

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA  
Instituto de Geociências e Ciências Exatas  
*Campus de Rio Claro*

CARACTERIZAÇÃO GEOMORFOLÓGICA DO SISTEMA  
DEPOSICIONAL DO RIO MIRANDA (BORDA SUL DO  
PANTANAL MATO-GROSSENSE, MS) COM BASE EM  
DADOS ORBITAIS

EDER RENATO MERINO

Orientador: Mario Luis Assine

Dissertação de Mestrado apresentado junto ao Programa de Pós-Graduação em Geociências e Meio Ambiente como requisito para obtenção do título de Mestre em Geociências e Meio Ambiente.

Rio Claro (SP)  
2011

*“Simplesmente ser você sem ter complicação; Simples sem necessitar apelar pra razão...”*  
Daniel Cortez

*Forte não é aquele que nunca erra, mas sim aquele que sabe reconhecer seus erros e tem  
humildade para reconstruir um novo começo*

*Dedico este trabalho a  
minha família e aos meus  
amigos, fontes de minhas  
forças nos momentos bons  
e, principalmente, nos  
difíceis.*

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a toda minha família simplesmente por ser minha família. Algumas pessoas dizem que antes mesmo de nascer, escolhemos nossa família. Saibam eles que se eu tiver essa chance, por toda eternidade seremos do mesmo sangue. Aos meus amigos, bom, nem mesmo palavras tenho para dizer o que eles significam em minha vida, somente sei dizer que moveria montanhas por eles.

Gostaria de agradecer imensamente a meu orientador Prof. Dr. Mario Luis Assine, por ter acreditado que eu seria capaz de ir até o fim, quando tudo parecia perdido. Um agradecimento especial à Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Paulina Setti Riedel e ao doutorando Mateus Vidotti Ferreira, por terem me ensinado a trabalhar com as ferramentas utilizadas na pesquisa e, principalmente, pela amizade e companheirismo. Falando em companheirismo, agradeço a Fabiano do Nascimento Pupim e a Renato Lada Guerreiro pela convivência laboratorial diária, que, com toda certeza resultou em muito crescimento profissional e principalmente, no nascimento de uma bela amizade. Assim também, agradeço a amizade de Deborah Mendes por estar sempre disposta a ajudar, mesmo que a distância. Sou grato a: Hiran Zani, Sidney Kuerten, Fabricio Corradini e Aguinaldo Silva. Os primeiros membros de nosso grupo de estudo do Pantanal, responsáveis por pesquisas que muitas vezes nortearam os trabalhos atuais.

Aos professores Noberto Morales e José Alexandre Perinotto pela convivência durante organização de eventos dos programas de pós-graduação. Ao discente Bruno Cesar Araújo, gostaria de fazer um agradecimento especial por toda ajuda durante essa fase de minha vida, mas principalmente pela amizade que construímos. À secretária dos Programas de Pós-Graduação em Geociências Rosângela Vacello pela amizade e por seu imenso profissionalismo e dedicação. Ao doutorando Frederico Gradella pela sugestão do trabalho.

Agradeço a todos os alunos dos programas de Geociências e Meio Ambiente e de Geologia Regional pela convivência. Gostaria de agradecer àqueles que me apoiaram na escolha do tema e no desenvolvimento da pesquisa. Àqueles que disseram que não daria certo, meu agradecimento especial, pois também me deram forças para ir à luta.

Ao programa de Geociências e Meio Ambiente e à CAPES pela concessão bolsa de mestrado e à Fundação de Apoio à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pelo apoio financeiro para a realização da pesquisa, mediante o processo 2007/95987\_3.

Por fim, gostaria de fazer um agradecimento que causa incômodo a muitos, talvez por não acreditarem, talvez por acharem que ciência e espiritualidade são coisas distintas. Agradeço àquele que recebe muitos nomes, ou que alguns preferem dizer que se tratar de uma força superior. Eu, simplesmente, chamo de Deus.

Obrigado a todos!

## ÍNDICE

	<b>Página</b>
<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
<b>2. CONTEXTO FISIAGRÁFICO REGIONAL .....</b>	<b>2</b>
2.1. A Bacia hidrográfica do rio Miranda.....	6
2.1.1. Hidrografia.....	6
2.1.2. Geomorfologia.....	7
2.1.3. Geologia.....	8
2.1.4. Pedologia.....	13
<b>3. OBJETIVOS .....</b>	<b>14</b>
<b>4. MÉTODOS E MEIOS.....</b>	<b>15</b>
4.1. Banco de dados geográficos.....	15
4.2. Processamento digital de imagens.....	15
4.3. Modelo digital de elevação.....	18
4.4. Compartimentação geomorfológica.....	19
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>21</b>
5.1. Processamento dos dados orbitais.....	21
5.2. Geomorfologia.....	31
5.2.1. Delimitação e compartimentação do sistema deposicional do rio Miranda.....	32
5.2.2. Planície fluvial confinada.....	37
5.2.3. Lobo deposicional atual.....	39
5.2.4. Lobo deposicional antigo.....	42
5.2.5. Geoformas deposicionais extraídas de resíduos de superfície de tendência.....	46
5.2.6. Evolução geomorfológica do sistema deposicional do rio Miranda.....	49
<b>6. CONCLUSÃO.....</b>	<b>57</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>59</b>

## FIGURAS

	<b>Página</b>
1 Localização regional da área estudada. Modelo Numérico do Terreno (SRTM).....	3
2 Trato deposicional do Pantanal com localização da área estudada .....	4
3 Mapa hidrográfico da bacia de drenagem do rio Miranda.....	10
4 Mapa de formas de relevo da bacia de drenagem do rio Miranda...	11
5 Mapa geológico da bacia de drenagem do rio Miranda.....	12
6 Área estudada (Imagem GEOCOVER).....	17
7 Aterro destruído pela ação da cheia de 2011 no Refúgio Ecológico Caiman.....	20
8 Complexo canal-dique marginal do rio Miranda em quatro composições coloridas do sensor Landsat-7 ETM+ .....	23
9 Paleocinturões de meandros do rio Miranda em quatro composições coloridas do sensor Landsat-7 ETM+ .....	24
10 Paleocinturão entrelaçado e leque aluvial adjacente ao SDRM em quatro composições coloridas do sensor Landsat-7 ETM+ .....	25
11 Paleocinturão de meandros em imagens Landsat de diferentes anos e estações.....	27
12 Planície aluvial distributária do rio Salobra em composição colorida para o sensor ASTER.....	28
13 Paleocinturão com canal entrelaçado em duas composições coloridas para o sensor ASTER.....	29
14 MDE da área estudada.....	30
15 Exemplo de classificação aplicada no MDE para identificação de geoformas com pouca variação altimétrica.....	31
16 Mapa de compartimentos geomorfológicos da área estudada.....	33
17 Planície alagada do rio Negro.....	34
18 Leque de rompimento ( <i>crevasses splay</i> ) na planície do rio Negro.....	35
19 Mapa de geomorfológico do sistema sedimentar do rio Miranda.....	36
20 Planície fluvial confinada do SDRM.....	38
21 Knickpoint que marca a transição do rio Miranda de rochoso para aluvial.....	39
22 Barra de areia e cascalho formada no meio do canal do rio Miranda....	39

23	Lobo deposicional atual do SDRM.....	41
24	Canal retilíneo do rio Miranda.....	42
25	Afloramento do embasamento cristalino na margem esquerda do corixo São Domingos.....	42
26	Mudanças na direção de fluxo do rio Miranda.....	43
27	Rio Miranda correndo diretamente sobre o embasamento cristalino no contato entre terrenos aplainados da Serra da Bodoquena e a planície pantaneira.....	43
28	Lobo deposicional antigo do SDRM.....	45
29	Paleocanal do rio Miranda recoberto por gramíneas e cortado pelo Corixo do Mutum. ....	46
30	Rio Miranda (ao fundo) correndo em complexo canal-diques marginais.....	46
31	Rio Miranda (ao fundo), com presença espiras de meandros e oxbow lakes.....	47
32	Variação da densidade vegetacional à medida que a intensidade dos alagamentos aumentam para jusante.....	48
33	Superfície de tendências topográficas de 3º grau do SDRM.....	50
34	Resíduos derivados da superfície de tendência de 3º grau.....	51
35	Falhas inferidas no contato entre formas de relevo diferentes, especialmente no contato embasamento/planície.....	52
36	Feições distributárias do lobo atual do rio Miranda.....	53
37	Canais distributários originados a partir de rompimento (crevasses) do complexo canal-diques marginais do rio Miranda.....	53
38	Delimitação e apresentação da cronologia relativa da criação e abandono dos paleocinturões de meandros preservados no lobo atual do sistema deposicional do rio Miranda.....	55
39	Três paleolobos deposicionais recobertos na superfície do lobo deposicional antigo.....	56
40	Cinturão de meandros atual do rio Miranda seccionando paleocanal proveniente de leste da planície do rio Negro.....	56
41	Canais retilíneos e orientados na planície pantaneira, região do lobo deposicional antigo do sistema deposicional do rio Miranda.....	58
42	Grande cheia de 2011, imageada no dia 23 de março.....	58

43	Grande cheia de 2011, imageada no dia 22 de abril.....	59
44	Aterro construído para pavimentar a BR-262.....	59

## RESUMO

O trato deposicional do Pantanal apresenta vários megaleques fluviais formados por rios que têm suas nascentes nos planaltos adjacentes. De todos os sistemas deposicionais do Pantanal, o do Miranda é um dos menos conhecidos. O presente trabalho tem por escopo a caracterização geomorfológica do sistema deposicional do rio Miranda, bem como o reconhecimento de feições indicativas de mudanças paleoambientais e paleohidrológicas. Para alcançar tais objetivos, as seguintes etapas foram desenvolvidas: 1) processamento digital de dados orbitais, como imagens de satélite e dados SRTM; 2) delimitação e compartimentação geomorfológica do sistema deposicional do rio Miranda; 3) integração e interpretação dos dados obtidos, com identificação de geoformas deposicionais, atuais e relictas; 4) reconhecimento de evidências de mudanças ambientais. Foram reconhecidos e delimitados três compartimentos: uma planície fluvial confinada, um lobo deposicional atual e um lobo deposicional antigo. O processamento de Análise das Principais Componente (APC) foi aplicado nas de imagens dos satélites, Landsat-7 ETM+ e ASTER, e resultou em realce das feições de relevo contidas na imagem. A utilização de dados SRTM possibilitou o reconhecimento de geoformas deposicionais pouco evidentes na planície. Diferentes estágios de construção e abandono de cinturões de meandros, bem com paleolobos distributários de um possível leque fluvial foram reconhecidos.

**Palavras Chave** – rio Miranda; sistema deposicional; geotecnologias; sensoriamento remoto.

## ABSTRACT

The Pantanal depositional tract has several fluvial megafans created by rivers with drainage basins in the adjacent plateaus. The Miranda's is one of least known among all the depositional systems in the Pantanal. The scope of this study is to characterize the Miranda river geomorphology and to recognize evidence of paleoenvironmental and paleohydrological changes. To reach these objectives, the following steps were developed: 1) digital processing of orbital data, such as satellite and SRTM data; 2) delimitation and geomorphological subdivision of the depositional system of the Miranda river; 3) integration and interpretation of data, with identification of current and relict depositional landforms; 4) recognition of environmental changes. Three zones were recognized within the system: a confined river plain, an active depositional lobe and an abandoned depositional lobe. The Principal Components Analysis (PCA), applied to the images of satellites, Landsat-7 ETM + and ASTER, resulted in enhancement of relief features. The SRTM data, allowed the recognition of amalgamated depositional landforms inside the alluvial plain, different generations of active and abandoned meanders belts, as well as distributaries paleolobes, were recognized.

**Keywords** – Miranda river; depositional system; geotechnologies; remote sensing.

## 1. INTRODUÇÃO

Depósitos sedimentares quaternários são excelentes arquivos que registram mudanças ambientais, permitindo acesso ao passado recente, bem como fornecendo informações para o monitoramento de mudanças nos sistemas sedimentares atuais. Tais sistemas permitem interface direta com diferentes áreas de conhecimento das Ciências da Terra, como Geomorfologia, Hidrologia, Ecologia, Engenharia Ambiental dentre outras ([Perry & Taylor, 2007](#); [Bridge 2003](#)).

A importância do estudo desses sistemas, principalmente daqueles que tiveram sua gênese e evolução durante o Quaternário, e da sua relação com a paisagem são fundamentais para o entendimento das características e também das alterações ocasionadas nas planícies fluviais. O suprimento sedimentar irá influenciar diretamente a morfologia do canal e o aporte de importantes nutrientes, ou mesmo contaminantes, que serão depositados em planícies, estuários e finalmente nos oceanos.

O conhecimento dos depósitos sedimentares quaternários do Brasil tem avançado significativamente nos últimos anos. Tendo em vista o grande número de áreas de sedimentação existentes em nosso território, tais estudos necessitam ser ainda mais difundidos e realizados com maior intensidade.

Regiões como o Pantanal Mato-Grossense são áreas de importância fundamental para o entendimento da formação e da evolução da paisagem no interior do continente. Com relação aos sistemas deposicionais que ocorrem atualmente no Pantanal, merecem destaque os grandes leques fluviais, reconhecidos em imagens de satélite e de radar. Diversos estudos vêm sendo desenvolvidos para melhor compreender esses sistemas. [Assine \(2003\)](#) estudou a sedimentação da bacia do Pantanal considerando o trato de sistemas deposicionais. [Facincani et al \(2006\)](#) estudaram a geomorfologia fluvial do megaleque do rio Aquidauana e [Almeida et al. \(2006\)](#) a distribuição espacial de diferentes classes de lagoas da Nhecolândia a fim de compreender a gênese das mesmas. [Zani \(2008\)](#) abordou a evolução geomorfológica do megaleque do rio Taquari. [Kuerten \(2010\)](#) estudou as mudanças ambientais quaternárias do megaleque do Nabileque. [Silva \(2010\)](#) e [Corradini \(2011\)](#) buscaram compreender a geomorfologia dos megaleque do rio Paraguai e do rio São Lourenço respectivamente.

De todos os sistemas deposicionais do Pantanal, o do Miranda é um dos menos conhecidos, visto que nenhum trabalho foi desenvolvido até o momento com foco principal em sua geomorfologia fluvial. Dentro deste cenário e buscando contribuir para o entendimento da gênese e da evolução dos sistemas sedimentares quaternários que compõem o Pantanal, o presente trabalho trata da geomorfologia fluvial do sistema deposicional do rio Miranda com base no uso de geotecnologias (Figura 1).

Tal estudo é justificado dada a grande importância ambiental e econômica da região e também pela inexistência de delimitações que abranjam o sistema deposicional por completo, assim como existe para os demais sistemas aluviais que compõem a porção sul do Pantanal, tais como os dos rios Aquidauana, Nabileque, Negro e Taboco.

## 2. CONTEXTO FISIAGRÁFICO REGIONAL

A bacia do Alto Paraguai (BAP) é um grande mosaico geográfico composto pelo rio Paraguai e seus afluentes. Possui área de 1.095.000 Km<sup>2</sup> e estende-se por vasta região das terras do Centro-Oeste do Brasil (Mato Grosso e Mato Grosso do Sul) além de territórios da Bolívia, Paraguai e Argentina (ANA, 2004). A BAP engloba a planície do Pantanal, que está localizada no sul de Mato Grosso e oeste de Mato Grosso do Sul. Com extensão territorial de aproximadamente 138.000 Km<sup>2</sup>, o Pantanal é considerado a maior área alagável (*wetland*) do planeta (Junk et al., 2006). Devido à grande biodiversidade e características naturais peculiares, foi tombado pela UNESCO como Reserva da Biosfera e Patrimônio Natural da Humanidade no ano de 2000.

