deposicionais como leques aluviais (Bull, 1977), megaleques fluviais (Geddes, 1960), deltas (Schumm, 1977) e até mesmo leques submarinos (Booth et al., 2003).

Assumiu-se que as distribuições das tendências com os dados originais de altitude do megaleque são semelhantes e próximos de uma configuração normal. Desta maneira, testes paramétricos auxiliaram na escolha da superfície do terceiro grau (cúbica) como a ideal para a extração dos resíduos. A comparação visual entre as isolinhas de altitude com as da superfície de tendência cúbica, também corrobora a escolha do polinômio de grau 3 para a representação da topografia geral (Figura 41). Entretanto, processamentos realizados para a obtenção de resíduos com superfícies de graus maiores apresentaram resultados semelhantes, que em nada mudariam as interpretações exibidas na Figura 36.

Comparações entre os MDE's processados e os dados originais SRTM mostraram que MDE's processados, como os gerados a partir do ajuste à superfície do 3º grau, revelam com

detalhe elementos morfológicos, o que viabilizou a identificação das formas deposicionais no megaleque (Figura 42). Os histogramas apontam que o MDE processado possui maior contraste e menor variabilidade altimétrica em relação aos dados SRTM.

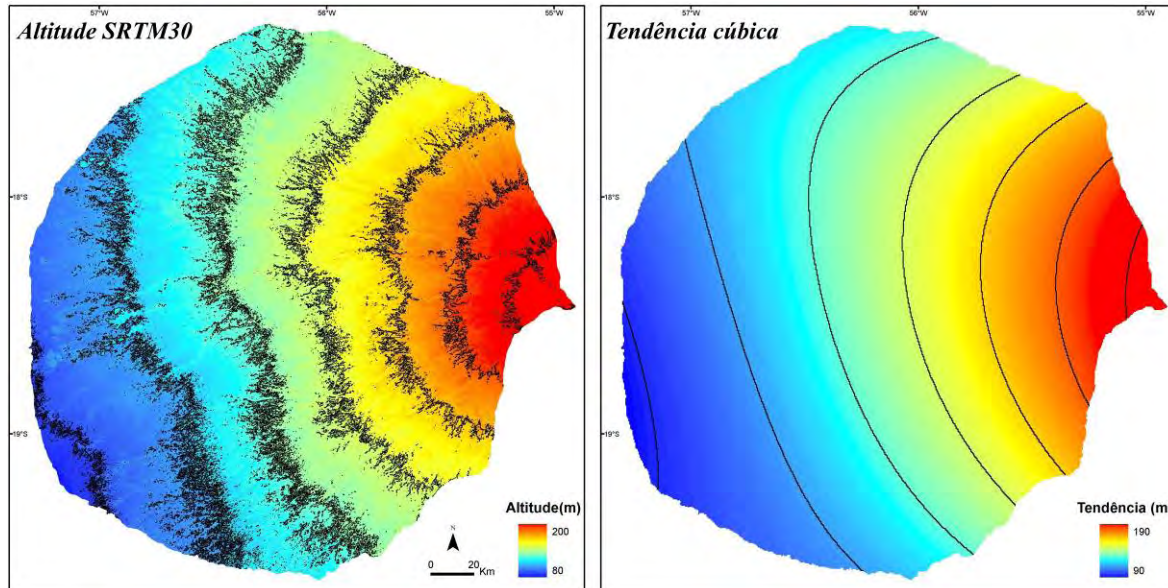


Figura 41. Comparação entre MDE de altitude com MDE da superfície de tendência cúbica. As isolinhas, em intervalos de 15m, apresentam disposições semelhantes, o que atesta a representatividade do polinômio utilizado

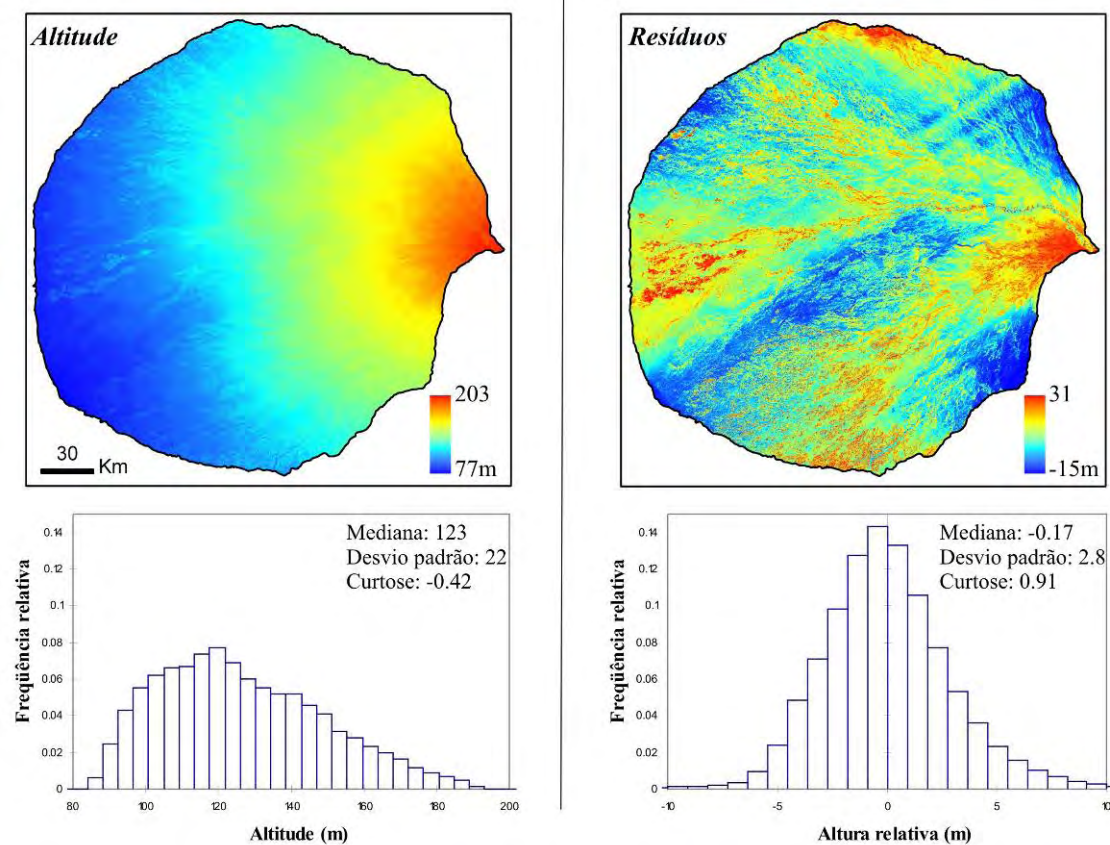


Figura 42. Comparação entre MDE's gerados a partir de dados SRTM30m e de SRTM processado. Histogramas de ambos, mostrados na parte inferior, revelam que superfície cúbica possui maior frequência relativa.

O fatiamento do MDE processado, com apresentação de resíduos em classes de altura, permitiu a identificação de elementos geomórficos altimetricamente superiores a seu entorno (Figura 36). No ambiente deposicional do Taquari, feições topograficamente elevadas sugerem que processos sedimentares mais recentes estão continuamente sobrepondo-se às formas mais antigas.

Embora em ambientes de baixas declividades como o Pantanal, grandes diferenças de altura possam indicar elementos fitofisionômicos ao invés de formas de relevo (e.g. Valeriano e Abdon, 2007), a vegetação pode ser um bom indicador de formas fluviais e auxiliar na identificação de elementos geomórficos (e.g. Casco et al., 2005). Isto foi o que se verificou no megaleque do Taquari, pois as redes de paleocanais distributários e as formas ressaltadas pelos resíduos positivos apresentam morfologia similar a lobos deposicionais.

As feições delineadas por meio do MDE de altura demonstraram geometrias triangulares de aspecto lobado, à semelhança dos lobos interpretados através da drenagem. Porém, a compartimentação baseada apenas nos resíduos dificultou a observação das relações topológicas entre os lobos, e impediu a formulação de hipóteses sobre a cronologia relativa dos eventos. A comparação entre as duas divisões sugere que os lobos identificados através do MDE dos resíduos apresentam uma dinâmica mais complexa que os lobos delineados através da drenagem (Figura 43).

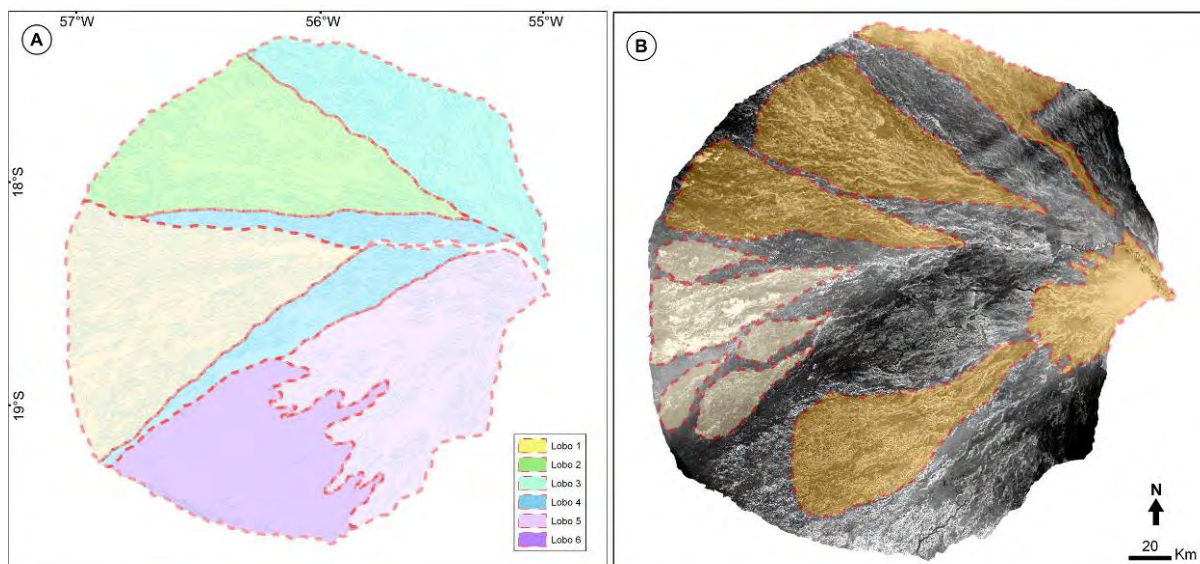


Figura 43. Divisão dos lobos através da rede de paleocanais (A) e dos resíduos de altura (B). Relações topológicas, visualizadas através do arranjo da paleodrenagem, permitiram a ordenação temporal dos compartimentos em (A). Alturas relativas ressaltaram geoformas lobadas em (B), com compartimentos mais complexos e fragmentados.

5.2. Geformas identificadas

A paisagem do megaleque do Taquari é dominada por processos deposicionais, que geralmente resultam em geformas lobadas, com padrão de drenagem distributário. O termo geforma é aqui utilizado num conceito amplo, englobando unidades geomorfológicas genéricas que expressam características dos relevos nas variadas escalas de visualização. Assim, o termo abrange desde o próprio sistema deposicional megaleque, até unidades deposicionais como complexos de canal/diques.

Foi observado que os lobos abandonados reconhecidos (Figura 43) possuem diferentes padrões de canal em relação à drenagem distributária atual (Figura 44). Nos lobos deposicionais da porção norte (lobos 2 e 3) foram identificados canais mais largos e de baixa sinuosidade (Figura 44-A), provavelmente entrelaçados, formados em condições hidráulicas diferentes dos canais distributários recentes, que em geral são sinuosos, em certos trechos meandranes (Figura 44-B). Conforme demonstrou Harvey (2002), leques aluviais registram em sua superfície modificações ocorridas nos sistemas fluviais. Alterações hidráulicas nos rios estão, por sua vez, estão comumente associadas a mudanças climáticas recentes (e.g. Carignano, 1999; Sohn et al., 2007).