Segundo Assine (2003), o Pantanal Mato-Grossense não é uma planície geomorfologicamente homogênea, tanto que são reconhecidos diversos pantanais, cada um deles com características próprias de morfologia e dinâmica de inundações. Os diferentes pantanais são a expressão de diferentes sistemas de um amplo trato deposicional dominado por sedimentação aluvial, onde a planície fluvial do Rio Paraguai é coletora das águas de vários megaleques fluviais formados por rios, que têm suas nascentes nos planaltos existentes no entorno da depressão do Alto Paraguai (Figura 2).

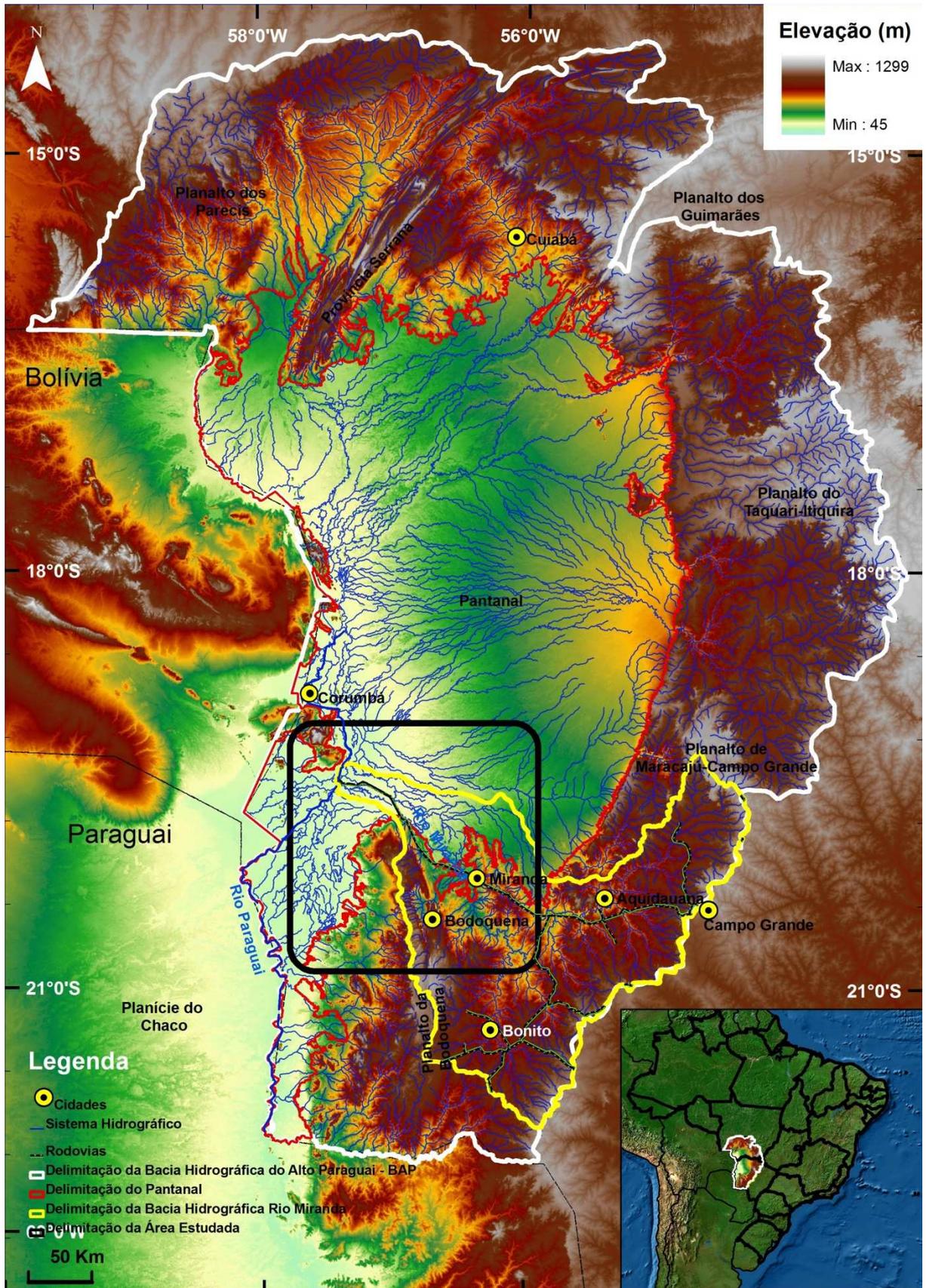
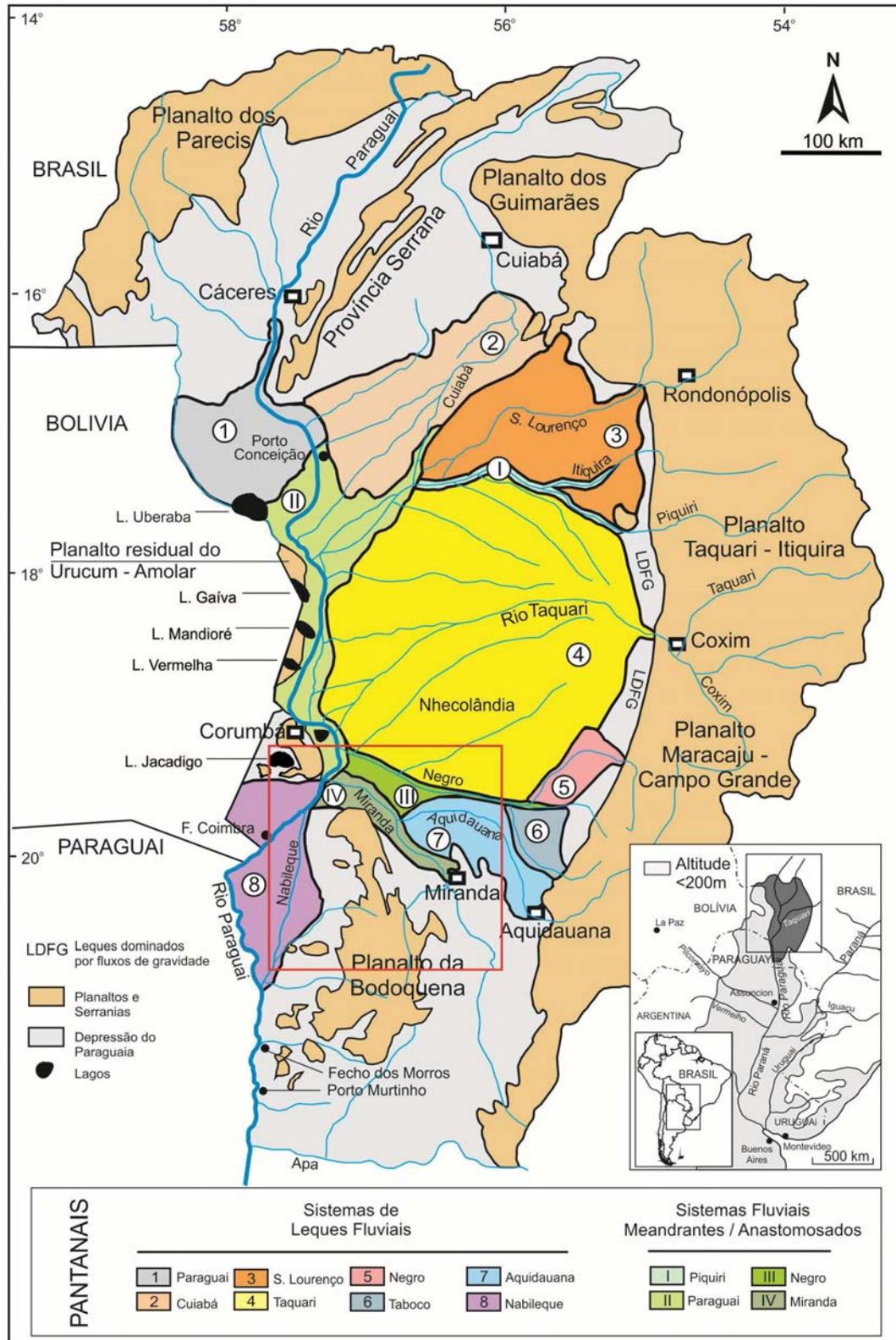


Figura 1 – Localização regional da área estudada. Modelo Numérico do Terreno (SRTM).



**Figura 2** – Trato deposicional do Pantanal com localização da área estudada (modificado de Assine 2010).

O Pantanal é rodeado pelos planaltos de Maracaju-Campo Grande e Taquari-Itiquira a leste, Guimarães e Parecis a norte, Urucum-Amolar a oeste e Bodoquena na parte sul (Assine & Soares, 2004). É uma ampla planície com baixa declividade, com altitudes que variam de 60 a 150 m acima do nível do mar. Tais características fazem com que o escoamento superficial seja bastante lento e propicie maior tempo de permanência de água no sistema, uma das principais causas das inundações sazonais.

A bacia sedimentar do Pantanal é resultado da colmatação sedimentar de uma bacia tectonicamente ativa, composta por diferentes sistemas deposicionais. O empilhamento estratigráfico mostra afinamento textural para o topo, predominando conglomerados e arenitos grossos na porção inferior e areias quartzosas finas a médias na porção superior. Os sedimentos mais antigos expostos na superfície do Pantanal são areias avermelhadas, caracterizadas pela presença de cimento de óxido de ferro, que registram condições ambientais mais quentes, provavelmente de clima tropical semi-úmido (Soares et al., 2003; Assine & Soares, 2004).

Muitas feições morfológicas são formas reliquias (Tricart, 1982; Ab'Saber, 1988; Soares et al., 2003; Assine & Soares, 2004), que testemunham uma evolução paleogeográfica condicionada por mudanças climáticas, variações do nível de base e variação na descarga fluvial, que vêm ocorrendo na área desde o Pleistoceno Tardio (Assine, 2003; Kuerten, 2010).

A vegetação do Pantanal apresenta grande variação de um local para o outro, criando um complexo mosaico vegetacional, onde predomina o bioma Cerrado. Ocorrem formações florestadas típicas, como por exemplo, matas de cordilheira e capões. Ambas são naturalmente fragmentadas e se formam em patamares mais elevados da planície. Normalmente não são alagadas durante as cheias, o que ocorre nas áreas abertas, denominadas vazantes, onde predominam espécies de gramíneas. Há espécies hidrófilas, mesófilas e xerófilas cuja ocorrência é condicionada pelo grau do alagamento.

O Pantanal possui regime sazonal de cheias. Durante alguns meses do ano, normalmente de dezembro a março, boa parte da planície pantaneira permanece alagada. O pulso de inundação, ou onda de cheia (Junk et al., 1989), faz com que diferentes áreas apresentem picos de inundação defasados. Segundo Padovani (2010), o nível de inundação é uma questão estratégica para a utilização do

Pantanal e as variações sazonais das condições hidrológicas formam planícies distintas quanto à duração e altura das inundações.

De acordo com a classificação de Köppen, o tipo climático da região é o “AW”, definido como clima tropical úmido, com temperaturas médias anuais em torno de 25 °C. As estações chuvosas e secas são bem definidas, com concentração pluviométrica mais acentuada nos meses de dezembro a março. A precipitação média anual é de 1.400 a 1.500 mm no trecho superior e de 1.000 a 1.200 mm no trecho inferior (Pogodim & Resende, 2005). Entretanto, podem ocorrer variações em alguns anos, com precipitação significativa durante o inverno, que normalmente é seco. Isso ocorre devido à altitude e à localização continental da região que é sujeita a influências de massas de ar polares durante o inverno, que podem causar quedas bruscas de temperatura e, até mesmo, ocorrência de geadas (IBGE, 1989).

## 2.1. A Bacia hidrográfica do rio Miranda

Para caracterização fisiográfica regional e apresentação dos mapas hidrográfico, geológico e de formas de vertente, foi utilizada a delimitação de “Ottobacias” (Pfafstetter, 1987) criada pela ANA (Agência Nacional de Águas) para delimitar todas as bacias de drenagem do Brasil. Entretanto, cabe ressaltar que a área estudada foi delimitada a partir da região da bacia hidrográfica onde o rio Miranda abandona o padrão erosivo do substrato (*bedrock river*) e passa a formar áreas com deposição aluvial (*alluvial river*) (Figura 1).

### 2.1.1. Hidrografia

A bacia hidrográfica do rio Miranda está localizada na porção sudeste do Estado de Mato Grosso do Sul, possui área de aproximadamente 44.000 km<sup>2</sup>, abrangendo terras de 23 municípios (Figura 3).

O rio Miranda apresenta extensão de aproximadamente 750 km, de suas nascentes na Fazenda Remanso, nos limites dos municípios de Ponta Porã e Jardim (coordenadas 21°49.8 S/ 55°56.6 W, cota altimétrica de 340 m) até sua foz no rio Paraguai no Município de Corumbá (19°31.5 S /57°24. 5 W, cota altimétrica de 83 m).

Os tributários da margem esquerda do rio Miranda (Salobra, Prata, Formoso dentre outros) drenam rochas carbonáticas da Serra da Bodoquena, já os tributários

da margem direita (Nioaque, Aquidauana, Santo Antônio dentre outros) drenam áreas do planalto de Maracajú-Campo Grande onde predominam basaltos e arenitos.

O regime hidrológico muda completamente sua característica conforme o rio avança das cabeceiras em direção à planície. Dezenas de pequenos rios formam a bacia de captação. Em alguns pontos com relevo mais acidentado ocorre a formação de vales em “V”. Durante as cheias, nos pequenos rios formam-se grandes corredeiras, que acabam secando durante o período de estiagem. Como consequência da alta dissecação do relevo formam-se grandes depósitos aluvionares no leito dos rios à medida que estes se aproximam da planície pantaneira (Godoi, 2001).

Na região da Serra da Bodoquena, principalmente na área do Município de Bonito, é comum a presença de grutas criadas pela dissolução de rochas calcárias. Também é comum a formação de sumidouros, a partir dos quais o rio passa a correr subterraneamente, como é o caso do rio Perdido. Nesses rios não se verifica sedimentos no leito, mas sim matéria carbonática de aspecto esponjoso, o que confere às águas aspecto completamente cristalino (Corrêa et al., 1976).

### **2.1.2. Geomorfologia**

De acordo com Mendes et al., (2004), a geomorfologia da porção sul do Pantanal é bastante diversificada, e abrange os seguintes compartimentos (ou unidades) geomorfológicos: as depressões de Bonito, Miranda, Aquidauana, Bela Vista e Apa; os piemontes da Serra de Maracaju; as encostas elevadas Serra da Bodoquena e planícies coluviais pré-Pantanal, bem como grande extensão de planícies da borda sul do Pantanal.

Nos arredores da margem esquerda do rio Miranda predominam patamares mais elevados de relevo com topos convexos, enquanto que na margem direita as formas tabulares de topo aplanado, com diferentes ordens de grandeza e grau de aprofundamento das drenagens. A planície é constituída por áreas interfluviais baixas ligadas a sistemas fluvio-lacustres, depressões alagadiças, e morros testemunhos e terraços elevados que permanecem secos boa parte do ano (Alvarenga et al., 1982).