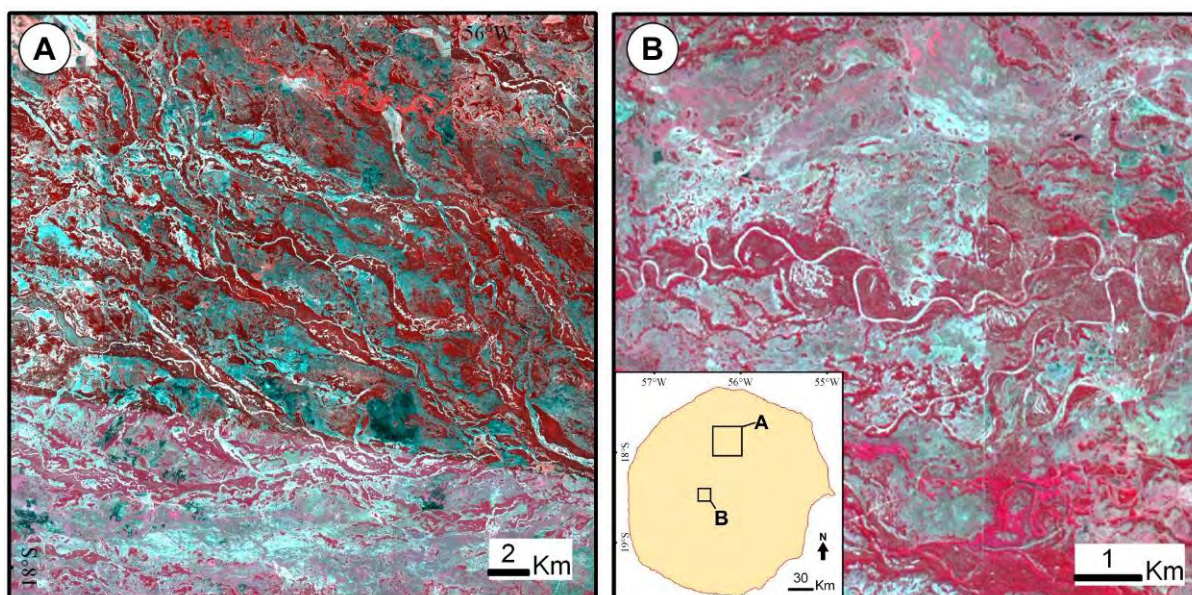


Figura 44. Diferentes padrões de paleocanal identificados no megaleque. A: Canais de baixa sinuosidade na parte norte do megaleque (Imagem ASTER 3R2G1B – 22//07/2005) e B: paleocanais meandranes no lobo 1 (Imagem ASTER 3R2G1B – 04//09/2005).

Geoformas compostas por canal/diques sobressaem topograficamente na superfície dos lobos deposicionais. Estes elementos geomórficos são o resultado de sucessivos processos de agradação e progradação sedimentar, resultando em formas que apresentam cotas altimétricas superiores às das áreas adjacentes (e.g. Assine, 2005; Volker et al., 2007). Complexos de avulsão destacam-se igualmente por sua sobrelevação em relação à planície (Figura 45).

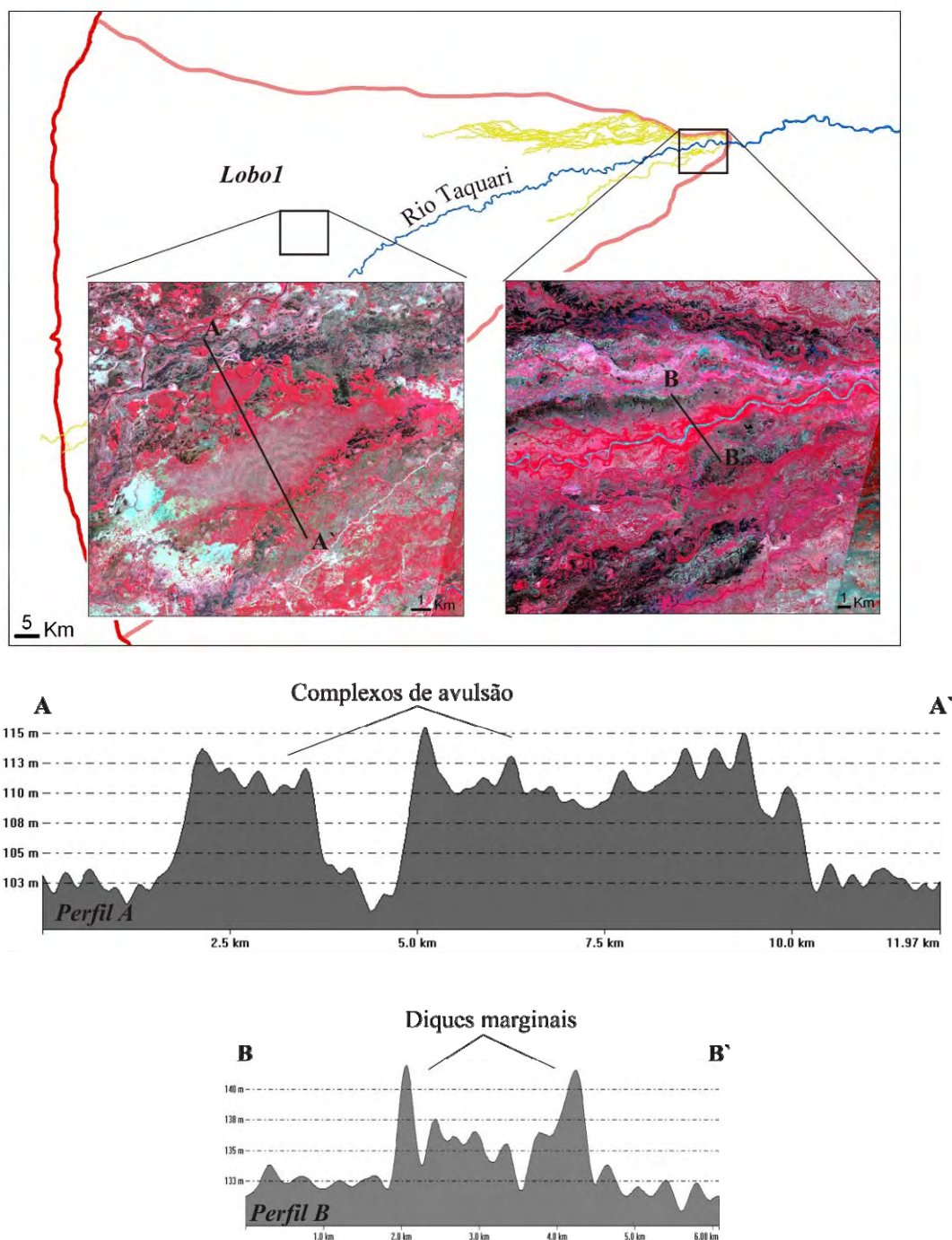


Figura 45. Geoformas com maiores amplitudes altimétricas que seu entorno. Antigos complexos de avulsão (A) e o atual canal do rio Taquari (B) encontram-se altimetricamente superiores em relação à planície circundante (A: Imagem ASTER R3G2B1 – 04/09/2005 e B: Imagem ASTER R3G2B1 – 02/07/2005).

Os MDE's mostram que a calha principal do rio Taquari, em seu curso inferior no lobo atual, pode se encontrar até 3m mais elevada do que a planície. Os mesmos processos de agradação sedimentar, que criaram feições lineares nos lobos abandonados, são os responsáveis por este tipo de forma atual. Embora o fato de um canal fluvial estar em uma posição altimétrica superior que seu entorno desafiar o senso comum, tal característica não é extraordinária. [Slingerland & Smith \(2004\)](#) demonstraram que rios aluviais, em ambientes de baixas declividades, possuem a tendência de agradar sedimentos no canal principal e construir diques marginais. Os mecanismos de agradação no canal e progradação na planície de inundação são inerentemente relacionados com os fenômenos de avulsão fluvial, que serão discutidos adiante.

No Pantanal da Baixa Nhecolândia (lobo 6) são encontradas milhares de pequenas lagoas alinhadas, formas de relevo que foram identificadas somente neste compartimento. Lagoas alcalinas (também conhecidas como *salinas*) encontram-se isoladas por cordões arenosos e não possuem contato com o escoamento superficial. Ilustres pesquisadores que as estudaram na década de 80 apontaram que estas geoformas são heranças de um paleoclima semi-árido ([Klammer, 1982](#); [Tricart, 1982](#)). Na presente compartimentação, estas feições também foram interpretadas como relictas, adotando-se as conclusões de [Soares et al. \(2003\)](#). Observações realizadas nas imagens de satélite e na rede de drenagem mapeada sugerem que feições erosivas mais recentes estão superimpostas na paisagem relictas das lagoas causando a denudação progressiva do compartimento. Lagoas interconectadas refletem estas transformações e compõe uma rede tributária de escoamento superficial, onde predominam canais rasos e largos, que drenam o compartimento durante e após as cheias, conhecidos como *vazantes* ([Figura 46](#)).

Feições erosivas também são observadas em outros lobos abandonados, como na área no lobo 5, conhecida com Alta Nhecolândia ([Figura 47](#)). Feições lineares semelhantes de caráter erosivo foram reproduzidas em modelos físicos de leques aluviais. [Schumm \(1977\)](#) e [Rachocki, \(1981\)](#) apontam quedas repentinas do nível de base como gatilho destes processos em ambientes deposicionais. No megaleque do Taquari eventos alogênicos (e.g. mudanças climáticas e movimentos tectônicos) e autogênicos (e.g. construção de diques marginais e avulsões), podem ser apontados como possíveis causas destes processos ([Assine, 2003](#)).

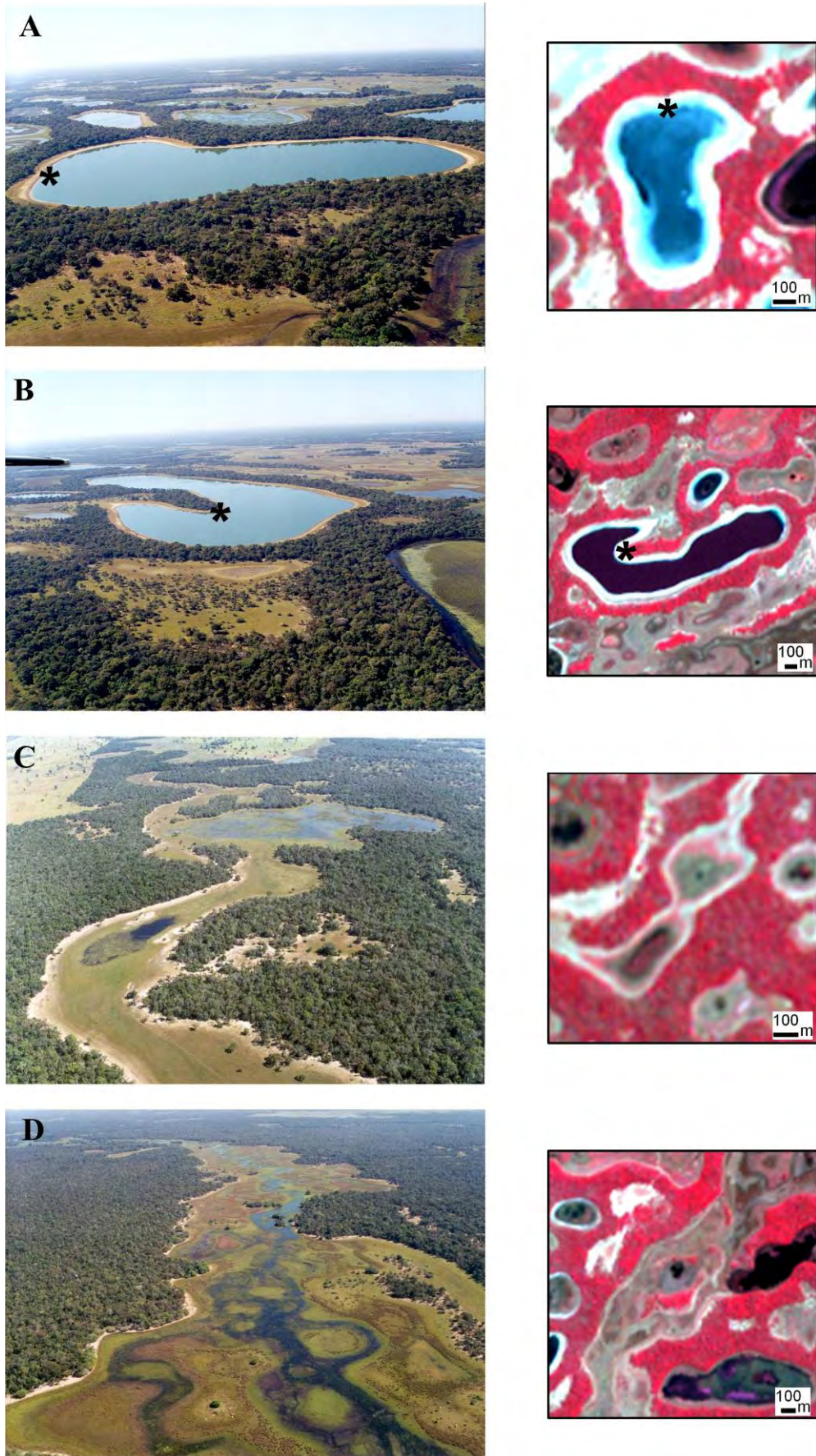


Figura 46. Geoformas presentes na paisagem da Nhecolândia. A e B: *salinas*, C e D: canais erosivos (*vazantes*) conectam lagoas à rede de escoamento superficial (Imagens do mosaico ASTER R3G2B1).

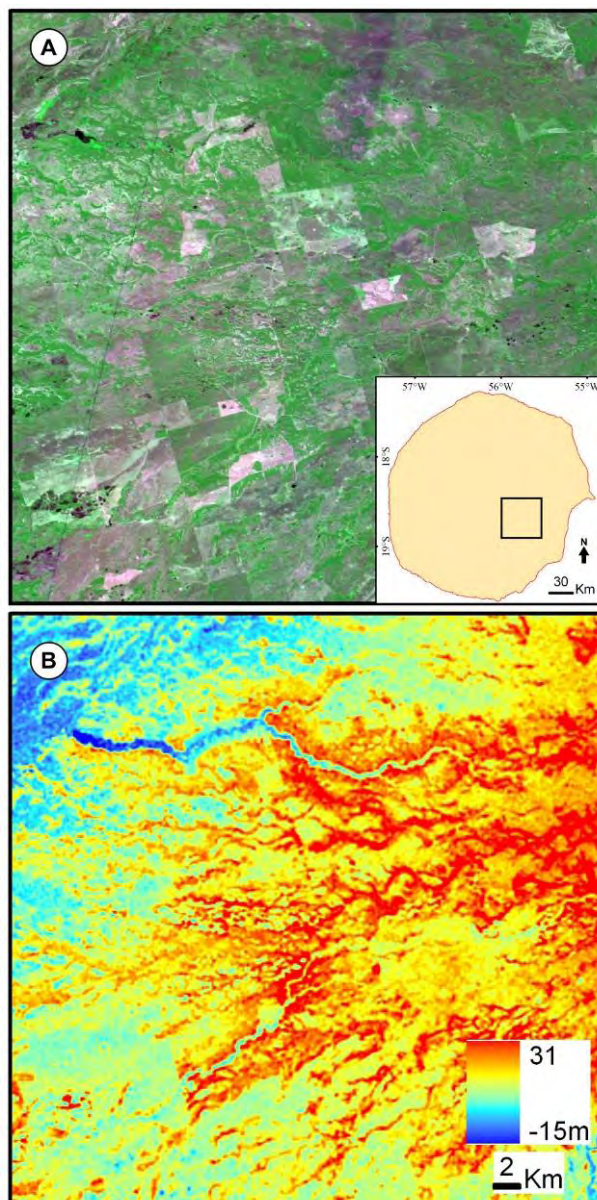


Figura 47. Feições erosivas estão dissecando as geoformas deposicionais do lobo nº 5 (A: mosaico CBERS2 R3G4B2 e B: MDE dos resíduos altimétricos).

No ápice do megaleque, o rio Taquari encontra-se confinado em uma estreita planície, entrincheirada em depósitos dos lobos deposicionais nº 3, 4 e 5 (Figura 48). O arranjo das fácies destes lobos, observadas em campo, também sugere que estes sedimentos foram depositados em uma planície fluvial relict, diferente da planície fluvial meandrante encaixada na porção superior do megaleque. Semelhante às geoformas erosivas, eventos alogênicos ocorridos macro-ambiente também são mencionados como possíveis causas deste entrincheiramento (Assine, 2003). Locais como este são de grande importância para o entendimento das mudanças ambientais, pois podem registrar as diferentes fases

deposicionais do megaleque. Amostras dos sedimentos destes terraços foram coletadas para futuros estudos, entre os quais datações absolutas com método de termoluminescência.

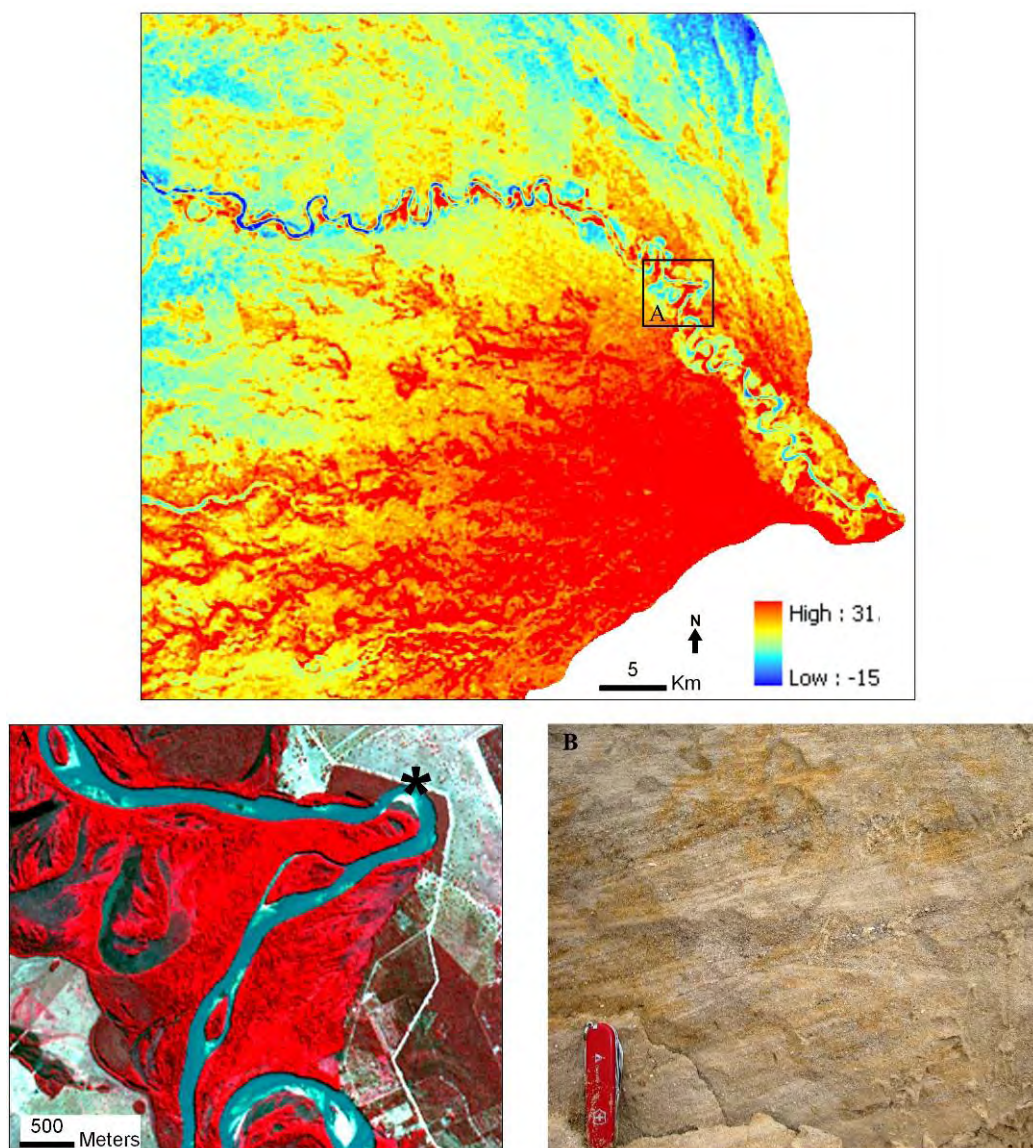


Figura 48. Vale entrincheirado na porção superior do Taquari. Os resíduos topográficos no ápice do megaleque demonstram que o rio está encaixado e erodindo seus terraços (A, imagem ASTER R3G2B1 – 21/07/2006). Em (B) estratificação cruzada acanalada com seixos na base, sugere antigo depósito fluvial (local da foto está apontado em (A) por um asterisco).

5.3. Evidências morfológicas de tectônica recente

Embora a procura por evidências de tectônica sinsedimentar no megaleque não esteja listada nos objetivos, julgou-se importante fazer considerações sobre sua ocorrência, uma vez que estes elementos estruturais podem influir diretamente na sedimentação e construção de

lobos no megaleque. De um lado, a subsidência na Bacia do Pantanal encontra-se associada à evolução tectônica do sistema de *forebulge* andino (Shiraraiwa, 1994), de outro, sua estruturação é fortemente influenciada pelo Lineamento Transbrasiliano (Soares et al.1998) (Figura 49).

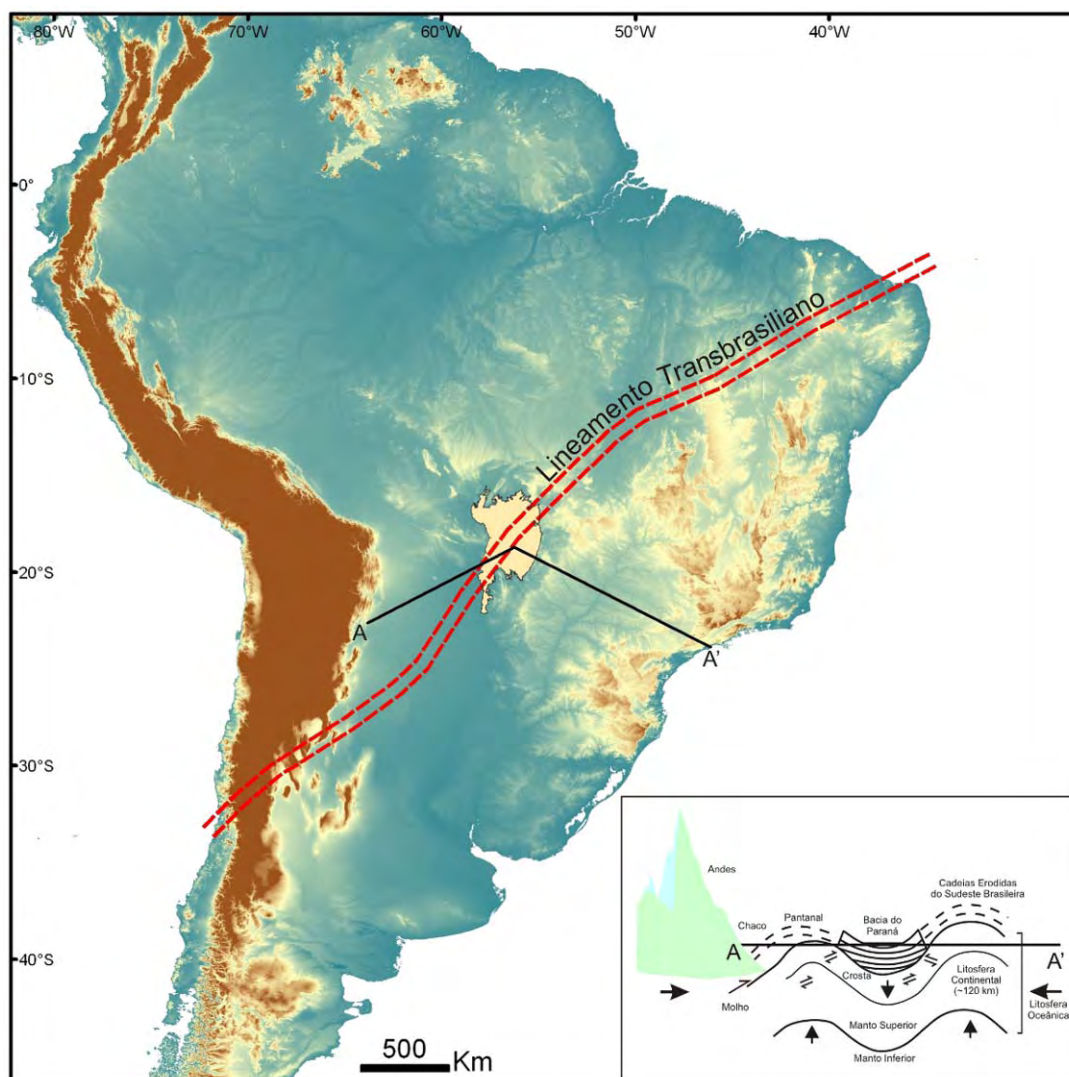


Figura 49. Contexto tectônico da Bacia do Pantanal. Traço do Lineamento Transbrasiliano adaptado de Soares et al. (1998) e perfil esquemático produzido por Lima (1999).

Nos diversos planos de informação gerados para o Taquari há evidências da influência de tectônica recente na região. Alguns paleocanais mapeados na porção sul do megaleque apresentaram padrões de drenagem linear, orientados 45°NE (Figura 50-A). Na mesma região, os resíduos topográficos (Figura 50-B) ressaltaram cristas arenosas concordantes com as direções da drenagem e diversas imagens de satélite utilizadas exibiram feições lineares alongadas com diferente padrão de refletância, concordantes com as outras evidências (Figura 50-C).