Dados disponibilizados pela [CPRM \(2008\)](#) mostram as seguintes feições de relevo ([Figura 4](#)): 1) planícies fluviais ou flúvio-lacustres; 2) superfícies aplainadas conservadas; 3) domínio de colinas amplas e suaves; 4) domínio de colinas dissecadas e morros baixos; 5) superfícies aplainadas, retocadas ou degradadas; 6) domínio montanhoso; 7) chapadas e platôs; 8) degraus estruturais e rebordos erosivos; 9) domínio de morros e serras baixas; 10) planaltos.

### 2.1.3. Geologia

O substrato geológico da bacia do rio Miranda é constituído por rochas neoproterozóicas da Faixa de Dobramento Paraguai, que contorna a borda meridional do Cráton Amazônico. As rochas metamórficas pré-cambrianas do embasamento cristalino pertencem aos grupos Cuiabá e Corumbá ([Alvarenga et al., 2000](#)). A porção sudoeste da bacia do rio Miranda é recoberta por rochas sedimentares de idade paleozóica e mesozóica, pertencentes à Bacia do Paraná. Na parte sul, aflora a Formação Pantanal, de idade cenozóica, camada mais superficial e gradativamente recoberta e retrabalhada por sedimentos quaternários ([Figura 5](#)).

Segundo [Almeida \(1968\)](#), três estágios estruturais distinguem-se na evolução da Faixa Paraguai, sendo, o Grupo Cuiabá a unidade stratigráfica mais antiga. Nele são reconhecidos cinco conjuntos de rochas distintas representadas da base para o topo por metaconglomerados e quartzitos, filitos e filitos ardosianos, quartzitos, metagrauvas e metarcóseos. Para [Alvarenga et al. \(2000\)](#), predominam rochas dobradas (calcários, siltitos laminados e arenitos), com clivagem e sem a presença de diamictitos e outros sedimentos glaciogênicos. [Boggiani \(2004\)](#) descreveu o grupo como um conjunto de rochas pelíticas com caráter de *flysch*, metamorfoseadas, intensamente dobradas, que tem em sua base camadas de quartzitos e calcários subordinados.

O Grupo Corumbá é composto por carbonatos e rochas silicáticas expostas em faixa descontínua de 1.400 km de comprimento. Na Serra da Bodoquena a sedimentação teve início após a última glaciação proterozóica (600 Ma) ([Boggiani et al., 1993](#)). Desse grupo, três formações predominam na bacia hidrográfica do rio Miranda: Puga, Cerradinho e Bocaina. [Godoi \(2001\)](#), realizando trabalhos de mapeamento geológico, sumarizou na Folha Aquidauana (SF.21-X-A) informações sobre tais formações. A Formação Puga é a unidade basal composta por

conglomerados, e por paraconglomerados petromíticos com matriz argilo-silto-arenosa e cimento calcífero constituída de seixos e grânulos de granitóides, gnaisses, xistos, calcário e quartzo. A Formação Cerradinho é constituída por conglomerados, arcóseos, arenitos, siltitos, folhelhos e margas. A Formação Bocaina é constituída por calcários dolomíticos, calcários calcíticos, por vezes silicificados, com níveis oolíticos, intraclastos e raras estruturas estromatolíticas.

As rochas sedimentares da bacia do Paraná que afloram na região pertencem aos seguintes grupos: Paraná (Formação Furnas), Itararé (Formação Aquidauana) e São Bento (Formação Botucatu e Formação Serra Geral). Na Formação Furnas predominam arenitos de cores claras, com níveis conglomeráticos e com estratificação cruzada frequentemente. A Formação Aquidauana é caracterizada pela natureza detrítica de suas fácies sedimentares, essencialmente arenosas e de coloração predominantemente avermelhada. A Formação Botucatu possui arenitos de cor rosa a vermelho escuro, finos a médios, friáveis. Já a Formação Serra Geral é constituída por basaltos dispostos numa série de derrames superpostos, representativos de um intenso vulcanismo fissural.

A unidade estratigráfica mais recente é a Formação Pantanal. Segundo [Almeida \(1964\)](#), compreende depósitos arenosos e siltico-argilosos, com pouco cascalho, com leques aluviais, taludes e lateritos ferruginosos formados sob condições climáticas distintas da atual. [Corrêa et al. \(1976\)](#) dividiram a formação em três unidades distintas: 1) inferior: com sedimentos de natureza areno-conglomeráticos semiconsolidados de planícies aluviais mais antigas; 2) intermediária: aflora em áreas alagáveis do Pantanal com sedimentos argilo-arenosos semiconsolidados; 3) superior: restrita às calhas dos principais canais de drenagem da planície, com sedimentos areno-argilosos semiconsolidados caracterizando os aluviões recentes.

A Formação Xaraiés ocorre diretamente sobre os calcários e dolomitos do Grupo Corumbá, sendo composta por um nível basal de calcretes, de tipo pedogenético e freático, sobreposto por um pacote de tufas micríticas com grande quantidade de gastrópodes, também ocorrem as tufas calcárias do tipo fitohermal, compondo barragens e cachoeiras ([Oliveira et al., 2009](#)).



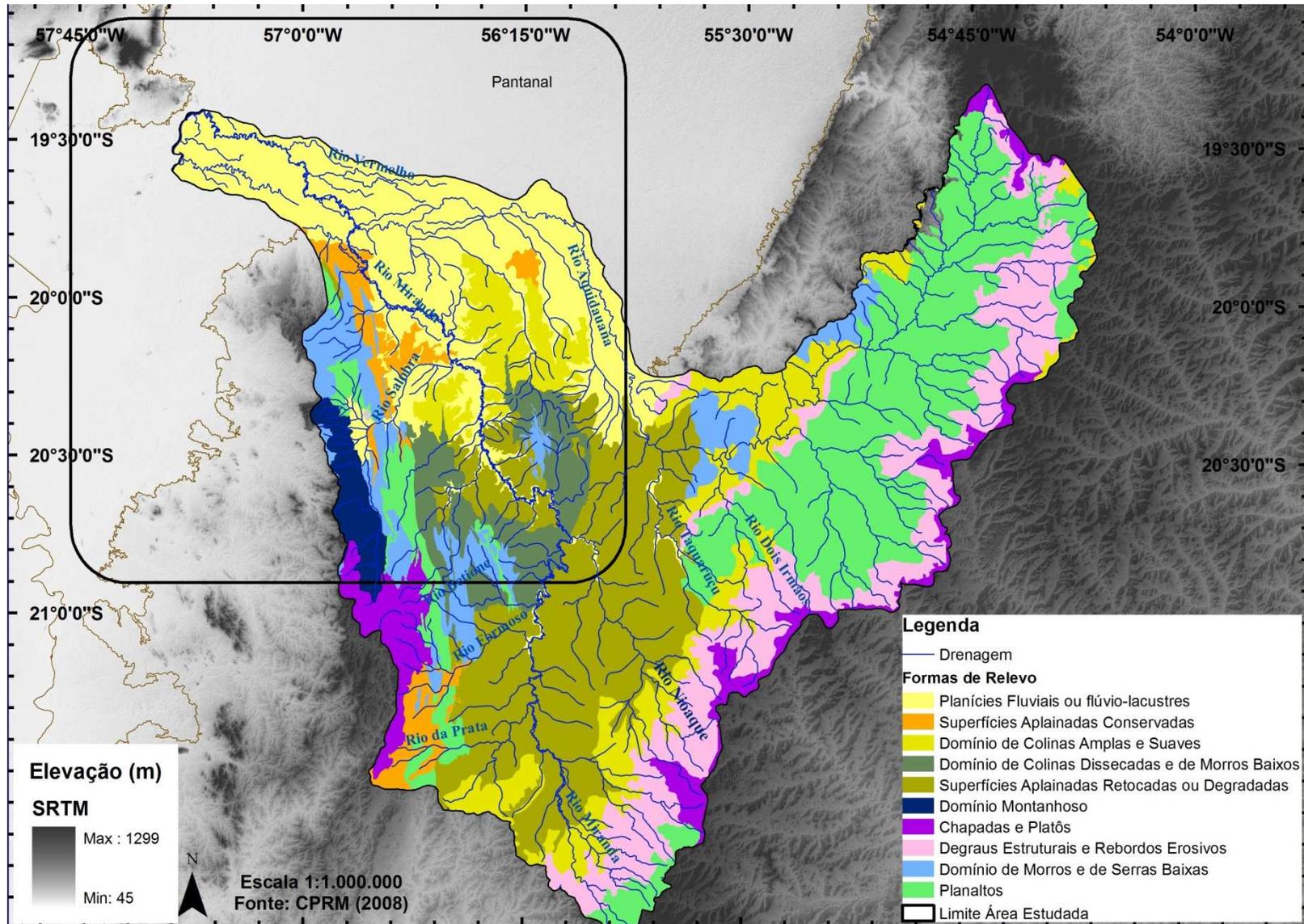


Figura 4 – Mapa de formas de relevo da bacia de drenagem do rio Miranda.

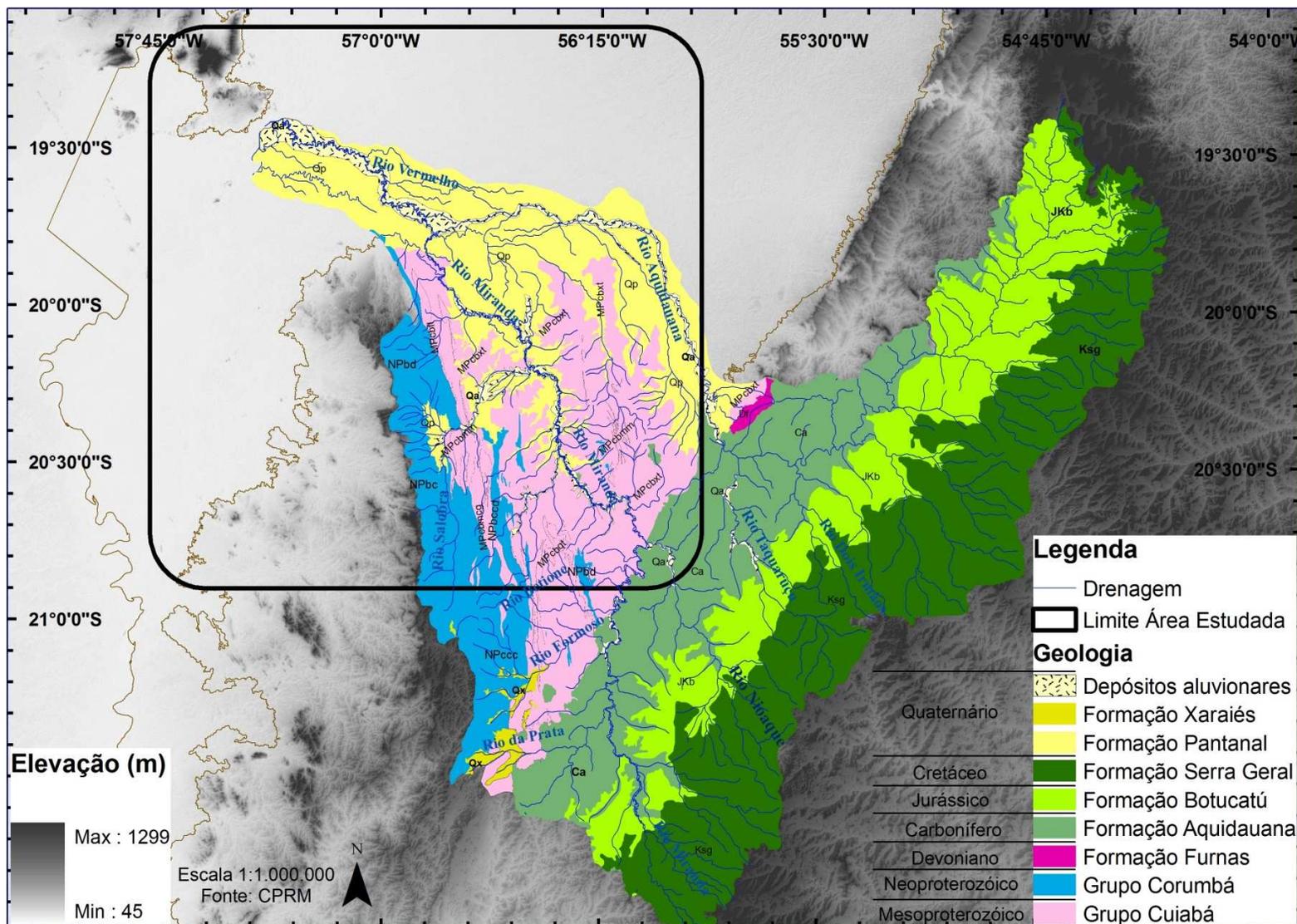


Figura 5 – Mapa geológico da bacia de drenagem do rio Miranda.

#### 2.1.4. Pedologia

Com relação aos solos da bacia, [Nogueira et al., \(1978\)](#) reconheceram seis tipos principais: 1) latossolos, que ocorrem nas áreas pediplanizadas com coloração avermelhada e textura argilosa; 2) solos calcimórficos, concentrados na região da Serra da Bodoquena oriundos de rochas carbonáticas e normalmente com perfil incipiente; 3) litossolos, relacionados a litologias do Grupo Cuiabá, são pouco desenvolvidos e muito pedregosos com fragmentos de quartzo; 4) solos hidromórficos, confinados às planícies aluviais dos rios e no Pantanal, são de coloração cinza a cinza escuro com textura argilosa e com alta concentração de matéria orgânica; 5) solos halomórficos, presentes no Pantanal em regiões onde em decorrência da intensa evaporação nos períodos de estiagem há concentração de sais; 6) solos aluviais, distribuídos ao longo das margens e confluências dos principais rios, de textura arenosa, inconsistente e algumas vezes pedregosa, bastante permeáveis.

### 3. OBJETIVOS

Este trabalho tem por escopo a caracterização geomorfológica do sistema deposicional do rio Miranda, bem como o reconhecimento de feições indicativas de mudanças paleoambientais e paleohidrológicas. Para alcançar tal escopo, são objetivos deste trabalho:

1. Teste de processamentos de dados orbitais visando realçar feições morfológicas;
2. Delimitação geográfica do sistema deposicional do rio Miranda;
3. Compartimentação geomorfológica do sistema deposicional;
4. Reconhecimento das geoformas deposicionais, atuais e relictas, existentes na área (paleocanais, paleocinturões de meandros, complexo canal-dique marginal etc)
5. Caracterização dos estilos fluviais do rio Miranda;
6. Reconhecimento de evidências de mudanças paleohidrológicas e tentativa de estabelecimento de cronologias relativas.

## 4. MÉTODOS E MEIOS

Devido à grande difusão dos produtos orbitais e das técnicas de processamento digital de imagens nas últimas décadas, houve grandes avanços no estudo e caracterização do meio físico. O uso de fotografias aéreas, imagens de satélite e de radar tornou-se ferramenta de grande alcance, sobretudo quando associadas a trabalhos de campo para validação das informações.