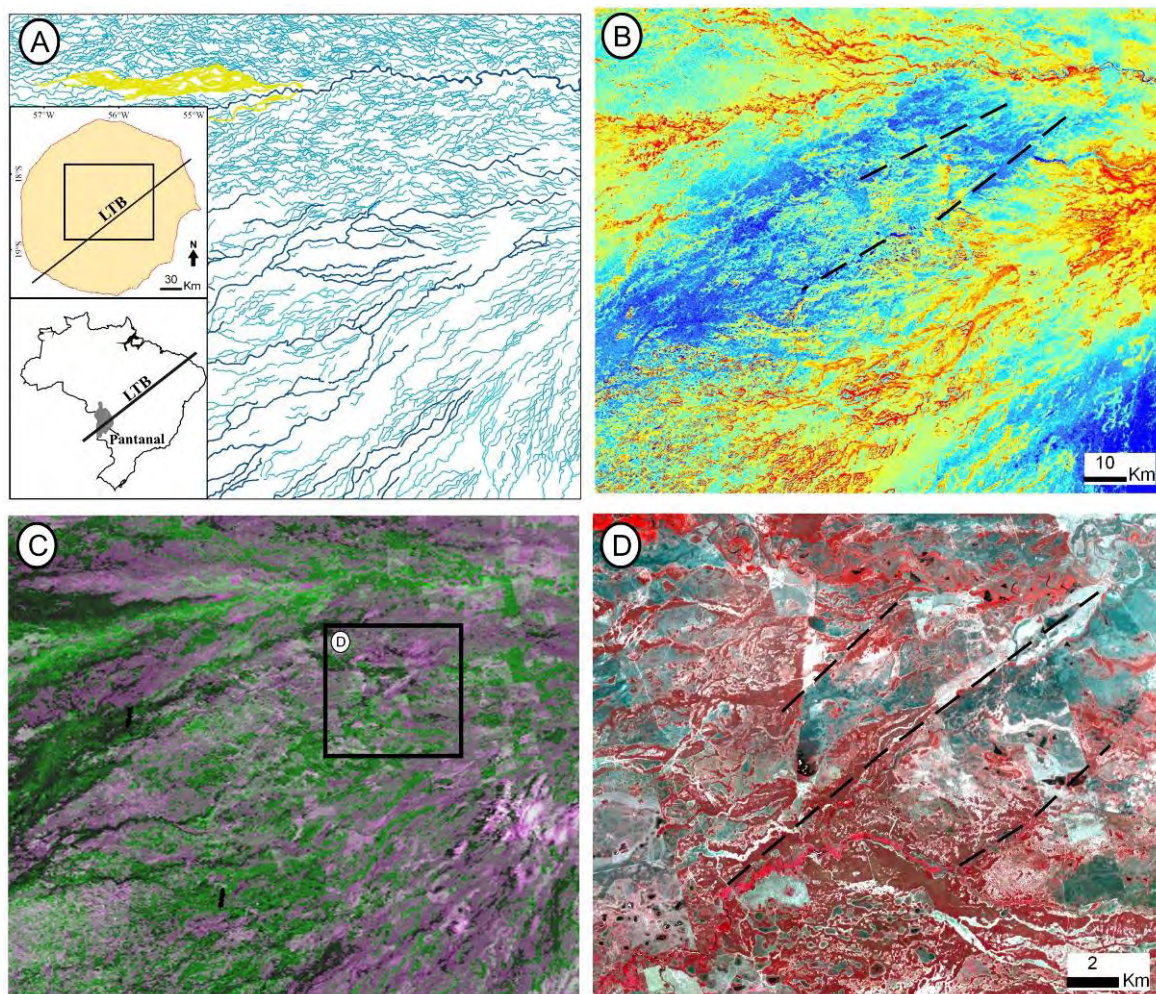


Figura 50. Evidências de tectônica no megaleque. A: Paleocanais com orientação preferencial para NE; B: resíduos da mesma área com feições lineares interpretadas; C: imagem MODIS R1G2B1 – 13/06/2007; D: imagem ASTER R3G2B1 – 29/09/2004 com detalhes de feições associadas ao Transbrasiliano (LTB).

A influência da tectônica pode ir além de respostas localizadas na geometria dos paleocanais. A hipótese de subsidência atual e contínua da Bacia do Pantanal pressupõe formação de novos espaços de acomodação, que controlam o volume total de sedimentos depositados na planície e influenciam diretamente o mecanismo de avulsões. Dados de poços profundos perfurados pela Petrobrás na década de 70 (Assine & Soraes, 2004) revelam que as isópacas de sedimentos possuem menores profundidades na parte leste do megaleque. A ocorrência de relevos residuais compostos por arenitos da Formação Botucatu de unidades da Bacia do Paraná, observados no campo (Soares et al., 1998; Assine, 2003), reforçam a hipótese da proximidade do embasamento em relação à superfície nesta porção do Pantanal.

Os resíduos mostram uma grande faixa deprimida, paralela aos lineamentos identificados, com médias altimétricas inferiores a -5m em relação à tendência cúbica calculada. Portanto, pode-se considerar que esta área possui um volume potencial para a alocação de sedimentos maior que seu entorno. A disposição dos resíduos também

evidenciou uma zona deprimida a sudeste, com as menores amplitudes altimétricas do megaleque. Não coincidentemente, nesta área foi verificada uma vasta rede de drenagem tributária. Conforme sugere Soares et al. (1998), tais elementos, mais recentes que a rede distributária relictas, podem indicar movimentações tectônicas muito recentes.

Feições lineares que se encontram na zona nordeste do MDE processado não expressam elementos fisiográficos ou geomorfológicos (Figura 42). Estas linhas paralelas com ganho altimétrico, orientadas 45°NE, constituem um artefato da banda C/SRTM (Bhang et al., 2007) e são comumente observadas em relevos de baixas declividades.

5.4. Construção e abandono de lobos no Taquari

A densa rede de paleocanais observada na superfície do megaleque do Taquari é a evidência mais latente da dinâmica deste sistema. Tal característica é intrínseca a sistemas deposicionais de leques aluviais (e.g. Gohain & Parkash, 1990; Horton & DeCelles, 2001; Assine & Soares, 2004; Leier et al., 2005; Assine 2005) e foi utilizada neste trabalho como um dos meios para identificar o arranjo dos elementos que compõe o megaleque.

Um mecanismo fundamental para a compreensão deste caráter mutante que possui o rio Taquari são as avulsões fluviais. Este processo é associado à agradação sedimentar do canal e dos diques marginais, tornando o curso fluvial mais alto que seu entorno (Figura 45). O rompimento dos diques marginais, durante regimes de alto fluxo, inicia a drenagem das águas para a planície fluvial através das *crevasses* e, caso o processo de avulsão seja sucedido, o curso do rio é alterado. Processos de agradação de sedimentos no canal fluvial, condição inicial para as avulsões, possuem maior propensão de ocorrência quando o perfil teórico de equilíbrio do rio (nível de base de erosão) está acima da superfície deposicional, criando espaço para sedimentação (Schumm, 1993). A jusante do ponto de intersecção, o *stream power* do rio, considerado como a energia potencial para erosão, cai consideravelmente resultando no desconfinamento do fluxo e no início da formação dos depósitos lobados (Figura 51). Desta maneira, a continuidade dos processos de sedimentação e os ciclos de avulsão controlam a construção e abandono dos lobos deposicionais.

Embora alguns pesquisadores considerem que fenômenos de avulsão são raramente observados na escala de tempo da vida humana (Jones & Hajek 2007), Assine (2005) documentou no megaleque do Taquari uma *crevasse* que se iniciou em 1990 e que culminou na avulsão “Zé da Costa”, que mudou completamente o canal do Taquari em cerca de dez

anos (Figura 52). Atualmente outro fenômeno de avulsão está em curso na altura do ponto de intersecção, próximo à fazenda Caronal (Figura 53), o que poderá resultar novamente na mudança do curso do rio em poucos anos.

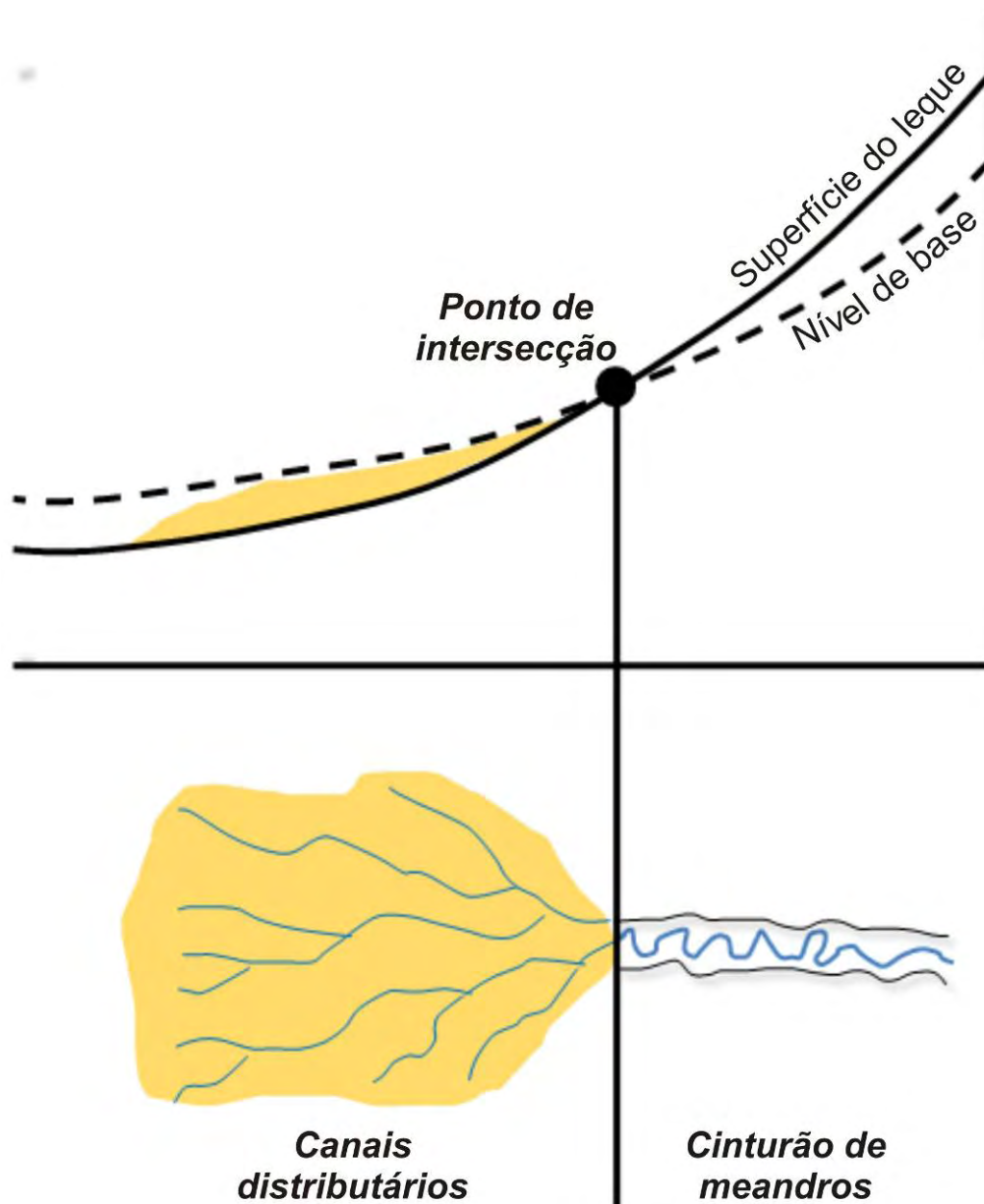


Figura 51. Perfil longitudinal teórico. Depósitos de lobos no megaleque se iniciam a jusante do ponto de intersecção do nível de base com a superfície deposicional.

Observa-se que os processos de avulsão recentes no Taquari estão localizados dentro dos limites do lobo 1. Segundo o modelo conceitual de Schumm (1993), o rio nesta área deve possuir uma sobrelevação no nível de base, favorecendo a ocorrência de processos agradacionais. Um perfil longitudinal do rio, traçado sobre o MDE dos resíduos, mostra de forma indiscutível a validade deste conceito (Figura 54).