### 4.1. Banco de dados geográficos

Um banco de dados geográficos foi organizado para otimização da pesquisa no software ArcGis 9.3.1 (ESRI, 2008), que é um Sistema de Informações Geográficas (SIG). A projeção Universal Transversa de Mercator (UTM) foi o sistema de referência espacial e o georreferenciamento realizado no *datum* WGS84 zona 21S. Os dados foram organizados e agrupados, separando-se dados *raster* (imagens) de dados vetoriais (*shapefiles*).

As imagens foram agrupadas e organizadas pelo tipo de sensor (satélite ou radar), e os dados vetoriais de acordo com suas tabelas de atributos. Os arquivos vetoriais foram organizados segundo a classe dos dados, com a criação de arquivos do tipo *Features Datasets* dentro do banco de dados. No Arcgis, a *Feature Dataset* funciona como recipiente para armazenar um conjunto de dados vetoriais (*layers*), tendo sido criados os de Geologia, Geomorfologia, Hidrologia, Classificação dos Pantanais, Bacias Hidrográficas entre outros.

### 4.2. Processamento digital de imagens

No presente trabalho foram utilizadas as seguintes imagens: **Landsat 7 ETM+** (cenas p225074, p225075, p226074, p226075); **Mosaicos TM Landsat ‘Geocover’** (cenas S21-10, S21-15, S21-20, S22-15); **Aster** (cenas AST\_L1A.003:2078989358; AST\_L1A.003:2079889875, AST\_L1A.003:2024368336, AST\_L1A.003:2014358768, AST\_L1A.003:2029989565).

Segundo Crósta (1992), o processamento digital de imagens de Sensoriamento Remoto (SR) constitui forma de sintetizar, em uma única imagem,

grande quantidade de informação, em diferentes cores e com diferentes tonalidades, a partir da composição de um conjunto de três bandas (tripletes). Segundo este mesmo autor, o intérprete das imagens deve analisar três propriedades básicas: tonalidade, textura e contexto da imagem. Todos os processamentos de imagens foram realizados no software ENVI 4.6 (ITT, 2008) e os dados resultantes posteriormente exportados para o software ArcGis 9.3.1 (ESRI, 2008).

O processamento inicial foi a geração de composição colorida “RGB” com as bandas **R7G4B2** do satélite Landsat e bandas **R3G2B1** para o ASTER. Este tipo de composição colorida é o processamento mais utilizado pelos pesquisadores em geral.

A Análise das Principais Componentes (APC) foi aplicada às imagens para diminuir a generalização das formas de relevo e melhorar a interpretação das imagens Landsat e ASTER. A APC cria um conjunto de bandas não correlacionadas a partir de imagens com alta correlação. É uma forma de realce espectral a partir de uma combinação linear entre bandas por meio da qual é gerado um novo grupo de imagens não correlacionadas, o de principais componentes (PC).

O número de PC's está diretamente ligado ao número de bandas utilizadas na análise. Dado um conjunto com “N” imagens, sem qualquer processamento prévio, são analisadas as correlações entre elas e criado um novo conjunto “N” de imagens sem nenhuma correlação entre si. O novo conjunto terá as seguintes características: A) 1ª PC contém a informação espacial que é comum para todas as “N” bandas originais utilizadas; B) 2ª PC contém a feição espectral mais significativa do conjunto; C) PC's de ordem mais elevadas conterão feições espectrais menos correlacionadas; D) a última PC possui a menor porcentagem de similaridade entre as bandas (Crósta, 1992).

Para realização da APC no ENVI, é necessário que todas as bandas estejam agrupadas. Essa etapa pode ser realizada no menu *Basic Tool/ Layer Stacking*. Depois de agrupadas, as imagens devem ser abertas no menu *Transform/Principal Components/ Forward PC Rotation/Compute New Statistics and Rotation*. Realizados estes passos, basta agrupar as bandas que irão compor a APC em conjuntos previamente definidos. Os conjuntos selecionados para o sensor Landsat foram: 1) Bandas 7 e 5; 2) Bandas 7,5 e 4; 3) Bandas 3,2 e 1. Para o sensor ASTER, foi realizada a análise com o conjunto das bandas 3,2 e 1.

Após a extração das PC's dos conjuntos acima citados foram realizadas composições RGB entre as imagens resultantes da APC e as imagens sem processamento (bandas 1,2,3,4,5 e 7). As Composições Landsat (CL) foram: 1) CL RGB 1: **R**(1ª PC do conjunto das bandas 3,2 e 1) **G**(1ª PC do conjunto das bandas 7,5 e 4) **B**(Banda 2); 2) CL RGB 2 (Paradella et al., 2001; Souza Filho & Paradella, 2005): **R**(1ª PC do conjunto das bandas 7 e 5) **G**(1ª PC do conjunto das bandas 3,2 e 1) **B**(Banda 4); 3) CL RGB 3: **R**(1ª PC do conjunto das bandas 7,5 e 4) **G**(1ª PC do conjunto das bandas 3,2 e 1) **B**(Banda 5).

As composições ASTER (CA) também derivadas do cruzamento entre as PC's e as imagens sem processamento foram: 1) CA RGB 1: **R**(Banda 2) **G**(2ª PC do conjunto das bandas 3,2 e 1) e **B**(Banda 1); 2) CA 2 - **R**(1ª PC do conjunto das bandas 3,2 e 1) **G**(Banda 1), **B**(Banda 2).

Outro tipo de imagem utilizada no trabalho foi o mosaico Geocover, que é uma imagem de abrangência regional, originada a partir de um conjunto de cenas mosaicadas do satélite Landsat-5, com resolução de 28,5 m. Tais imagens são bastante utilizadas para estudos em escala regional. Para este estudo foi criado um mosaico de imagens Geocover que abrangesse toda área da bacia do Alto Paraguai e do Pantanal, tendo sido posteriormente recortada a área estudada (Figura 6).

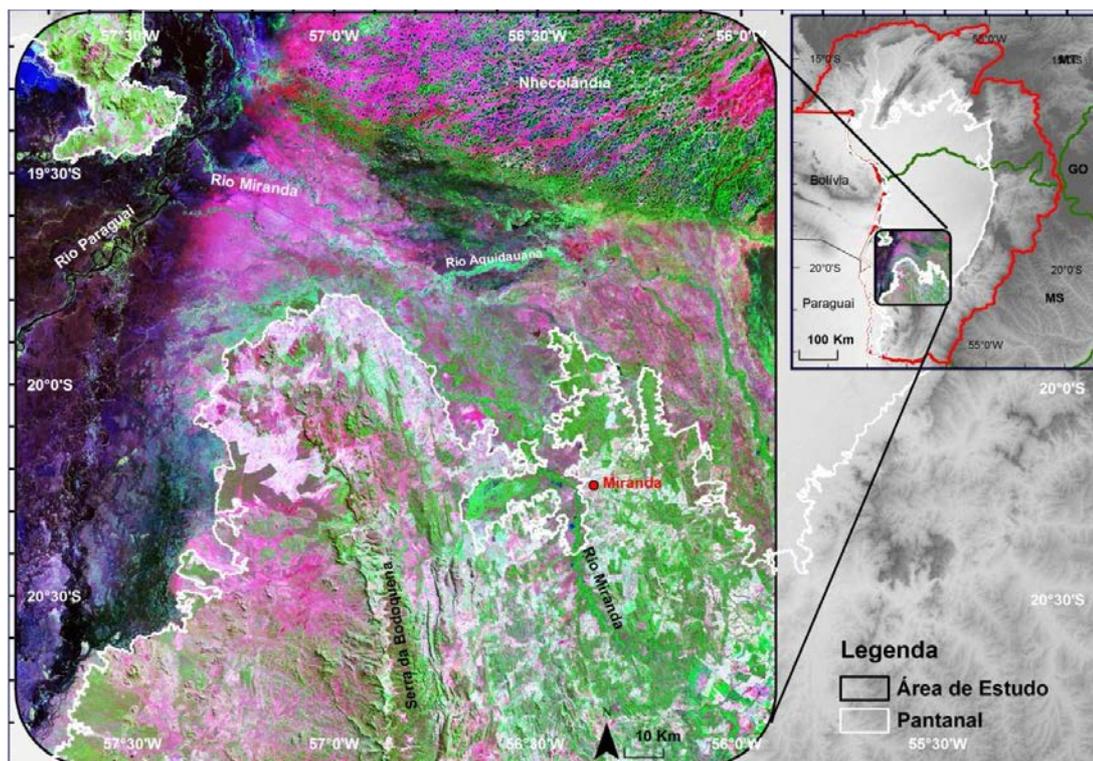


Figura 6 – Área estudada (Imagem GEOCOVER).

### 4.3. Modelo digital de elevação

As informações altimétricas utilizadas no estudo foram aquelas coletadas pelo componente SAR banda-C da Shuttle Radar Topographic Mission (SRTM), versão 4. Tais dados são disponibilizados pela CGIAR-CSI (Consortium for Spatial Information), que é uma organização internacional de cientistas que usam informação e tecnologias de SIG e Sensoriamento Remoto na aplicação da agricultura sustentável.

Os dados SRTM, originalmente distribuídos pela NASA, são o mais completo modelo digital de elevação (MDE) da Terra. A versão utilizada neste trabalho foi redistribuída pela CGIAR-CSI após reinterpolação e melhoramento espacial dos dados (Jarvis, 2008). Os MDEs foram utilizados em diferentes escalas de cores e com diferentes classificações altimétricas de acordo com as necessidades de suporte ao mapeamento e à identificação das geformas deposicionais e erosivas presentes na área estudada.

As cenas utilizadas para o estudo foram: SRTM\_25\_15, SRTM\_25\_16, SRTM\_25\_17, SRTM\_26\_15, SRTM\_26\_16, SRTM\_26\_17 (coletadas no site <http://srtm.csi.cgiar.org/SELECTION/inputCoord.asp>). Os dados foram mosaicados no Arcgis 9.3.1 e processados em diversos intervalos altimétricos no software Global Mapper 7.03.

Superfícies de tendência do relevo foram obtidas a partir do MDE. Os produtos deste método mostram a disposição global da superfície topográfica da área. Tal procedimento foi realizado no software ArcGis 9.3.1 (ESRI, 2008) de acordo com metodologia proposta por Zani et al. (2009). A superfície de tendência é calculada através de regressão multivariada com os valores de altitude (Z) em função das coordenadas geográficas (X e Y), conforme a Equação 1, na qual: **N** é o grau do polinômio; **i** e **j** variáveis de interação associadas a **N**, e **d** coeficiente de regressão.

Equação 1:

$$Z = \sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^N d_{ij} X^i Y^j$$

Para o sistema deposicional do rio Miranda foram testados polinômios de 2º ao 4º grau. A melhor adequação à área foi a superfície gerada pelo polinômio de 3º

grau. Através da subtração da superfície de tendência pelo MDE original foram obtidos os resíduos altimétricos. Esses dados mostram as variações locais do relevo.

#### **4.4. Compartimentação geomorfológica**

A compartimentação fisiográfica consiste em dividir determinada região em áreas que apresentem internamente características fisiográficas homogêneas e que sejam distintas das áreas adjacentes (Vedovello, 1993). Uma etapa fundamental da compartimentação do meio físico, em função da identificação e análise de seus elementos, é a caracterização das áreas resultantes para análise e classificação das feições identificadas.

Os critérios principais adotados para compartimentação geomorfológica da área foram: 1) A delimitação do sistema deposicional do rio Miranda na planície pantaneira, com base em relações morfológicas reconhecidas em dados de sensores remotos (fotografias aéreas, imagens de satélite e dados SRTM); 2) O agrupamento de áreas com características internas semelhantes, que constituem zonas homólogas (Soares & Fiori, 1976; Vedovello, 1993); 3) A identificação dos compartimentos geomorfológicos, agradacionais e degradacionais, no entorno do sistema deposicional do rio Miranda; 4) O mapeamento de geoformas deposicionais e erosivas, atuais e relictas, tais como: meandros e cinturões de meandros abandonados, elevações residuais, complexos canal-dique marginal etc.

O mapeamento foi realizado com a utilização das diversas imagens Landsat e ASTER, devidamente processadas durante o trabalho. Teve como suporte MDEs, mapas geológicos (Godoi, 2001) e geomorfológicos (Alvarenga et al., 1982; CPRM, 2008). O sistema deposicional do rio Miranda foi delimitado na escala 1:100.000 e as geoformas mapeadas na escala 1:25.000. As feições foram delimitadas manualmente pela interpretação visual das imagens de satélite e dos MDEs.

O contato entre os terrenos aplainados da Serra da Bodoquena e o Pantanal é bastante sutil. Sendo assim, foram necessárias inúmeras confirmações visuais nas imagens, MDEs e nos mapas geológico e geomorfológico, para validação do mapeamento. Na planície pantaneira, o principal elemento observado para a delimitação de cada sistema deposicional foi a relação de truncamento de canais e paleocanais dos diferentes sistemas.

Uma campanha de campo com a duração de cinco dias foi realizada para reconhecimento da área e dos processos atuantes, bem como para validação das formas mapeadas. Foi percorrido grande trecho dentro da área estudada, desde as regiões planálticas da bacia de drenagem até a foz do rio Miranda com o rio Paraguai. Alguns locais não puderam ser visitados devido à destruição de estradas e aterros pela ação das cheias (Figura 7) e ao fato de que algumas propriedades privadas não permitiram a entrada. Foi realizado sobrevôo com duração de 3,5 horas, durante o qual se buscou compreender melhor a interação entre os diversos rios da região e também realizar registros fotográficos da área.



**Figura 7** – Aterro destruído pela ação da cheia de 2011 no Refúgio Ecológico Caiman. NA imagem é possível notar os estragos provocados pela cheia de 2011. Boa parte das estradas e aterros do sul do Pantanal foi inundada ou destruída pelas correntes. Diversas pontes de madeira também foram destruídas, prejudicando o acesso a algumas áreas mesmo após o recuo das águas da cheia.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1. Processamento dos dados orbitais

O acesso por terra é praticamente impossível na maior parte do ano em grande parte de regiões como o Pantanal, seja pelo isolamento de algumas áreas, seja pela logística necessária para realização de trabalhos de campo. Sendo assim, o uso de Geotecnologias é uma poderosa ferramenta utilizada para estudos de caracterização da paisagem e da dinâmica de evolução do relevo.

No Pantanal, propriedades texturais dos dados orbitais são melhor visualizadas em regiões como as dos megaleques do Taquari e do São Lourenço. Em outras regiões, como na do sistema deposicional do rio Miranda (SDRM), para mapear adequadamente as geoformas deposicionais, atuais e relictas, são necessários processamentos adicionais para o reconhecimento e interpretação das mesmas. Esta área é bastante plana, com baixa variação altimétrica, freqüentemente inundada e com feições deposicionais obliteradas, sendo assim o processamento digital de imagens (PDI) contribuiu bastante no reconhecimento e caracterização das geoformas do SDRM.

O processamento de Análise de Principais Componentes (APC) aplicado às imagens do satélite Landsat-7 ETM+ resultou em ganhos espectrais das informações espaciais. As composições Landsat RGB (CL 1,2 e 3) obtidas através da composição colorida entre as imagens derivadas da APC e as imagens espectrais sem processamento, realçaram a forma e a textura de antigos cinturões de meandros do SDRM. A distinção entre áreas descampadas e áreas com vegetação densa também apresentou realce textural nas três composições com imagens da APC. A CL RGB 3 ainda destacou áreas alagadas que não puderam ser observadas em outras composições como *crevasses* e pequenos canais de drenagem.

Diferentes tipos de geoformas que existem na área são destacados nas figuras 8, 9 e 10. As composições derivadas da APC são comparadas à composição R7G4B2 (realizada sem processamentos adicionais). Tal comparação é realizada para demonstrar em qual composição as geoformas são melhor realçadas.

Uma faixa de complexo canal-diques marginais é apresentada na [Figura 8](#). Nota-se que na composição do quadro “A” ocorre generalização das formas do canal

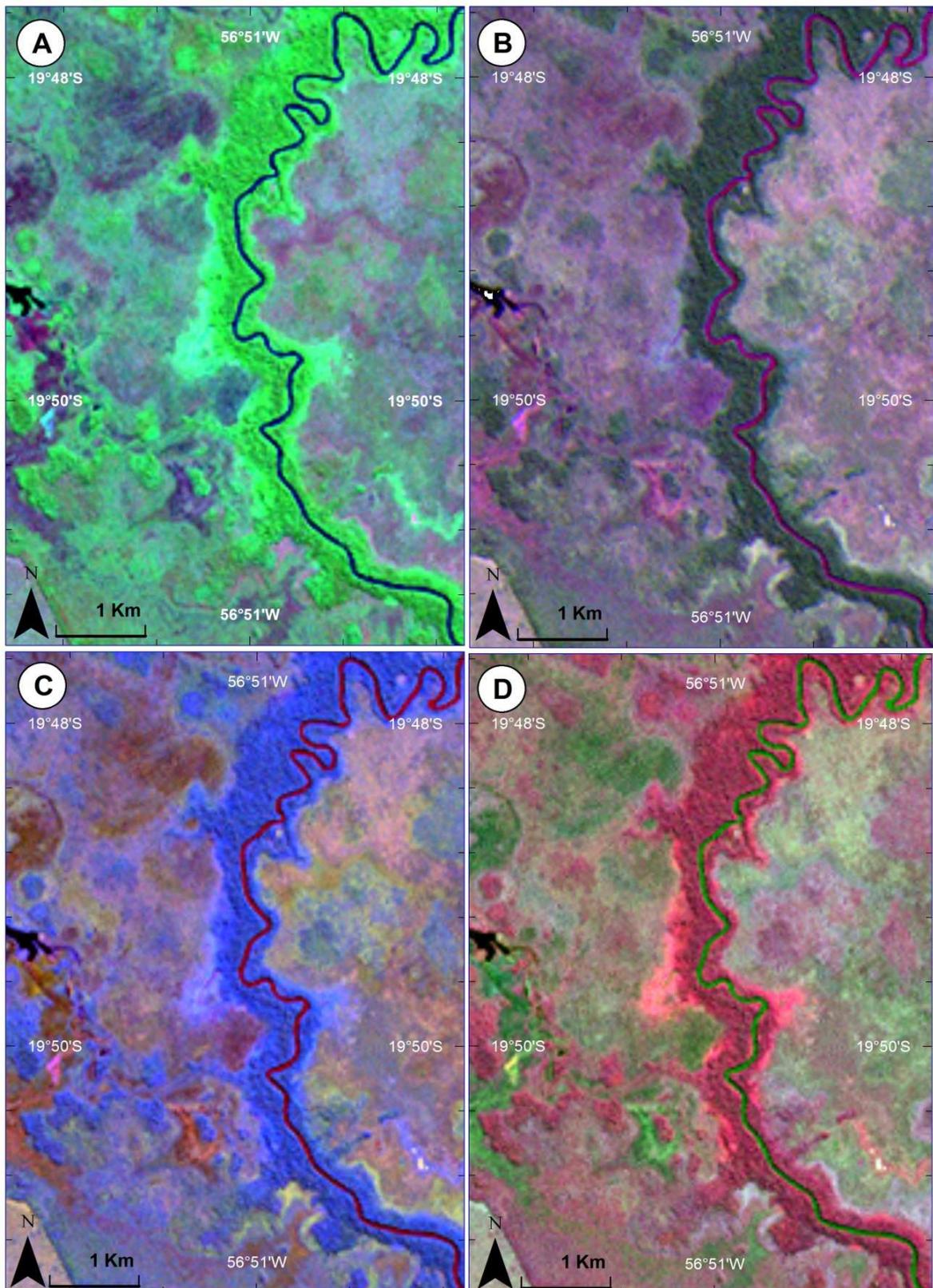
e principalmente da área da planície adjacente. Tal generalização é ocasionada pela redundância espectral entre as bandas. Nas composições dos quadros “B, C e D” notam-se significativas melhoras visuais além de maior distinção entre as feições, principalmente na faixa do canal. No quadro “D”, áreas permanentemente alagadas ou relacionadas a pequenas *crevasses* também são destacadas com maior nitidez na imagem (áreas com tons salmão).

Antigos cinturões de meandros são destacados na [Figura 9](#). Para este tipo de feição, a composição R7G4B2 também generaliza as feições (quadro A). As composições dos quadros “B,C e D” realçam a morfologia da feição com melhor delineamento dos antigos meandros, além de destacar pequenos paleocanais de drenagem no interior dos paleocinturões. Áreas com umidade mais elevada novamente são melhor destacadas no quadro “D”.

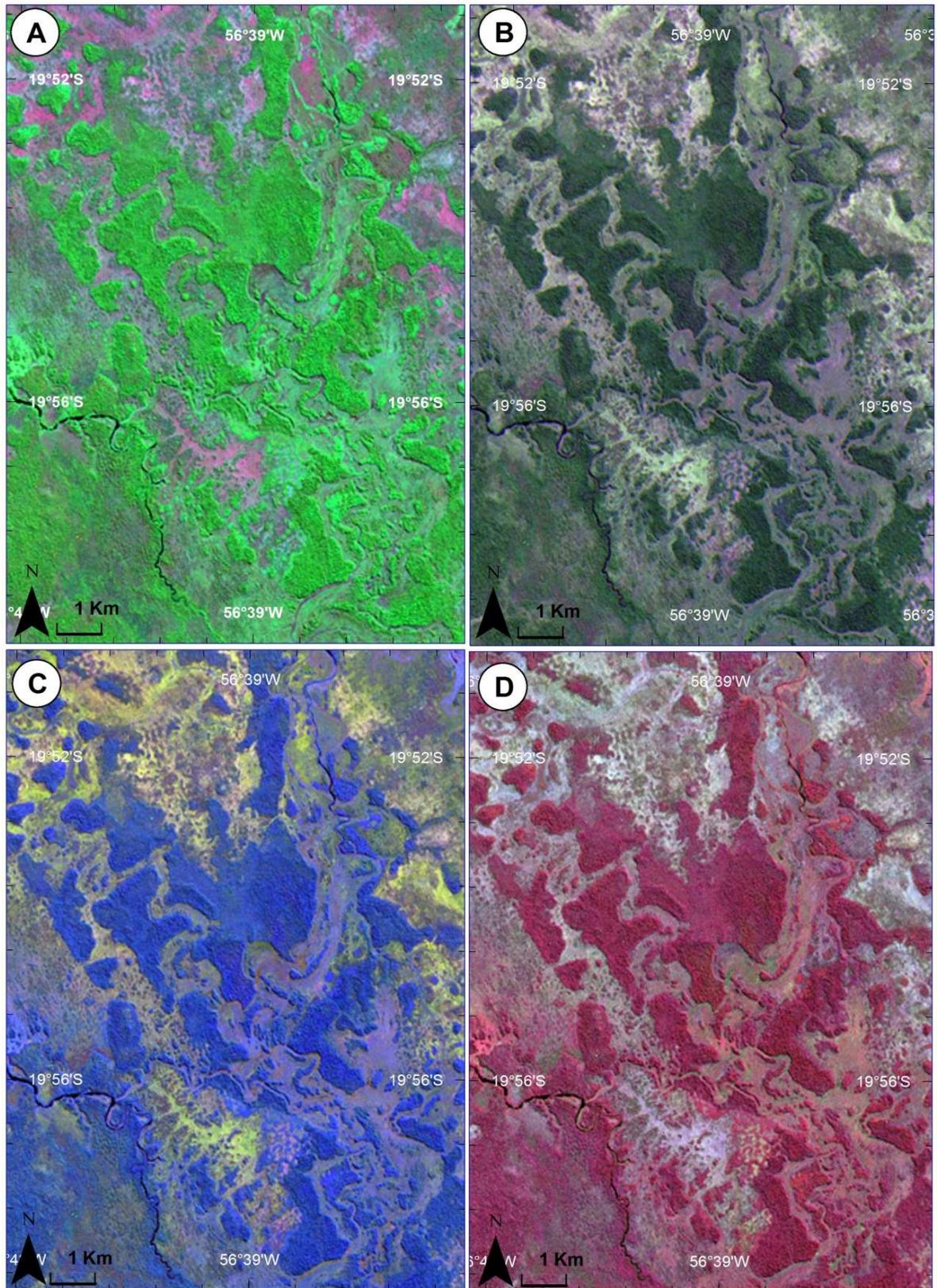
Na [Figura 10](#) é apresentado um paleocinturão com canal entrelaçado e também um leque aluvial. Em todas as composições a morfologia do leque foi bem delineada, porém nas composições dos “A e D”, canais distributários ativos são mais visíveis. Para destacar melhor a forma do paleocinturão, bem como seus pequenos canais, as composições “B,C e D” são as mais indicadas. São também são para distinção entre áreas florestadas e áreas abertas, pois realçam bem áreas com vegetação de grande porte.

Ganhos espectrais gerados pela APC também foram destacados por [Gonçalves et al. \(2009\)](#), que aplicaram esse processamento em estudos de identificação e mapeamento de ambientes fluvio-estuarinos amazônicos. Segundo os autores, a imagem Landsat-7 ETM+ demonstrou ampla gama de informações espectrais e permitiu boa distinção entre diferentes ambientes.

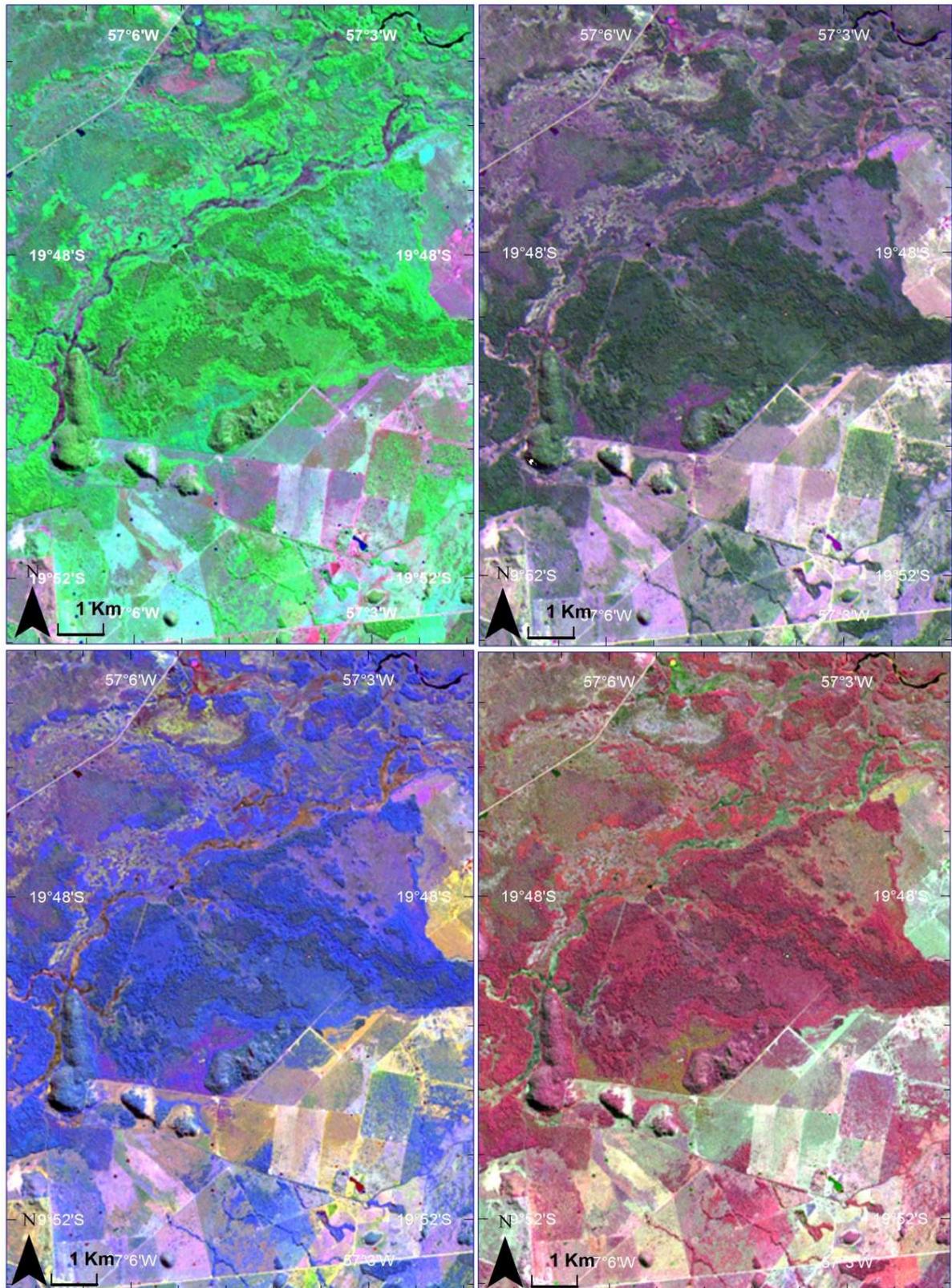
De acordo com [Crósta \(1992\)](#), a APC é uma das funções de processamento digital de imagens mais poderosas para manipulação de dados multiespectrais. Segundo [Novo \(1992\)](#), a técnica reduz a grande dimensionalidade dos dados, ou seja, a redundância espectral entre as bandas, pois concentra as informações dos diferentes canais em uma menor dimensão: uma principal componente.



**Figura 8** – Complexo canal-dique marginal do rio Miranda em quatro composições coloridas do sensor Landsat-7 ETM+: **A)** Composição R7G4B2; **B)** CL RGB 1: R(1ª PC do conjunto das bandas 3,2 e 1) G(1ª PC do conjunto das bandas 7,5 e 4) B( Banda 2); **C)** CL RGB 2: R(1ª PC do conjunto das bandas 7 e 5) G(1ª PC do conjunto das bandas 3,2 e 1) B(Banda 4); **D)** CL RGB 3: R(1ª PC do conjunto das bandas 7,5 e 4) G(1ª PC do conjunto das bandas 3,2 e 1) B(Banda 5).



**Figura 9** – Paleocinturões de meandros do rio Miranda em quatro composições coloridas do sensor Landsat-7 ETM+: **A)** Composição R7G4B2; **B)** CL RGB 1: R(1ª PC do conjunto das bandas 3,2 e 1) G(1ª PC do conjunto das bandas 7,5 e 4) B( Banda 2); **C)** CL RGB 2: R(1ª PC do conjunto das bandas 7 e 5) G(1ª PC do conjunto das bandas 3,2 e 1) B(Banda 4); **D)** CL RGB 3: R(1ª PC do conjunto das bandas 7,5 e 4) G(1ª PC do conjunto das bandas 3,2 e 1) B(Banda 5).