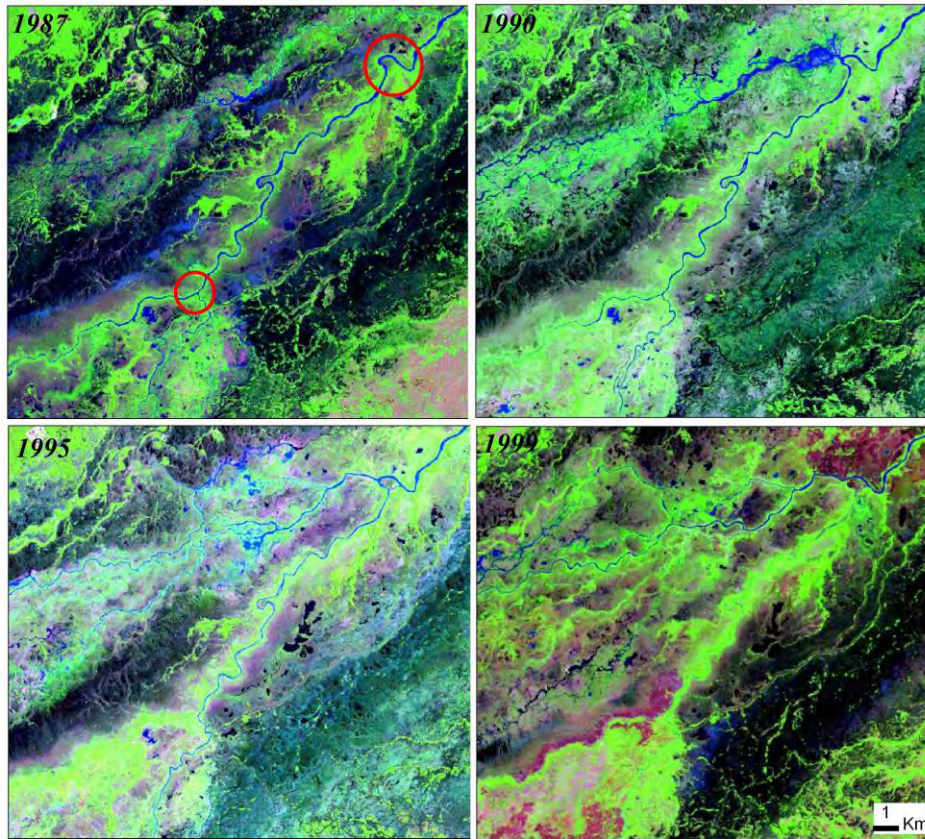


Figura 52. Processos de avulsão fluvial no que ocorreram no baixo curso do rio Taquari (imagens Landsat TM 5 R5G4B3 – 22/11/1987, 02/08/1990, 26/04/1995 e 28/04/1999).

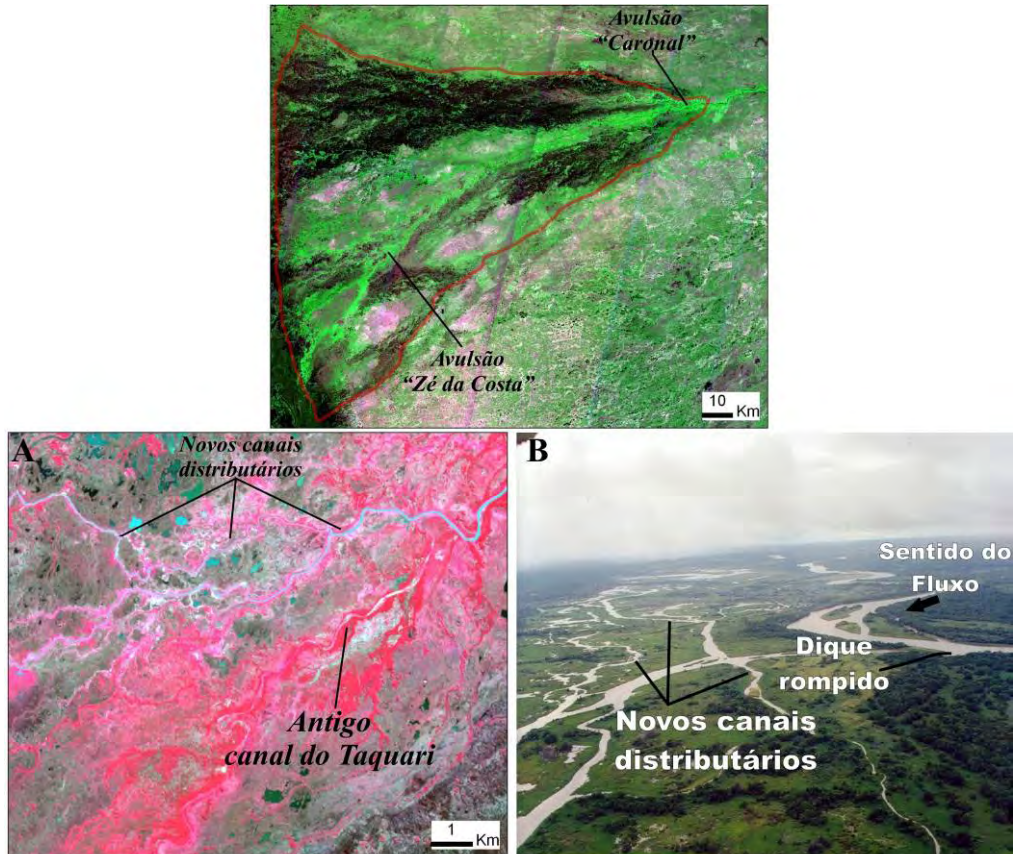


Figura 53. Fenômeno de avulsão em curso na altura da fazenda Caronal. A: Imagem ASTER 3R2B1B - 02/07/2005; B: novos canais distributários formados na margem direita do rio.

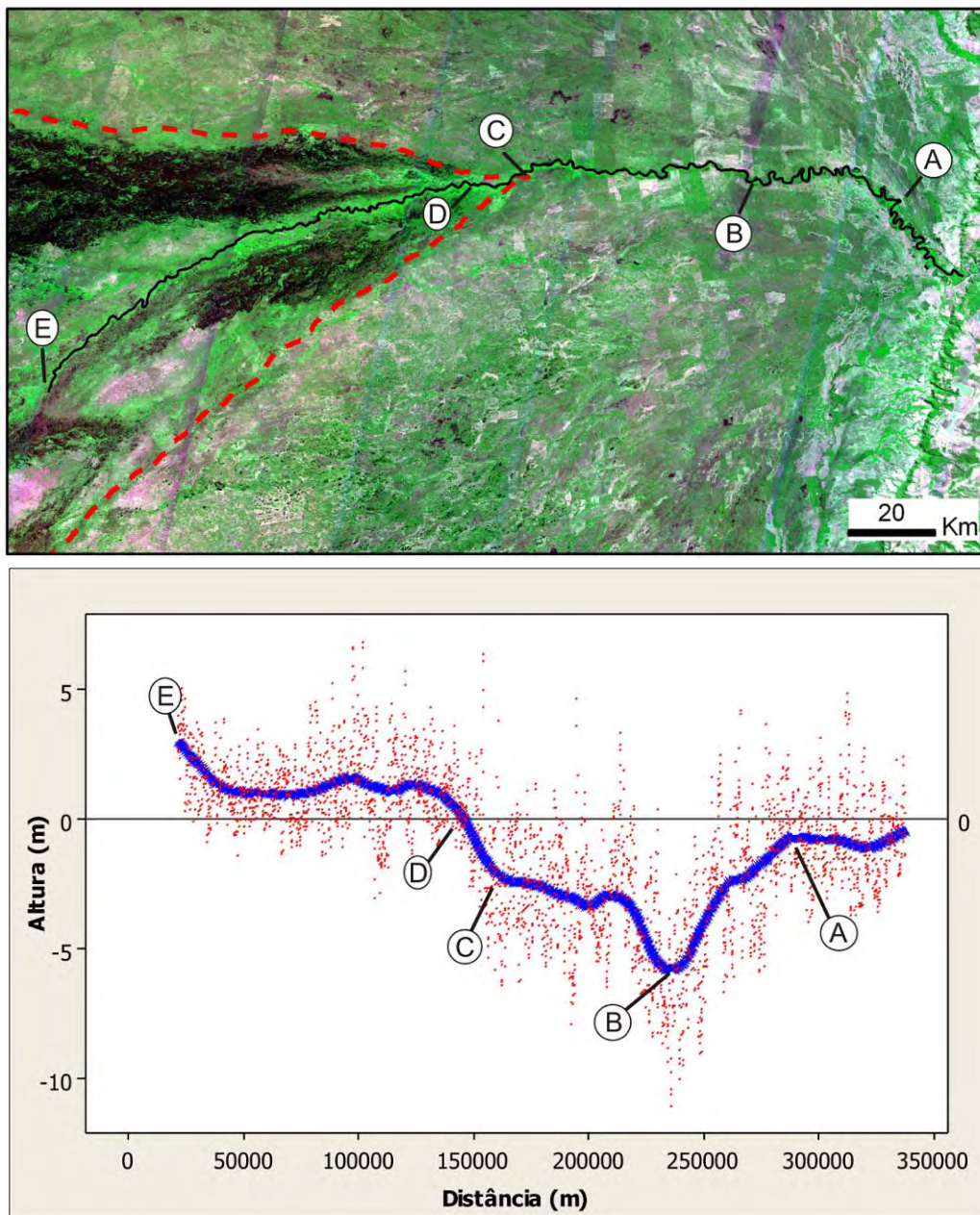


Figura 54. Perfil longitudinal (linha azul), obtido através da média móvel dos resíduos (pontos vermelhos), demonstra as alturas relativas do rio Taquari. A e B: cinturão de meandros do rio Taquari; C: ápice do lobo 1; D: avulsão Caronal; E: avulsão Zé da Costa. A linha 0m no eixo y representa a disposição geral da superfície.

O rio Taquari percorre a parte superior do megaleque confinado em um cinturão de meandros, buscando seu nível de base que está abaixo da superfície de tendência. Nesta porção, o rio está erodindo lateralmente terraços marginais, altimetricamente até 5m mais elevados que a superfície da planície de meandros. A partir do ponto B verifica-se aumento progressivo do nível de base em relação à superfície de tendência, ultrapassando a altura 0m e dando início ao lobo de deposição atual. Verifica-se a ocorrência de diques marginais

rompidos e canais distributários atuais somente após D, que pode ser interpretado como o ponto de intersecção atual do sistema.

Fenômeno de avulsão em curso nas proximidades do ponto de intersecção pode ser um indício de que o espaço de acomodação encontra-se reduzido na porção distal do megaleque devido à sedimentação em complexos de avulsão. A implantação da complexa rede de drenagem distributária atual, na margem direita do rio a partir da fazenda Caronal, aponta que é neste local que o rio iniciou a construção de um novo lobo. O mapa de resíduos corrobora a existência de espaço de acomodação disponível nesta área.

Mesmo com estas evidências, é difícil prever se a avulsão será sucedida, ou seja, se o rio Taquari mudará novamente seu curso. Fazendeiros e a população local, que se sentem prejudicados com as inundações, tentam parar o processo, estancando os arrombados (*crevasses*) com a construção de barragens e diques artificiais nos bancos marginais do rio (Figura 55).



Figura 55. Construção de barragens próximas à Fazenda Caronal. (Foto AHIPAR)

Eventos recentes de mudança do canal sugerem que a evolução dos lobos deposicionais (extraídos de dados orbitais) não possuem uma dinâmica linear como apresentado em modelos teóricos e físicos. A construção destes compartimentos envolve a ação simultânea de processos em diferentes escalas espaciais e temporais, desde leques de espraiamento (*crevasse splays*) até eventos de grande magnitude como as avulsões fluviais.

Todas as configurações geométricas e geoformas identificadas apresentaram padrões de drenagem divergente e aspecto lobado, o que dificultou sua compartimentação espacial, pois é um espectro contínuo. Tal fenômeno pode ser explicado pela auto-similaridade dos elementos nas diversas escalas de observação, ou seja, diversas formas irregulares apresentam mesmo grau de irregularidade (independem da escala de observação). Portanto, o paradigma de superfícies geomórficas fractais (La Barbera & Rosso, 1989; Korvin. G., 1992) pode ser aplicado ao megaleque, uma vez que geometrias lobadas são identificadas tanto em micro quanto em macroescala (Figura 56).