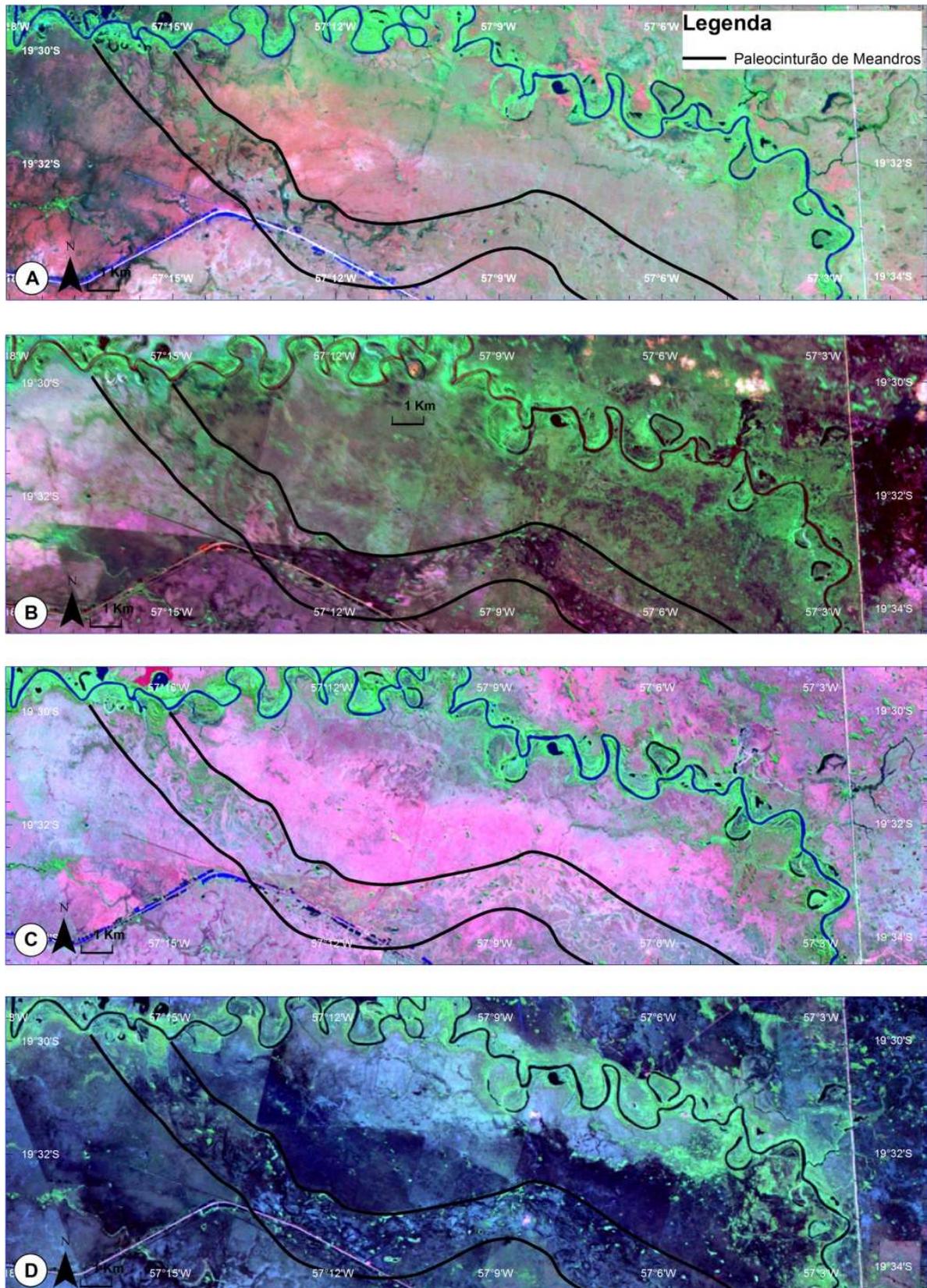
**Figura 10** – Paleocinturão entrelaçado e leque aluvial adjacente ao SDRM em quatro composições coloridas do sensor Landsat-7 ETM+: **A)** Composição R7G4B2; **B)** CL RGB 1: R(1ª PC do conjunto das bandas 3,2 e 1) G(1ª PC do conjunto das bandas 7,5 e 4) B( Banda 2); **C)** CL RGB 2: R(1ª PC do conjunto das bandas 7 e 5) G(1ª PC do conjunto das bandas 3,2 e 1) B(Banda 4); **D)** CL RGB 3: R(1ª PC do conjunto das bandas 7,5 e 4) G(1ª PC do conjunto das bandas 3,2 e 1) B(Banda 5).

No presente trabalho, essa redundância espectral pode ser constatada na composição R7G4B2, que apresentou alto índice de generalização para determinados tipos de geformas, principalmente nos paleocinturões. Para [Schowengerdt \(1997\)](#), este tipo de redundância ocorre por três fatores principais: 1) pela correlação espectral dos materiais, 2) pela topografia; 3) pela sobreposição das bandas. A série Landsat, apesar de possuir o maior acervo de dados orbitais, apresenta também algumas deficiências, a principal delas refere-se à resolução espacial das imagens. Por essa razão o uso de técnicas adicionais de processamento digital das imagens, como a APC, contribuiu bastante na análise espacial da área estudada.

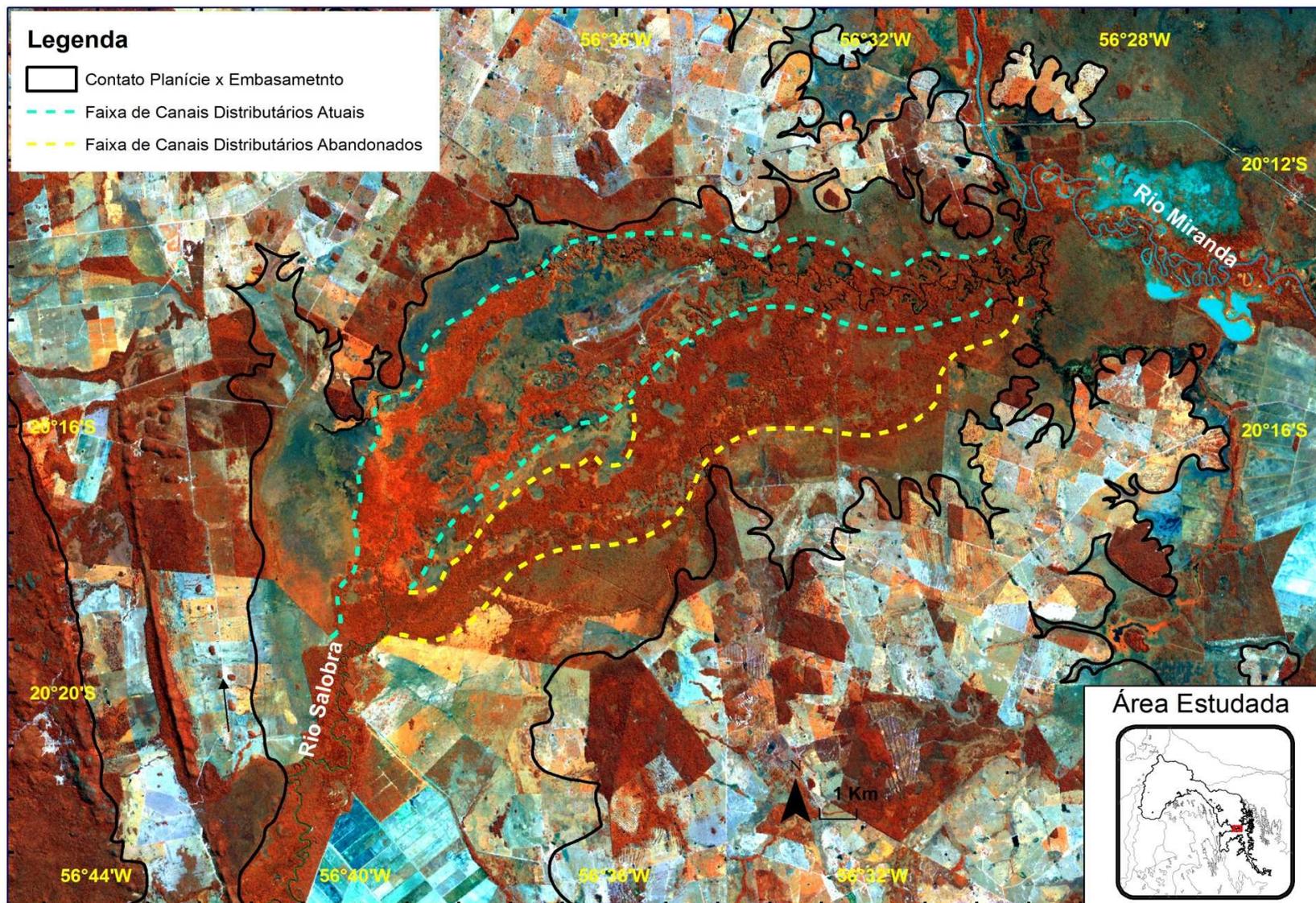
A utilização de imagens de anos e estações diferentes, também é uma das alternativas para contornar dificuldades de identificação de geformas deposicionais em regiões como o Pantanal, onde a paisagem está em constante transformação ([Figura 11](#)) ([Assine, 2005](#)). Outra opção é a utilização de dados de alta resolução como imagens dos satélites Quickbird e Ikonos, porém estas imagens não são disponibilizadas gratuitamente e não possuem escala temporal tão ampla quanto as séries Landsat e Aster.

Devido aos bons resultados obtidos com as imagens Landsat, a foi aplicada também às imagens ASTER, pois estas possuem maior resolução espacial (15 m) que as Landsat (30 m) e também melhor resolução espectral.

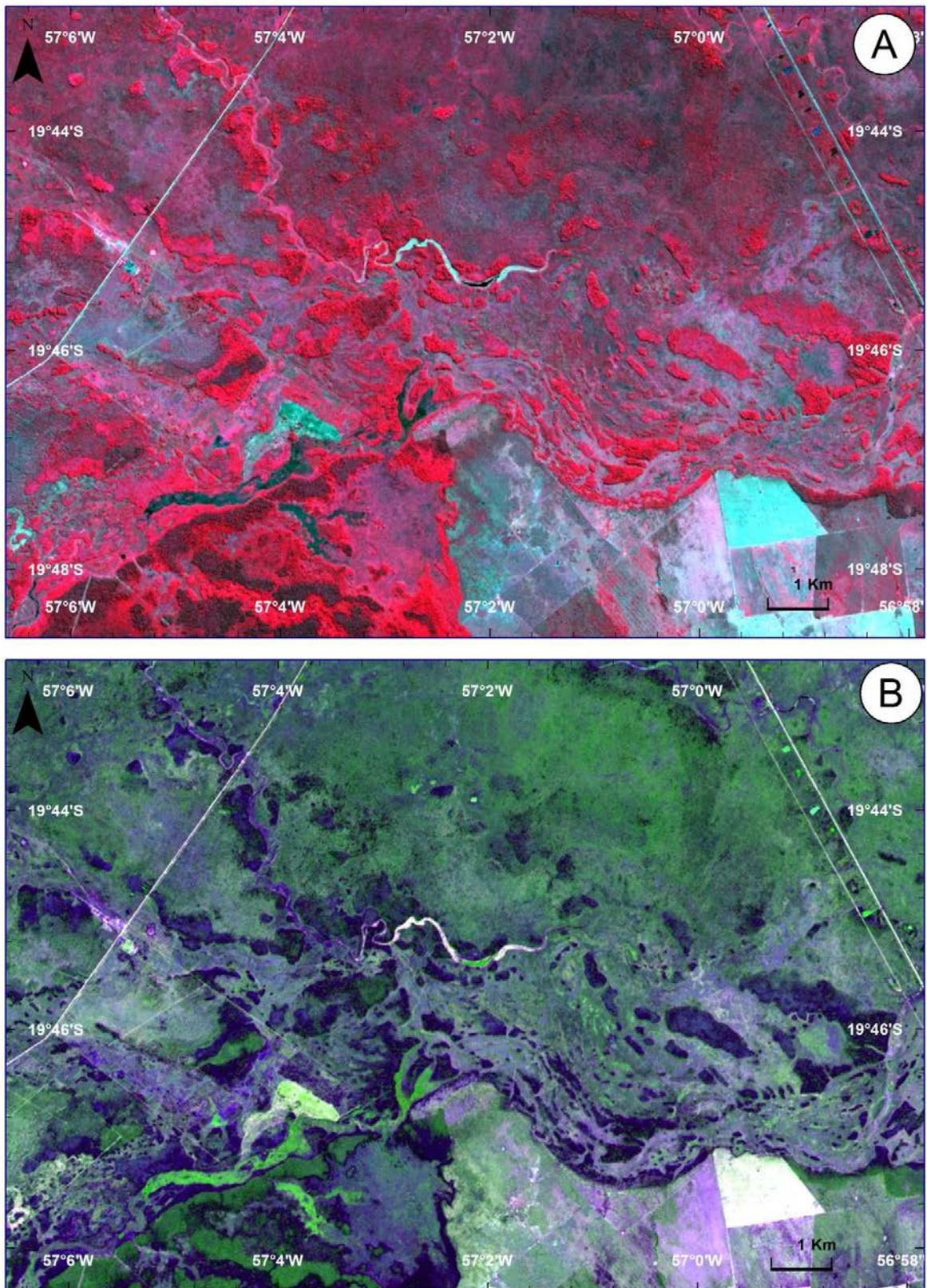
A CA RGB 1 apresentou ótimos resultados, como realce textural da imagem e melhor distinção de feições distributárias de drenagem. Foi constatado que essa composição realça a tonalidade dos canais distributários atuais, com maior concentração de umidade, em relação àqueles que sofreram avulsão e foram abandonados ([Figura 12](#)). A composição também acentua a diferença de tonalidade da água em função da concentração de sedimentos, tal como pode ser observado nas porções SW e NE da [Figura 12](#). Na [Figura 13](#), nota-se que o quadro A (imagem sem APC), apresentou maior textura do que o quadro B (imagem com APC), a diminuição textural é compensada pelo fato que no quadro B as margens dos paleocinturões de meandros, ficam melhor delineadas e facilitam o mapeamento de tal tipo de geforma, bem como a inferência da cronologia relativa dos mesmos.



**Figura 11** – Paleocinturão de meandros em imagens Landsat de diferentes anos e estações: **A)** Composição Landsat R7G4B2 para o ano 1988; **B)**– Mosaico Landsat R3G4B5 com imagens de 1999 a 2000; **C)** Composição Landsat R7G4B2 para o ano 2001; **D)** Composição Landsat R7G4B2 para o ano de 2011.

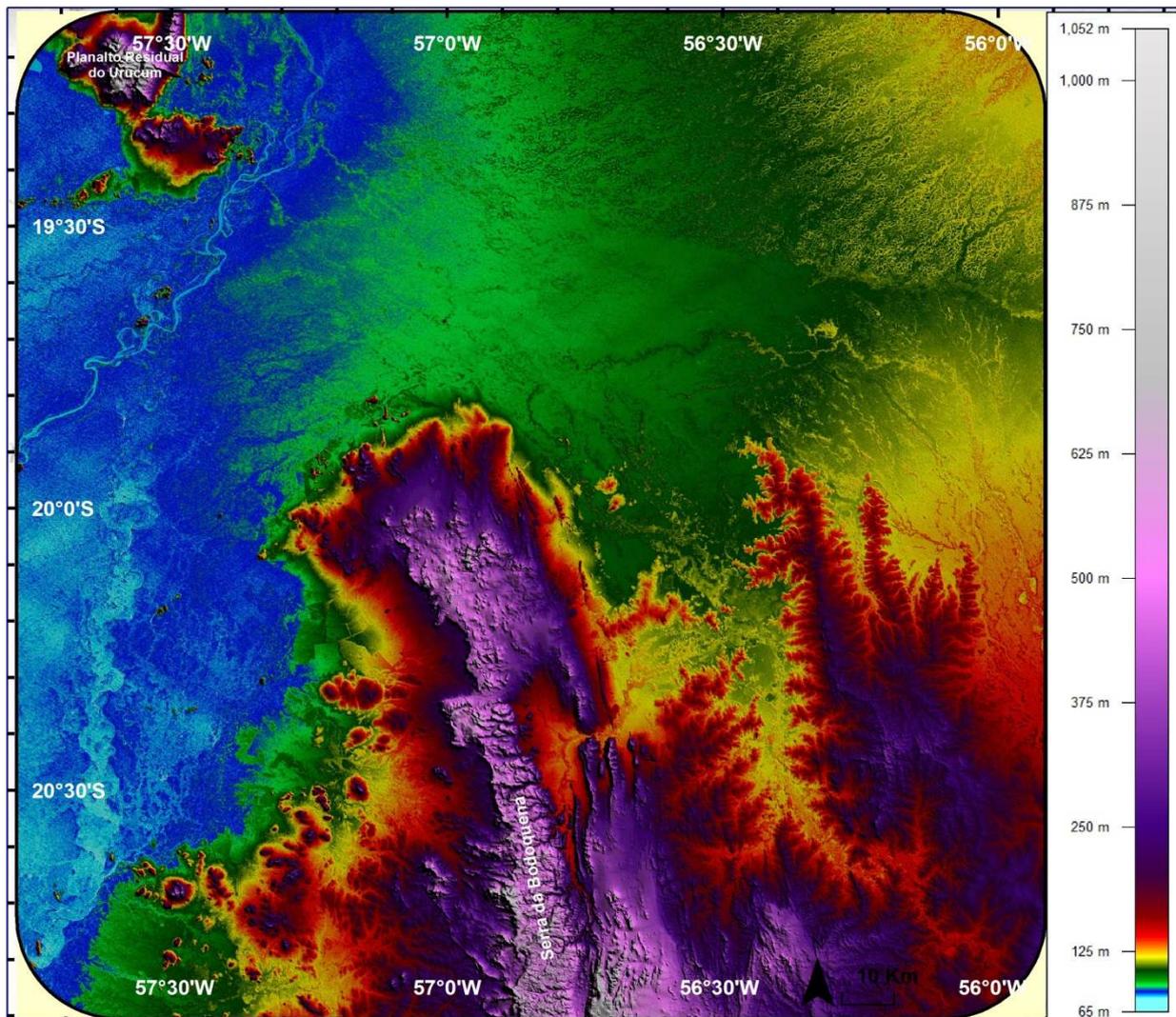


**Figura 12** – Planície aluvial distributária do rio Salobra em composição colorida para o sensor ASTER. CA 1: R(Banda 2) G(2ª PC do conjunto das bandas 3,2 e 1) e B(Banda 1).



**Figura 13** – Paleocinturão com canal entrelaçado em duas composições coloridas para o sensor ASTER: **A)** CA R3G2B1; **B)** CA 2: R(1ª PC do conjunto das bandas 3,2 e 1) G(Banda 1), B(Banda 2).

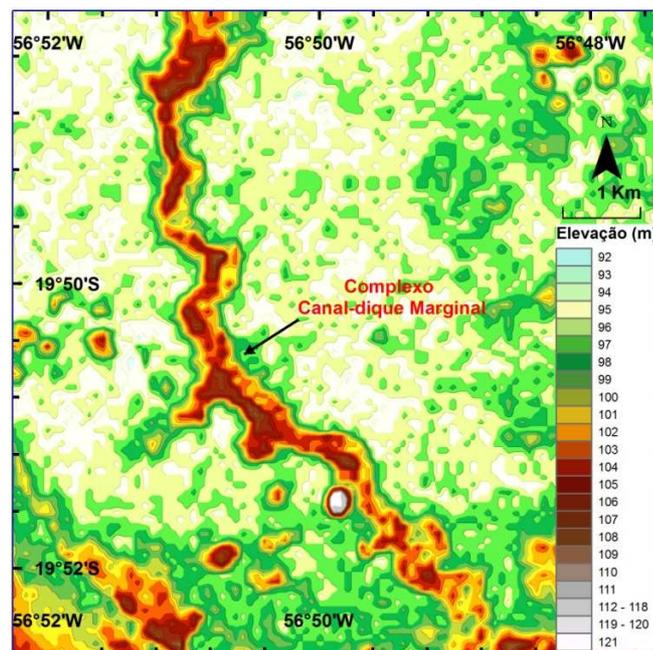
Dados altimétricos SRTM foram essenciais para o mapeamento e caracterização do SDRM. Os MDEs gerados permitiram identificar o contato entre a planície pantaneira e áreas de afloramento do embasamento cristalino (Figura 14). Tal limite pode ser verificado na Figura 14 principalmente na região central na transição entre o verde e o amarelo.



**Figura 14** – MDE da área estudada. A planície pantaneira está situada em cotas inferiores a 130m (cores azul, amarelo e verde) e os terrenos do embasamento cristalino em cotas altíssimas (vermelho, roxo e cinza).

A maior parte do SDRM é plana e com pouca variação altimétrica. Sendo assim, os MDEs demandaram diferentes classificações, altimétricas e de cores, para identificação das geformas. Um bom exemplo é o de complexo canal-dique marginal. Nesse tipo de feição a deposição contínua de sedimentos nas margens e

na agradação do canal faz com que os diques marginais sejam construídos fazendo com que o rio corra em níveis superiores à planície adjacente. Caso o intervalo altimétrico do MDE seja muito amplo, este tipo de geoforma pode não ser destacada em regiões planas como o Pantanal. Para permitir sua expressividade geomorfológica nos MDEs, o intervalo altimétrico foi limitado à variação de 1x1 m a fim de potencializar o realce de geoformas deposicionais desse tipo, tal como pode ser observado na [Figura 15](#).



**Figura 15** – Exemplo de classificação aplicada no MDE para identificação de geoformas com pouca variação altimétrica. Complexos de canal-diques marginais no rio Miranda em tons amarelo e marrom no centro da imagem, ao passo que a planície adjacente em patamares mais baixos do relevo em tons de verde.

## 5.2. Geomorfologia

Devido à grande diversidade de ambientes existentes e à grande extensão do Pantanal, diversas classificações em subdivisões foram propostas. [Hamilton et al. \(1996\)](#), compartimentaram o Pantanal em dez sub-regiões delimitadas pelas características de inundação (variações máximas e mínimas dos alagamentos) e unidades paisagísticas com características internas semelhantes. [Silva & Abdon \(1998\)](#) dividiram o Pantanal em onze sub-regiões ou “*Pantanais*”, considerando as interações dos seguintes elementos fisiográficos: hidrologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e altimetria. [Padovani \(2010\)](#) utilizou imagens de satélite de

uma série temporal de dez anos (2000 a 2009) para modelagem contínua das inundações anuais, tendo proposto 25 sub-regiões baseadas no regime das inundações e na geomorfologia.

A área objeto desta dissertação não tem relação com nenhuma das sub-regiões propostas com base nos padrões de inundação. O SDRM foi delimitado e caracterizado como unidade geomorfológica de sedimentação com base na abrangência e interação entre os diferentes sistemas sedimentares que compõem o trato deposicional da porção sul do Pantanal, bem como o contato com áreas de afloramento do embasamento cristalino ([Figura 16](#)).

### **5.2.1. Delimitação e compartimentação do sistema deposicional do rio Miranda**

O ápice do SDRM está localizado fora dos domínios da planície pantaneira na região da Depressão do Miranda-Aquidauana, limite dos municípios de Miranda, Anastácio e Bonito. Nessa área o SDRM encontra-se num vale escavado em litologias pertencentes ao Grupo Cuiabá e apresenta formas de relevo com domínio de colinas dissecadas e morros baixos.

Já nas proximidades da planície pantaneira, o relevo do sistema é caracterizado por colinas amplas e suaves. A região configura uma superfície rebaixada, com altimetria variando de 100 a 300 m, com dissecação incipiente que cria uma morfologia do tipo convexa e tabular ([CPRM, 2008](#)).

A porção centro-sul do SDRM é caracterizada pelo contato aluvial/rochoso com terrenos aplainados da Depressão do Rio Paraguai. Tais terrenos circundam o Planalto da Bodoquena e caracterizam grande superfície de aplainamento, elaborada por processos de pediplanação do relevo erodindo litologias pré-cambrianas dos Grupos Cuiabá e Corumbá, e são gradativamente recobertas por sedimentos quaternários ([Alvarenga et al., 1982](#)). Para [Boggiani et al. \(1993\)](#), a Serra da Bodoquena constitui um planalto escarpado a oeste, no sentido da planície do Pantanal, suavemente inclinado a leste, onde transiciona para a planície de inundação do Rio Miranda. A face ocidental do planalto, voltada para o Pantanal do Nabileque e para parte distal do SDRM, exhibe morros isolados, terrenos aplainados com leques aluviais, escarpas abruptas e colinas bastante dissecadas, com amplos anfiteatros de erosão e drenagens em vales profundos que chegam a constituir cânions ([Alvarenga et al., 1982](#)).

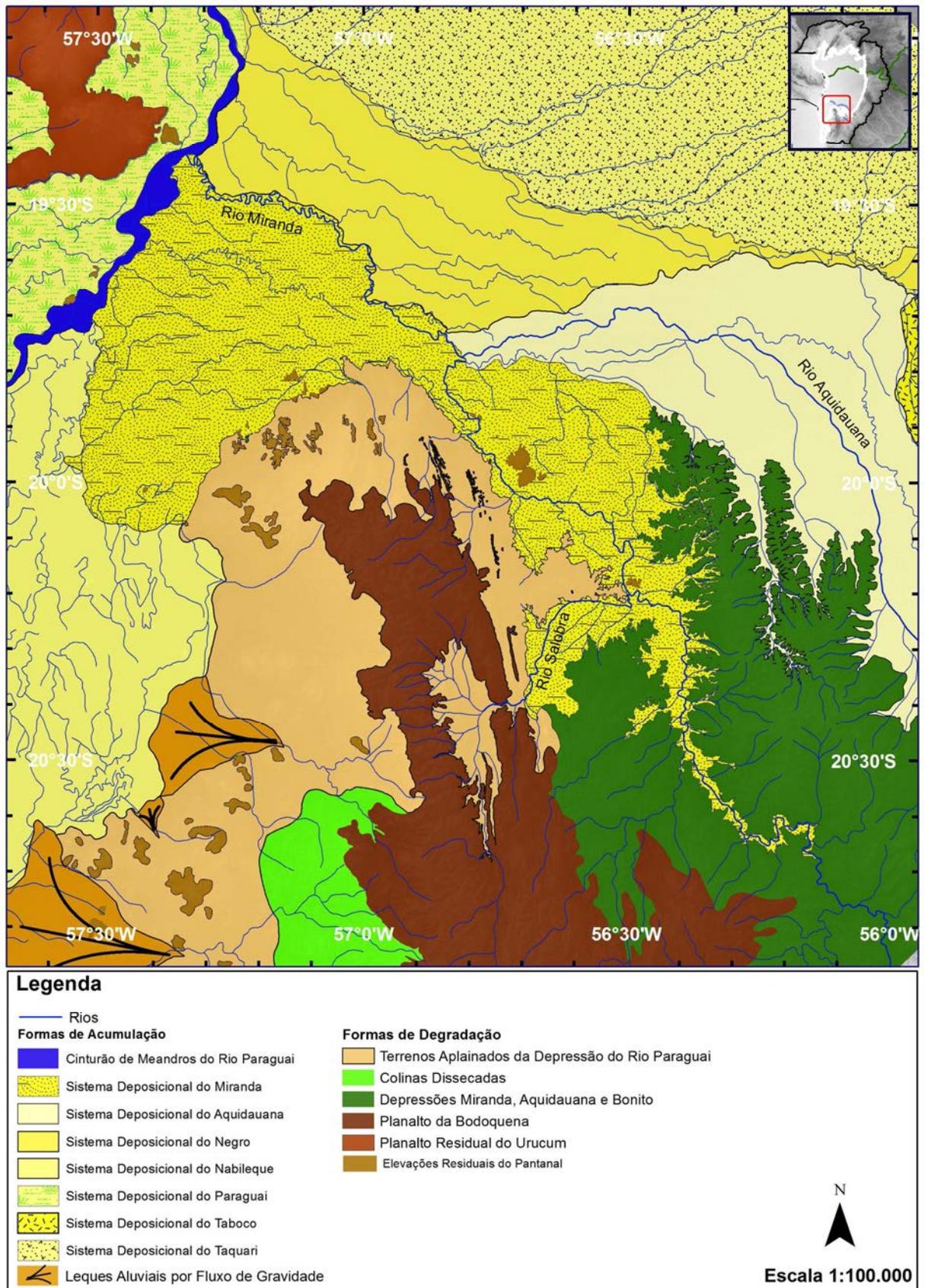


Figura 16 – Mapa de compartimentos geomorfológicos da área estudada.

No Pantanal, o primeiro sistema deposicional que interage com o SDRM é o megaleque fluvial do rio Aquidauana. Caracterizado pela presença de inúmeros canais distributários e crevasses na parte distal do leque, onde o rio flui em complexo canal-dique marginal até a confluência com o rio Miranda. Segundo [Facincani et al., \(2006\)](#), a sedimentação do megaleque do Aquidauana vem ocorrendo principalmente no lobo distributário atual, localizado na parte distal do megaleque.

O SDRM é limitado a noroeste pela planície fluvial do rio Negro que é um imenso banhado formado pelo grande volume de água que se espalha na planície, principalmente durante as cheias, em decorrência do desconfinamento do canal principal do rio Negro. Os principais distributários da planície, localmente conhecidos como corixos, são os rios: Abobral, Vermelho e Negrinho. Muitos dos canais, embora intermitentes, durante a estação das cheias formam um único corpo d'água ([Figura 17](#)) derivado do transbordamento dos canais. Inúmeras feições criadas por processos de deposição como, por exemplo, *crevasses splay*, caracterizam a planície ([Figura 18](#)).



**Figura 17** – Planície alagada do rio Negro. Esse padrão de inundação se mantém por toda região do rio Negro, onde rio alaga praticamente toda planície e também parte das matas de cordilheiras.



**Figura 18** – Leque de rompimento (*crevasses splay*) na planície do rio Negro.

Na região sul da área estudada, o SDRM possui canais e paleocanais distributários que gradativamente transicionam para o megaleque do Nabileque. Segundo [Kuersten \(2010\)](#), este megaleque é caracterizado por não estar associado a rios oriundos de relevos altos situados nos planaltos adjacentes à planície, mas sim a um sistema fluvial construído pelo rio Paraguai na saída da Bacia do Pantanal desde tempos pleistocênicos.