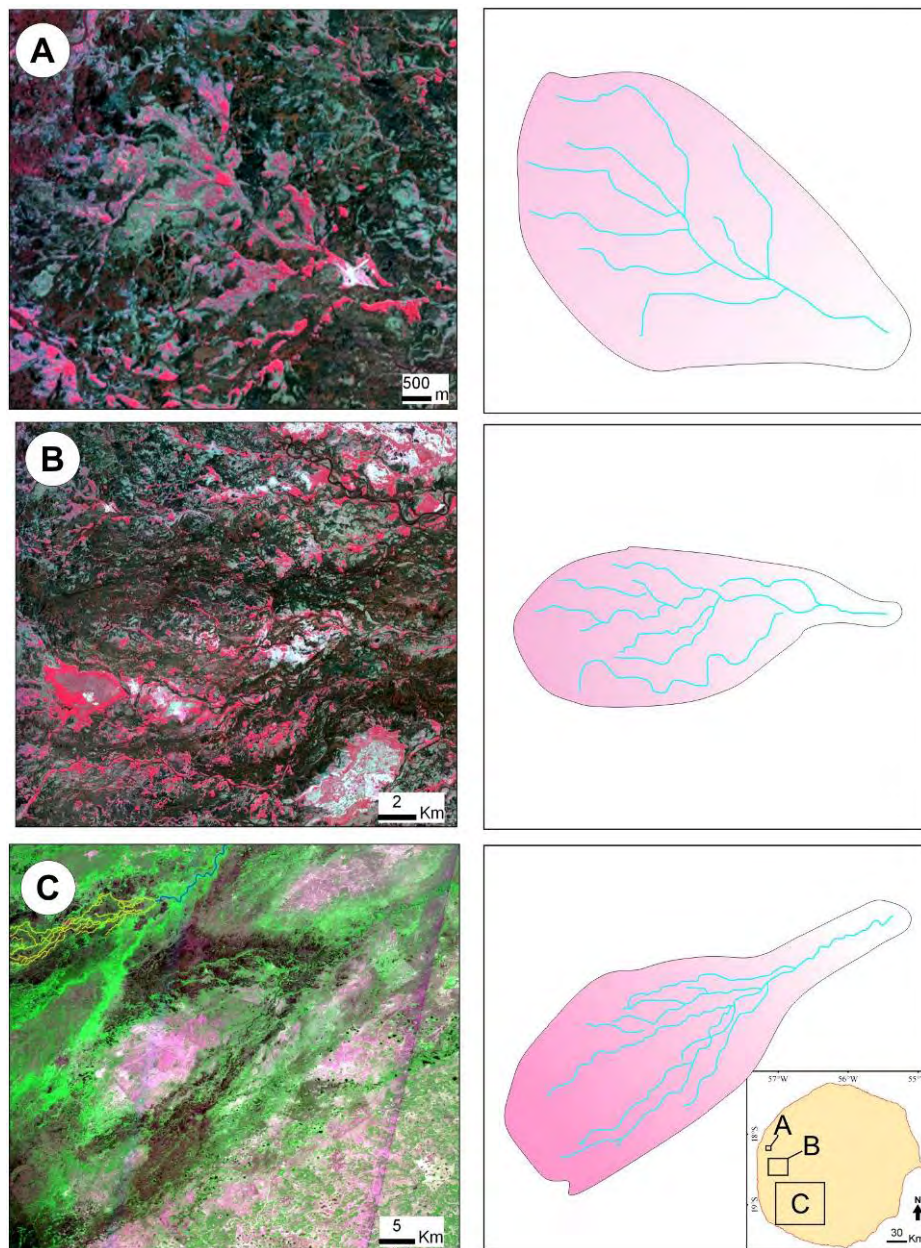


Figura 56. Auto-similaridade das geometrias lobadas em multiescalas. Observa-se que a geoforma lobada (C) é aproximadamente 10 vezes (A). A e B: imagens ASTER R3G2B1 - 28/07/2006; C: imagem do mosaico CBERS2 R3G4B2.

As geoformas mapeadas, com base em imagens de satélite e MDE's dos resíduos, e as interpretações feitas apontam para o fato de que o megaleque possui natureza fragmentada e fractal, muito mais complexa daquela apresentada na compartimentação de Assine (2003). A compartimentação apresentada neste trabalho é, desta forma, apenas a etapa preliminar de uma compartimentação mais acurada, que deve ser feita no futuro com base em novos conceitos e utilizando novos métodos, técnicas e ferramentas de análise.

5.5. Contribuições do Taquari aos estudos de megaleques

O Taquari é um exemplo notável de megaleque fluvial. Suas geoformas e os mecanismos da sua dinâmica sedimentar constituem excelente exemplo de caso para os geocientistas interessados no tema. A discussão apresentada abaixo se aterá a questões de natureza morfométrica apenas, não levando em consideração o contexto geotectônico em que os leques estão inseridos. De qualquer forma, destaca-se que o contexto geológico do megaleque do Taquari difere da maioria dos megaleques analisados, pois, apesar de estar numa bacia associada a sistema *foreland*, não é uma bacia *foredeep* como as bacias onde os outros megaleques se encontram. A Bacia do Pantanal tem sido considerada associada, ou ao *backbulge* (Horton & DeCelles, 2001) ou ao *forebulge* (Ussami et al., 1999) andino.

Os parâmetros morfométricos extraídos do Taquari mostram coerência com os resultados obtidos em outros megaleques (Figura 57). Correlações positivas entre a área do megaleque e a bacia de drenagem caracterizam os vários leques analisados (Figura 57-A). Esta relação tem sido constantemente verificada também em leques de fluxos gravitacionais (Rachocki, 1981) e demonstra que os sedimentos erodidos à montante são prontamente depositados na planície.

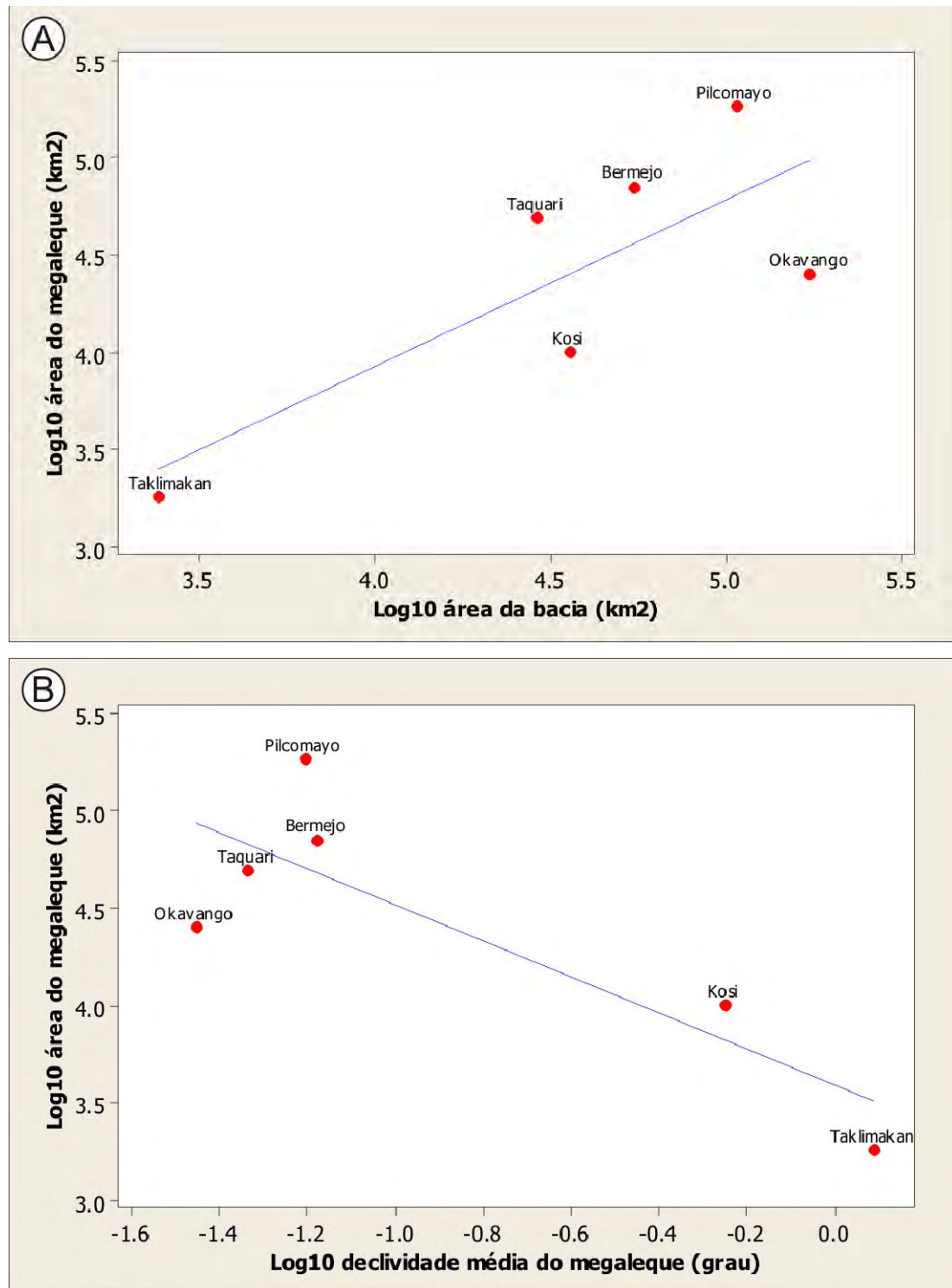


Figura 57. Dispersão entre os parâmetros morfométricos dos megaleques comparados. A: correlação positiva entre as áreas das bacias de captação com os depósitos de megaleques ($r: 0.79$); B: correlação negativa com as áreas dos megaleques e suas declividades médias ($r:- 0.84$).

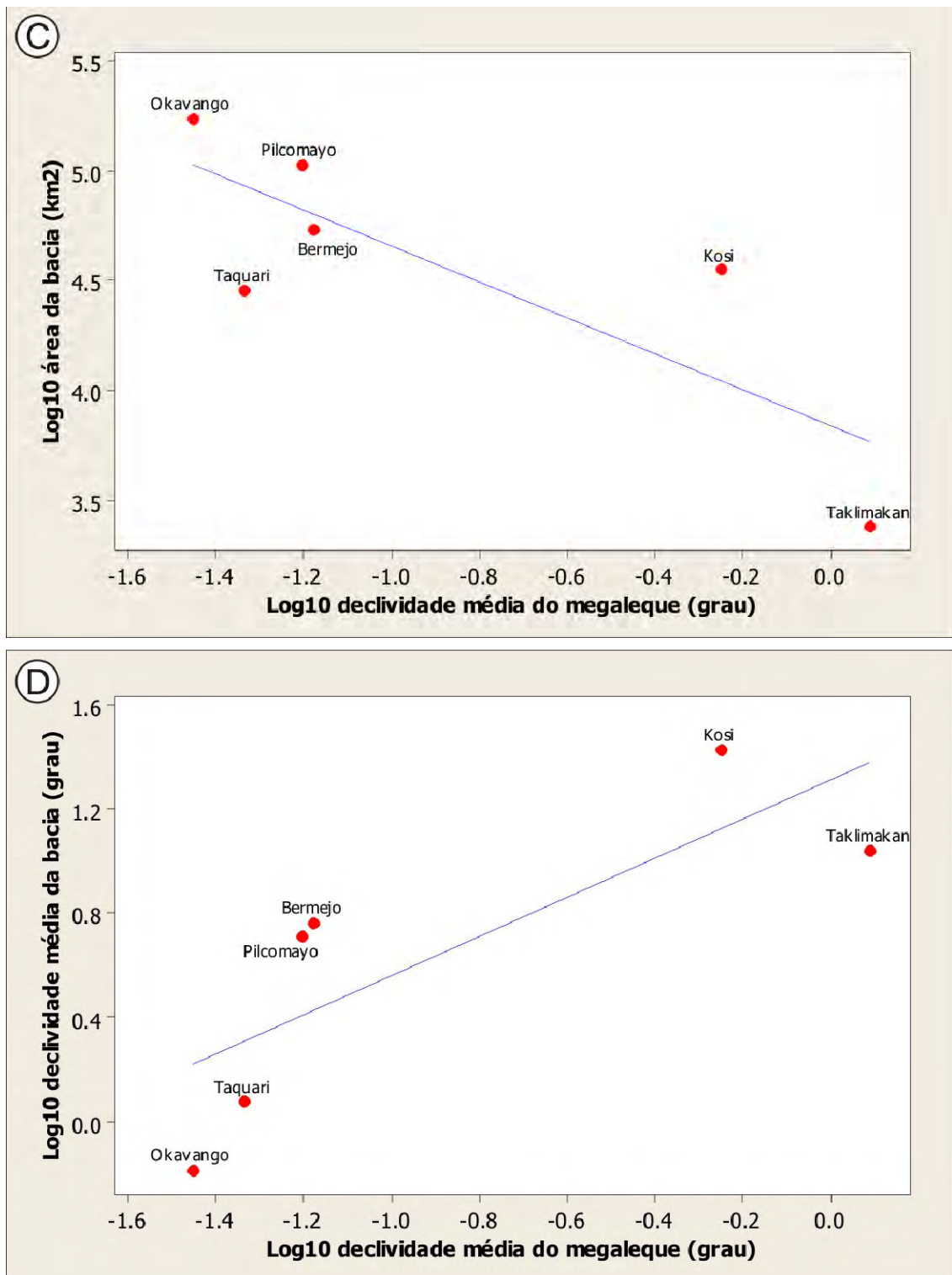


Figura 57 (continuação). C: correlação negativa entre as áreas das bacias de captação com as declividades médias dos megaleques ($r: -0.81$); D: correlação positiva entre as declividades médias das bacias de captação com as declividades médias do megaleques ($r: 0.81$). Os eixos das figuras estão em escalas log10.

Outra relação interessante observada através dos gráficos de dispersão foi a correlação negativa entre as declividades médias do megaleque e a extensão em areal do leque (Figura 57-B). Megaleques com maior extensão possuem propensão a baixas declividades. A extensão também demonstrou interferir no grau de concavidade do perfil, sendo os megaleques de maior extensão (Pilcomayo e Taquari) aqueles que apresentam alto índice de concavidade. Comparativamente a eles, os megaleques Taklimakan, Kosi e Okavango possuem menores extensões e mais baixos índices de concavidade. Os gráficos da Figura 57-C/D mostram correlações entre declividades médias dos megaleques e das bacias de captação. Grandes bacias de drenagem à montante tendem a formar leques de baixo gradiente (Figura 57-C). Bacias de drenagem com altos declives formam leques de alto gradiente longitudinal (Figura 57-D).

Em relação aos demais megaleques, o Taquari apresentou a maior regularidade geométrica. O parâmetro de desenvolvimento do perímetro (D_p) do Taquari ficou próximo a um, evidenciando numericamente a proximidade de sua forma a de um círculo. Esta exceção, de uma forma de alta regularidade, pode ser resultado de uma influência do rio Paraguai que impede maior progradação do megaleque à jusante.

Os resultados da análise de dados morfométricos são preliminares, pois o número de amostras não é suficiente para a formulação de modelos. No entanto, ilustram quantitativamente a similaridade dos diversos sistemas e suas interdependências naturais. Além de parâmetros para comparações estatísticas, o megaleque do Taquari também pode contribuir com exemplos de geoformas descritas em outros megaleques.

Conforme demonstrado na revisão sobre sistemas deposicionais, é amplamente admitido que a geometria de drenagem dominante em leques e megaleques é distributária (e.g. Denny, 1967, Schumm, 1977; Miall, 1996; Leeder, 1999; Nichols, 2007). Entretanto, North & Warwick (2007), em um estudo recente, argumentaram que padrão distributário em leques e megaleques é uma exceção. Segundo estes últimos autores, a seqüência de eventos de avulsão num mesmo ponto (avulsões nodais) cria falsa percepção de sistema distributário (Figura 58).

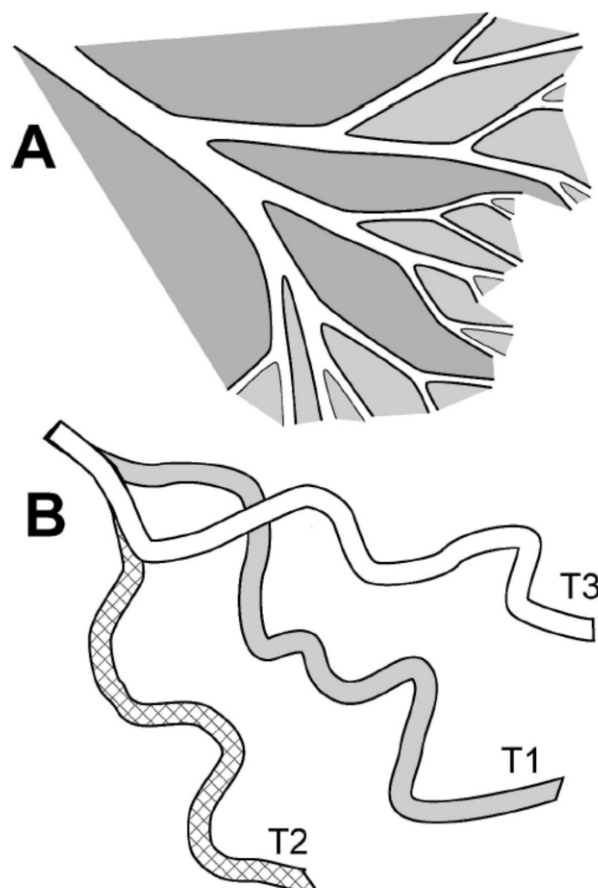


Figura 58. Distinção entre padrões de drenagem. O padrão distributivo “verdadeiro” (A) possui vários canais ativos simultaneamente com uma redução sistemática nas dimensões do canal à jusante. (B) avulsões nodais criam a falsa percepção de um sistema distributivo (North & Warwick, 2007).

A proposta de North & Warwick (2007) é muito interessante e contribuirá sobremaneira para a discussão acerca da natureza dos megaleques fluviais. Esta discussão é pertinente para o entendimento da dinâmica de megaleques, pois estes são os mecanismos dominantes para a deposição de sedimentos (Jones & Hajek, 2007). A baixa densidade populacional no Taquari favorece a visualização da natureza destes processos, ao contrário dos megaleques onde há construção de diques artificiais (e.g. Kosi) ou dragagem do canal principal (e.g. Pilcomayo e Bermejo).

Os resultados obtidos na presente pesquisa apontam para o fato de que as duas situações apresentadas por North & Warwick (2007) podem estar presentes num mesmo megaleque. O mapeamento detalhado dos paleocanais no megaleque do Taquari permitiu o reconhecimento de redes distributórias “reais”, ou seja, que possuem diversos canais ativos simultaneamente e que apresentam redução do fluxo à jusante (Figura 59-A). Por outro lado, também foram observados “falsos” padrões distributórios, caracterizados pela presença de inúmeros canais divergentes, mas sendo apenas um ativo (Figura 59-B).

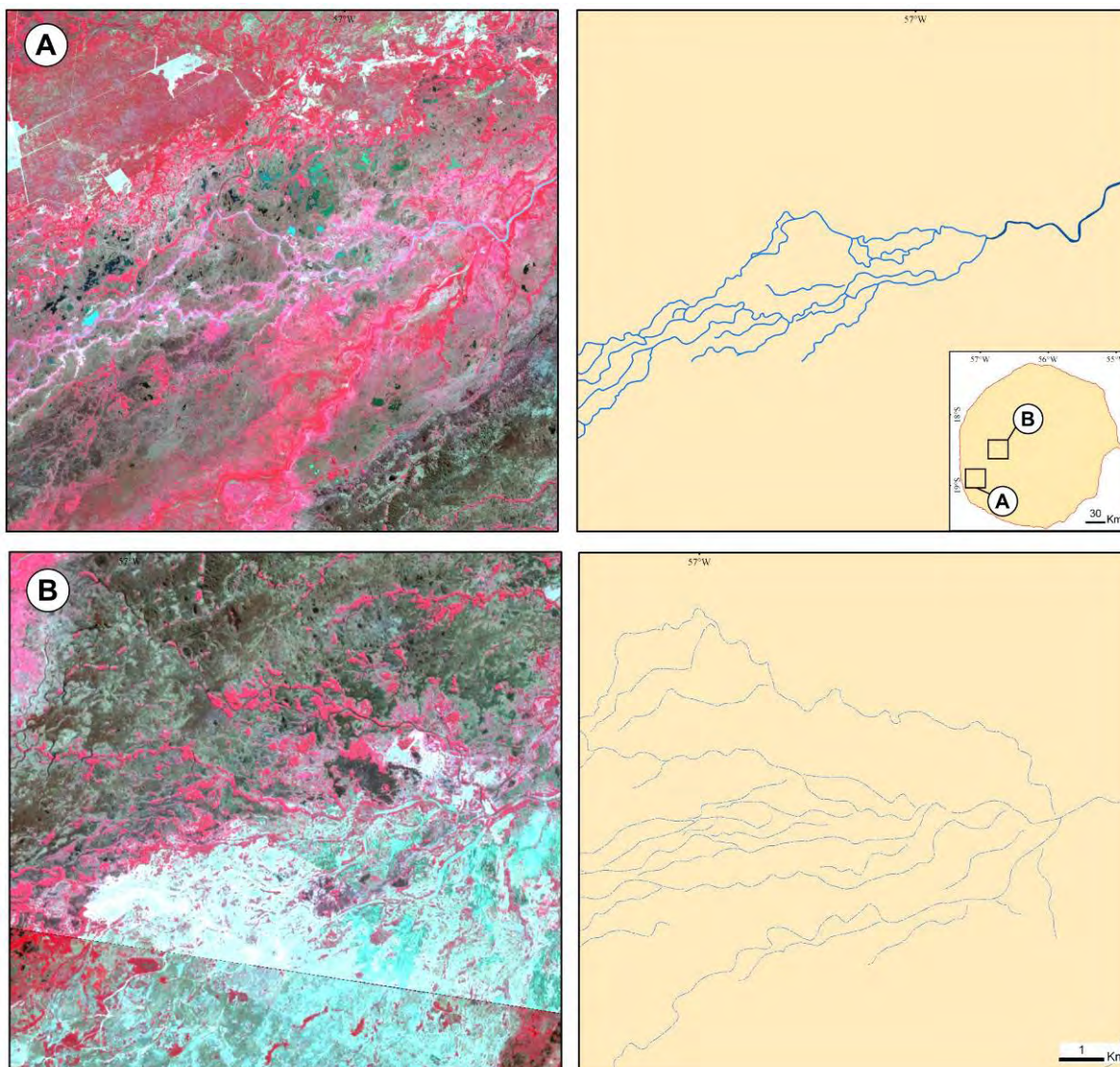


Figura 59. Padrões de drenagem no Taquari. A – canais distributários atuais do rio Taquari (imagem ASTER R3G2B1 - 03/09/2002); B – paleocanais oriundos de avulsões nodais demonstram um padrão radial que pode ser confundido com um sistema distributário (imagem ASTER R3G2B1 - 28/07/2006). Alguns paleocanais foram removidos para melhor visualização dos exemplos.

6. CONCLUSÃO

Dados orbitais contribuíram significativamente para melhor caracterizar mudanças morfológicas ocorridas no megaleque do Taquari desde o Pleistoceno tardio. Critérios morfológicos para o mapeamento dos paleocanais, embora sujeito à subjetividade visual inerente ao método, viabilizou a compartimentação do megaleque em grandes domínios representados por lobos deposicionais. A aplicação dos conceitos morfológicos de truncamento e sobreposição de lobos, possibilitou a definição da cronologia relativa das unidades. Análises dos vetores dos paleocanais corroboraram as interpretações visuais e, principalmente, destacaram o padrão radial do paleofluxo, fundamental na caracterização dos lobos deposicionais.

Os processamentos aplicados aos dados SRTM resultaram em planos de informação que permitiram a visualização de formas com menor subjetividade, em relação aos compartimentos extraídos da drenagem. Embora os métodos aplicados não tenham neutralizado totalmente a influência da vegetação nos MDE's, conclui-se que foi possível, através da amplitude altimétrica, identificar as geoformas deposicionais. Estes elementos apresentaram configuração alongada e representam diferentes processos deposicionais. Seu arranjo espacial se demonstrou mais complexo que os domínios derivados da drenagem. Esta natureza fragmentada e fractal, evidenciada pelo MDE dos resíduos, dificultou o processo a compartimentação mais precisa das formas. Por outro lado, a percepção desta natureza mais complexa do arranjo espacial das geoformas deposicionais presentes na superfície do megaleque cria uma nova perspectiva para a dinâmica de construção e abandono de lobos, criando condições para se avançar na compreensão da evolução do sistema deposicional.

Os métodos de modelagem topográfica também demonstraram potencialidade para ressaltar outras geoformas, além das deposicionais. Feições erosivas existentes na Alta Nhecolândia (lobo 5) puderam ser visualizadas com maior clareza, através dos resíduos topográficos. O reconhecimento destas geoformas erosivas, que estão dissecando depósitos de planícies fluviais relictas, é de grande importância para o entendimento das mudanças morfológicas, que modificam a rede de drenagem do megaleque.

Evidências de tectônica muito recente foram reconhecidas em planos de informação gerados. Os padrões de orientação destas feições apontam forte influência do Lineamento Transbrasiliano, que certamente influencia a sedimentação atual na bacia do Pantanal. No entanto, estudos focalizados na questão estrutural são imprescindíveis para a caracterização tectônica da região.

As avulsões fluviais são o principal gatilho das mudanças ambientais documentadas, constituindo os principais fenômenos geomórficos que atuam no modelado da paisagem do megaleque do Taquari.

A vasta malha de paleocanais mapeada demonstra que mudanças no curso do rio Taquari são inerentes à dinâmica do sistema deposicional. Determinar a natureza e a frequência destes processos é passo fundamental para a compreensão da evolução geomorfológica da planície do Pantanal. A reconstituição da sucessão dos eventos geomórficos, por sua vez, é a chave para se estabelecer as tendências de mudanças morfológicas e ambientais, e para a previsão de futuras mudanças no curso do Taquari.

REFERÊNCIAS

- Ab'Saber, A. N. 1988. O Pantanal Matogrossense e a teoria dos refúgios. *Revista Brasileira de Geografia*, especial, **2**, 9-57.
- Al-Juaidi, F., Millington, A. C., Maclaren, S. J., 2003. Merged remote sensed data for geomorphological investigations in deserts: examples from central Saudi Arabia. *The Geographical Journal* **169**, 117-130.
- Assine, M. L. 2003. *Sedimentação na bacia do pantanal mato-grossense, centro oeste do Brasil*. Rio Claro, SP. Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Tese de Livre Docência, Rio Claro, 105p.
- Assine, M. L. 2005. River avulsions on the Taquari megafan, Pantanal wetland, Brazil. *Geomorphology* **70**, 357-371.
- Assine, M. L. & Soares, P. C. 1997. The giant Taquari wet alluvial fan, Pantanal basin, Brazil. In: *Abstracts. IAS, 6 International Conference Conference on Fluvial Sedimentology*, Cape Town. 16p.
- Assine, M.L.; Soares, P.C.; Angulo, R.J. 1997. Construção e abandono de lobos na evolução do leque do rio Taquari, Pantanal Mato-Grossense. In: Congr. Bras. Geol. Quaternário, 6, Curitiba, 1997. *Resumos Expandidos...* Curitiba, ABEQUA, p. 431-433.
- Assine, M.L. & Soares, P.C. 2004. Quaternary of the Pantanal, west-central Brazil. *Quaternary International* **114**, 23-34.
- Benito, G., Baker, V.R., Gregory, K.J, (eds). 1998. *Palaeohydrology and Environmental Change*. John Wiley. Chichester.
- Bhang, K. J.; Schwartz, F. W.; Braun, A. 2007. Verification of the vertical error in C-band SRTM DEM using ICESat and Landsat-7, Otter Tail County, MN. *IEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* **45**, 36-44.
- Blair, T.C. & McPherson, J.G. 1994a. Alluvial fan processes and forms. In: *Geomorphology of Desert Environments*. Londres, Chapman & Hall. pp. 354-402.
- Blair, T.C. & McPherson, J.G. 1994b. Alluvial fans and their natural distinction from rivers based on morphology, hydraulic processes, sedimentary processes, and facies. *Journal of Sedimentary Research* **64**, 451-490.
- Blatt, H., Middleton, G. V., Murray, R. 1980. *Origin of Sedimentary Rocks*. 2 ed. Prentice-Hall, Englewood Cliffs. 782pp.
- Booth, J.R.; et al. 2003. Paleo-bathymetric controls on the stratigraphic architecture and reservoir development of confined fans in the Auger Basin: central Gulf of Mexico slope. *Marine and Petroleum Geology*, **20**:563-586.

- Burrough, P. A.; McDonnell, R. A. 1998. *Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment*. Oxford: Oxford University Press. 333p.
- Braun, E. W. G. 1977. Cone aluvial do Taquari, unidade geomórfica marcante na planície quaternária do Pantanal. *Revista Brasileira de Geografia* **39**, 164-180.
- Bull, W. B. 1963. Alluvial fan deposits in western Fresno County, California. *Journal of Geology* **71**, 243-251.
- Bull, W. B. 1977. The alluvial-fan environment. *Progress in Physical Geography* **1**, 222–270.
- Bull, W.B. 1991. *Geomorphic Responses to Climatic Change*. Oxford University. 326p.
- Campbell, J.B. 2002. *Introduction to remote sensing*. 3.ed. Nova York: Guilford. 621 p.
- Carignano, C.A. 1999. Late Pleistocene to recent climate change in Córdoba Province, Argentina: Geomorphological evidence. *Quaternary International*, 57/58:117-134.
- Casco, S.L.; Chiozzi, N.I.; Neiff, J.J. 2005. La vegetación como indicador de la geomorfología fluvial. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, 6:123-136.
- Chavez, P. S.; Berling, J. R.; Sowers, L. B. 1982. Statistical method for selecting Landsat MSS ratios. *Journal of Applied Photogrammetric Engineering* **8**, 23-30.
- Chuvieco, E. 1990. *Fundamentos de teledetección espacial*. Madrid: Unigraf. 453p.
- DeCelles, P.G. & Giles, K.N. 1996. Foreland basin systems. *Basin Research* **8**, 105–123.
- DeCelles, P.G., & Cavazza, W., 1999. A comparison of fluvial megafans in the Cordilleran (Upper Cretaceous) and modern Himalayan foreland basin systems. *Geological Society of America Bulletin* **111**, 1315–1334.
- Denny, C. S. 1967. Fans and pediments. *American Journal of Science* **265**, 81-105.
- Drew, F. 1873. Alluvial and lacustrine deposits and glacial records of the Upper Indus Basin. *Quarterly journal of the Geological Society of London* **29**, 441-71.
- Ehsani, A. H.; Quiel, F. 2008. Application of Self Organizing Map and SRTM data to characterize yardangs in the Lut desert, Iran. *Remote Sensing of Environment* **112**, 3284-3294.
- Farr T & Chadwick O. 1996. Geomorphic processes and remote sensing signatures of alluvial fans in the Kun Lun Mountains, China *Journal of Geophysical Research* **101**, 23091–100.
- Farr, T.G; et al. .2007. The Shuttle Radar Topography Mission. Review in Geophysics. Nova Iorque, 45(2):21-35

- Galloway, W. E. & Hobday, D. K. 1983. *Terrigenous Clastic Depositional Systems: Applications to Petroleum, Coal and Uranium Exploration*. New York, Springer-Verlag, 423p.
- Geddes, A. 1960. The alluvial fan morphology of the Indo-Gangetic Plains. *Transactions - Institute of British Geographers* **28**, 253-267.
- Gohain, K. & Parkash, B. 1990. Morphology of the Kosi megafan. In: A.H. Rachocki and M. Church (Eds.) *Alluvial Fans – A field Approach*. John Wiley and Sons. pp. 151-178.
- Gole, C. V. & Chitale, S. V. 1966. Inland delta building activity of Kosi river. *Journal of the Hydraulics Division* **92**, 111-126.
- Gonzales, J.; Aydin, A. 2008. The origin of oriented lakes in the Andean foreland, Parque Nacional Torres del Paine (Chilean Patagonia). *Geomorphology* **97**, 502-515.
- Guzzetti, F.; Marchetti, M.; Reichenbach, P. 1997. Large alluvial fans in the north-central Po Plain (Northern Italy). *Geomorphology* **18**, 119-136.
- Harvey, A.M., 1987. Alluvial fan dissection: relationship between morphology and sedimentation. In: Frostik, L., Reid, I. (Eds.), *Desert Sediments: Ancient and Modern*, **35**, 87– 103.
- Harvey, A.M. 1990. Factors influencing Quaternary alluvial fan development in southeast Spain. In: *Alluvial Fans, a Field Approach* (Eds A.H. Rachocki and M. Church),pp. 247–269.
- Harvey, A. M. 2002. The role of base-level change in the dissection of alluvial fans: case studies from southeast Spain and Nevada. *Geomorphology* **45**, 67-87.
- Horton, R. E. 1945. Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology. *Bulletin of the Geological Society of America* **56**, 275-370.
- Horton, B.K., & DeCelles, P.G., 2001. Modern and ancient fluvial megafans in the foreland basin system of the central Andes, southern Bolivia: Implications for drainage network evolution in fold-thrust belts. *Basin Research* **13**, 43–61.
- Jones, H. L.; Hajek, E. A. 2007. Characterizing avulsion stratigraphy in ancient alluvial deposits. *Sedimentary Geology* **202**, 124-137.
- Knighton, D. 1998. *Fluvial Forms and Processes*. Arnold, London. 383p.
- Korvin, G. 1992. *Fractals models in the earth sciences*. Netherlands, Elsevier Science Publisher 395p.
- Klammer, G. 1982. Die Paläowüste des Pantanal von Mato Grosso und die pleistozäne Klimageschichte der brasilianischen Randtropen. *Zeitschrift für Geomorphologie* **26**, 393-461.

- La Berna, P. & Rosso, R. 1989. On fractal dimension of streams networks. *Water Resources Research* **25**, 735-741
- Landim, P. M. B. 1973. Contribuição ao estudo dos mistitos do Grupo Tubarão no estado de São Paulo. *Geologia* **17**, 1-98.
- Landim, P.M.B. 1998. *Análise estatística de dados geológicos*. São Paulo, Fundação Editora da UNESP (Ciência e Tecnologia), 226p.
- Latrubesse, E. M., & Franzinelli, E. 2002. The holocene alluvial plain of the middle Amazon River, Brazil. *Geomorphology* **44**, 241-257.
- Leeder, M., 1999. *Sedimentology and Sedimentary Basins: From Turbulence to Tectonics*. Blackwell, Oxford. 529p.
- Leier, A. L., DeCelles, P. G., Pelletier, J. D. 2005. Mountains, monsoons, and megafans. *Geology* **33**, 289-292.
- Leopold, L. B.; Wolman, M. G.; Miller, J. P. 1964. *Fluvial Processes in Geomorphology*. Dover Publications, São Francisco. 522p.
- Li, Y.; Yang, J. 1998. Tectonic geomorphology in the Hexi Corridor, north-west China. *Basin Research* **10**, 345-352.
- Lima, C. C. 1999. Expressions topographiques et structurales de l'état de compression généralisée au sein de plaque sud-américaine. University of Rennes , França. Tese de PhD. 369p.
- McCarthy, T.S. & Cadle, A.B. 1995. Discussion: alluvial fans and their natural distinction from rivers based on morphology, hydraulic processes, sedimentary processes, and facies assemblages. *Journal of Sedimentary Research* **65**, 581-583.
- McCarthy, T. S.; Stanistreet, I. G.; Cairncross, B. 1991. The sedimentary dynamics of active fluvial channels on the Okavango Fan, Botswana. *Sedimentology* **38**, 471-487.
- Miall, A. D. 1996. *The Geology of Fluvial Deposits*. Berlin, Springer-Verlag 582p.
- Milana, J. P., 2000. Characterization of alluvial bajada facies distribution using TM imagery. *Sedimentology* **47**, 741-760.
- Morais, R. P.; et al. 2005. Morfometria de sistemas lacustres da planície aluvial do médio rio Araguaí. *Acta Sci. Biol. Sci.* **27**, 203-213.
- Nichols, G. J. & Fisher, J. A. 2007. Processes, facies and architecture of fluvial distributary system deposits. *Sedimentary Geology* **195**, 75-90.
- North, C. P.; Warwick. G. L. 2007. Fluvial fans: myths, misconceptions, and the end of the terminal-fan model. *Journal of Sedimentary Research* **77**, 693-701.

- Novo, E. M. L. M. 1992. *Sensoriamento remoto: princípios e aplicações*. Edgard Blücher. 1 ed. São Paulo. 308p.
- Padovani, C. R.; Carvalho, N. O.; Galdino, S.; Vieira, L. M. 1998. Produção de sedimentos na alta bacia do rio Taquari para o Pantanal. In: ABRH, Encontro de Engenharia de Sedimentos, Belo Horizonte, 1998. *Anais...* Belo Horizonte, 1998, 16-24.
- Posamentier, H.W., Vail, P.R., 1988. Eustatic control on clastic deposition: II. Sequence and systems tracts models. In: Wilgus, C.K., Hastings, B.S., Kendall, C.G.St.C., Posamentier, H.W., Ross, C.A., Van Wagoner, J.C. (Eds.), *Sea Level Changes: An Integrated Approach*. Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, Special Publication **42**, 125–154.
- Rabus, B.; Eineder, M.; Roth, A.; Bamler, R. 2003. The shuttle radar topography-a new class of digital elevationmodels acquired by space borne radar- ISPRS. *Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* **57**, 241-262.
- Rachocki, A. H. 1981. *Alluvial Fans*. John Willey and Sons, Chichester. 161p.
- Räsänen, M.; Neller, R.; Salo, J.; Junger, H. 1992. Recent and ancient fluvial deposition in the Amazonian foreland basin, Peru. *Geology Magazine* **129**, 293-306.
- Reinhard, C.; Wünnemann, B.; Krivonogov, S.K. 2008. Geomorphological evidence for the Late Holocene evolution and the Holocene lake level maximum of the Aral Sea. *Geomorphology*, 93:302-315.
- Rossetti, D. F. & Valeriano, M. M. 2007. Evolution of the lowest Amazon basin modeled from the integration of geological and SRTM topographic data. *Catena* **70**, 253-265.
- Saito, K., Oguchi, T., 2005. Slope of alluvial fans in humid regions of Japan, Taiwan and Philippines. *Geomorphology* 70, 147-162.
- Scally, F. A.; & Owens, I. 2004. Morphometric controls and geomorphic responses on fans in the southern Alps, New Zeland. *Earth Surf. Process. And Landforms* **29**, 311-322.
- Schumm, S. A. 1977. *The fluvial system*. John Wiley and Sons, Nova Iorque. 338p.
- Schumm, S. A. 1993. River response to baselevel change: implications for sequence stratigraphy. *Journal of Geology* **101**, 279-294.
- Shiraiwa, S. 1994. *Flexura da litosfera continental sob os Andes Centrais e a origem da Bacia do Pantanal*. Instituto Astronômico e Geofísico, USP, São Paulo, Tese de Doutorado. 86p.
- Singh, H.; Parkash, B.; Gohain, K. 1993. Facies analysis of the Kosi megafan deposits. *Sedimentary Geology* **85**, 87-113.
- Slaymaker, O. (Org.). 2000. *Geomorphology, human activity and global environmental change*. John Wiley and Sons, Inglaterra. 322 pp.