O Planalto Residual do Urucum, mapeado a noroeste da área estudada, influencia a dinâmica de escoamento do rio Paraguai, que, por sua vez, atua sobre o rio Miranda como nível de base local e controla processos que ali atuam, como por exemplo, a competência erosiva e/ou deposicional do cinturão de meandros atual do rio Miranda.

Os leques fluviais do Taquari, mapeado na porção norte, e do Taboco, a leste da área estudada, também não interagem diretamente com o SDRM. Esses sistemas interagem, respectivamente, com a planície fluvial do rio Negro e com o megaleque fluvial do rio Aquidauana levando para estes sistemas grande quantidade de água com sedimentos em suspensão.

O SDRM foi compartimentado em três segmentos distintos: planície fluvial confinada, lobo deposicional atual e lobo deposicional antigo ([Figura 19](#)). Tais compartimentos foram caracterizados em função dos aspectos morfológicos, morfométricos e processos atuantes.

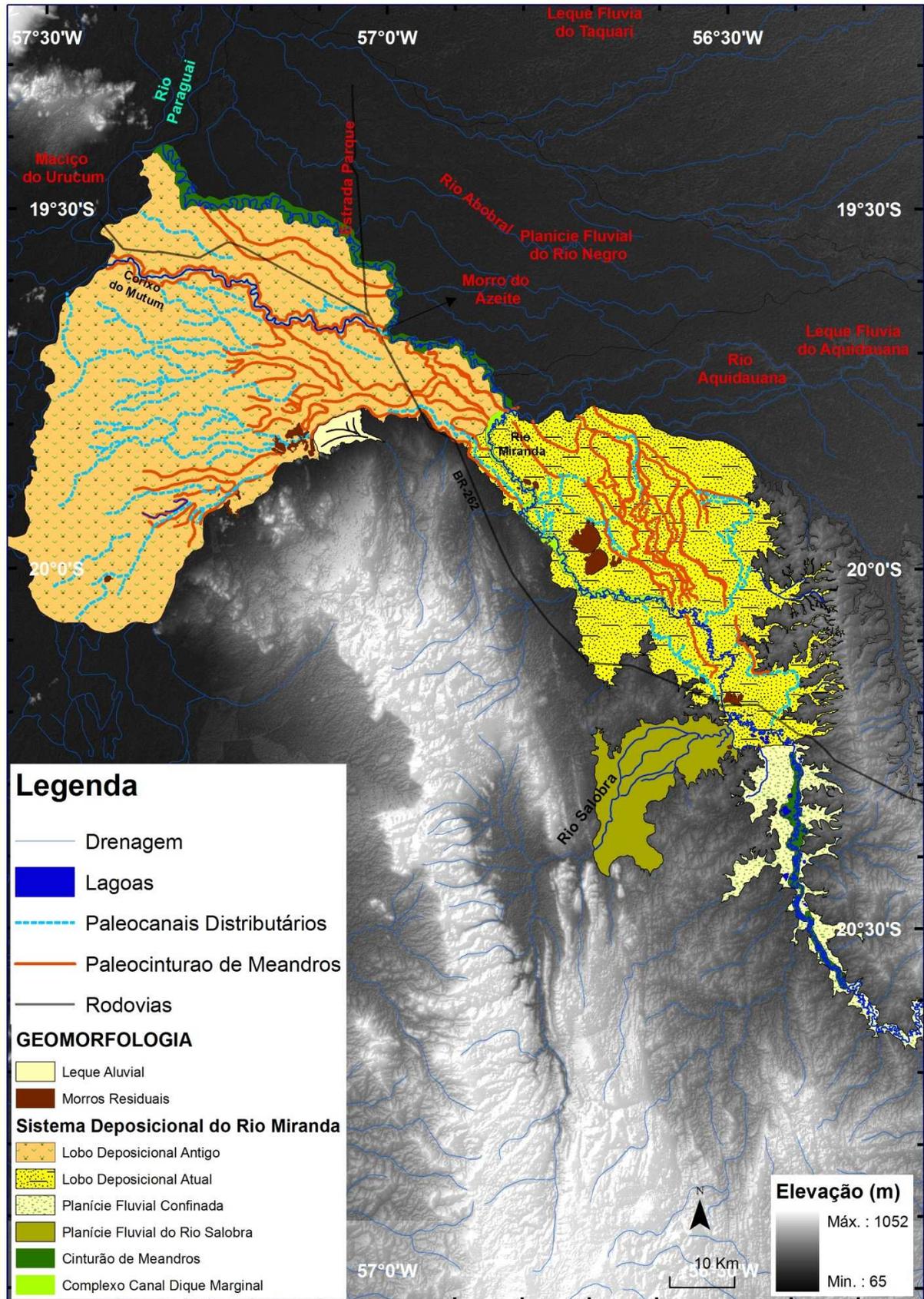


Figura 19 – Mapa de geomorfológico do sistema deposicional do rio Miranda.

### 5.2.2. Planície fluvial confinada

A planície aluvial confinada do SDRM está embutida num vale encaixado em litologias do Grupo Cuiabá. Canais abandonados existentes na planície são cortados por canais mais jovens de menor largura (Figura 20). Os canais mais antigos apresentam largura bastante superior aos canais atuais, e são geoformas preservadas de épocas em que o rio Miranda possuía descarga fluvial maior do que a atual.

A mudança de estilo do rio Miranda, de *bedrock* para aluvial, é marcada por um *knickpoint* (Figura 21). A partir deste ponto, o rebaixamento de um bloco em relação ao outro, diminui o gradiente topográfico e conseqüentemente diminui a velocidade das águas. Com tais alterações na morfologia do relevo, o rio passa a criar feições aluviais relacionados às mudanças no estilo fluvial do canal, como por exemplo: grandes barras de areia e cascalho (Figura 22).

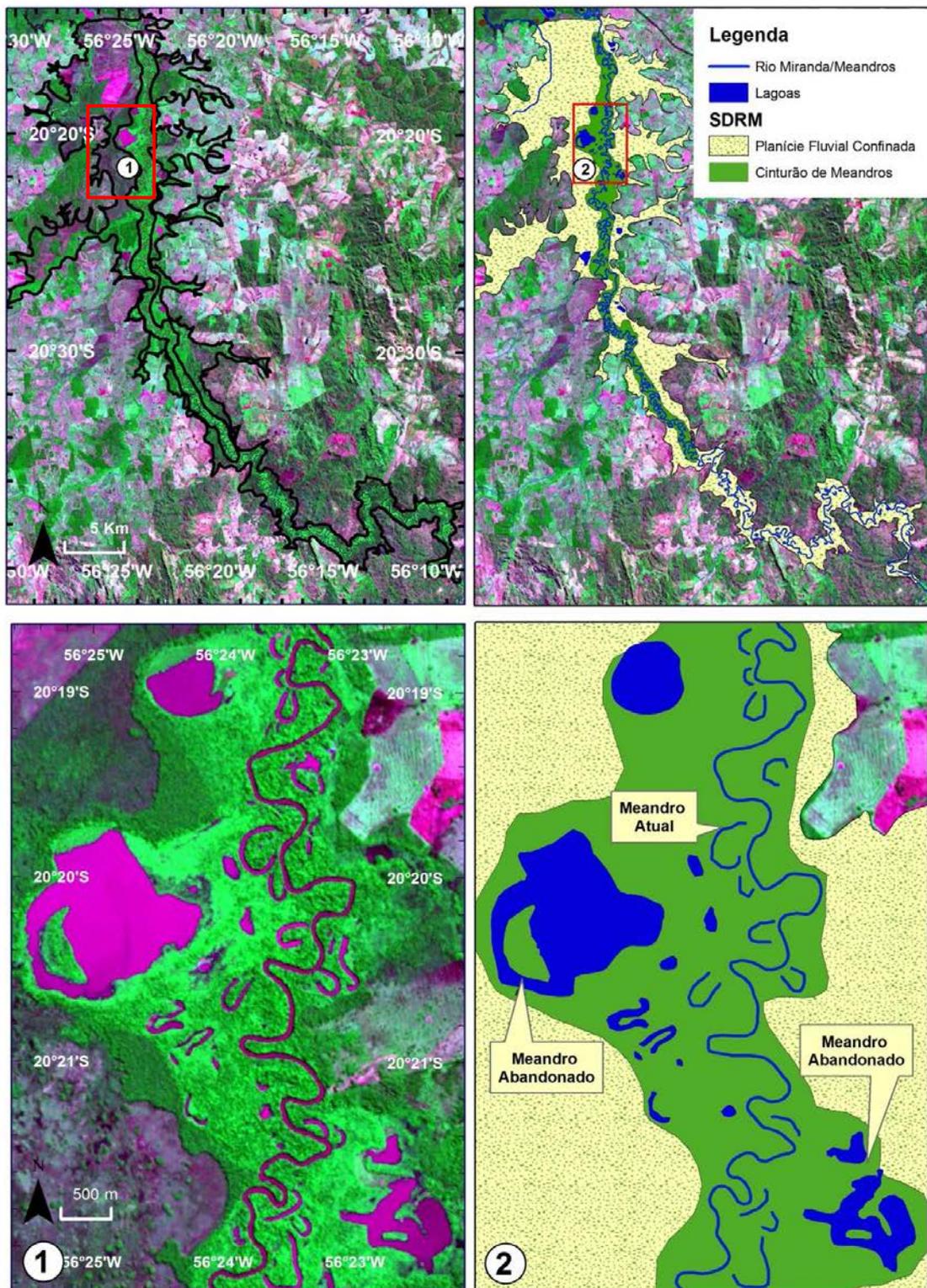
Na planície confinada do SDRM, o canal do rio apresenta aproximadamente 150 km de extensão e pode ser dividido em dois estilos fluviais diferentes. Do ápice da planície confinada até aproximadamente 45 km a o canal apresenta baixíssima sinuosidade (1,12). Com o aumento do aporte sedimentar e a diminuição do gradiente topográfico da planície confinada, o índice de sinuosidade sobe para 1,9, sendo classificado como meandrante segundo Schumm (1963). Este trecho do canal possui 108 km de comprimento e origina um grande cinturão de meandros com centenas de meandros (*oxbow lakes*), e lagoas com formatos e tamanhos diversos.

### 5.2.3. Lobo Depositional Atual

O ápice do lobo deposicional atual está situado entre áreas de relevo colinoso da Depressão do Miranda e terrenos aplainados do embasamento cristalino na Depressão do Rio Paraguai. O lobo se abre para norte até seu limite com o leque fluvial do rio Aquidauana, definido na confluência dos rios Miranda e Aquidauana (Figura 23).

Paleocinturões de meandros são as feições mais marcantes do lobo. O maior deles possuiu cerca de 7 km de largura, enquanto que a largura do cinturão atual do rio não ultrapassa 2 km. Avulsões fluviais caracterizam a dinâmica de evolução dos paleocinturões. Uma delas foi responsável pela deflexão do rio para leste, isto

acarretou no abandono de um paleocinturão de meandros de direção norte e iniciou a construção do cinturão de meandros atual.



**Figura 20** – Planície fluvial confinada do SDRM. Na imagem é possível observar a disposição geral da planície fluvial encaixada na área de embasamento cristalino. Os quadros 1 e 2 trazem detalhes da imagem GEOCOVER e também do mapa geomorfológico do SDRM, com destaque para o cinturão de meandros e também para os grandes meandros abandonados com maior largura que os atuais.



**Figura 21** – *Knickpoint* que marca a transição do rio Miranda de rochoso para aluvial.

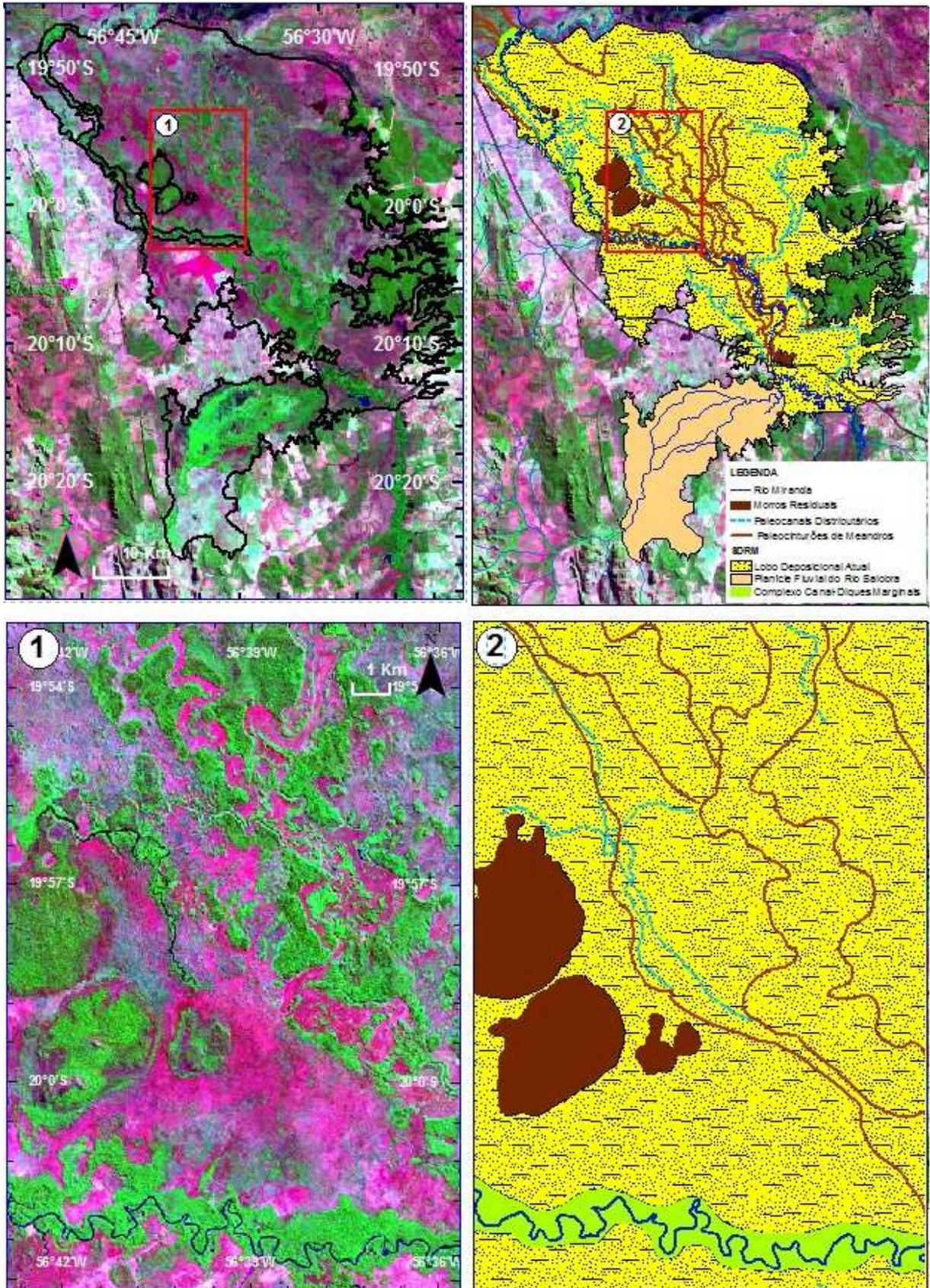


**Figura 22** – Barra de areia e cascalho formada no meio do canal do rio Miranda, cerca de 500 m a jusante do *knickpoint* apresentado na [Figura 21](#).

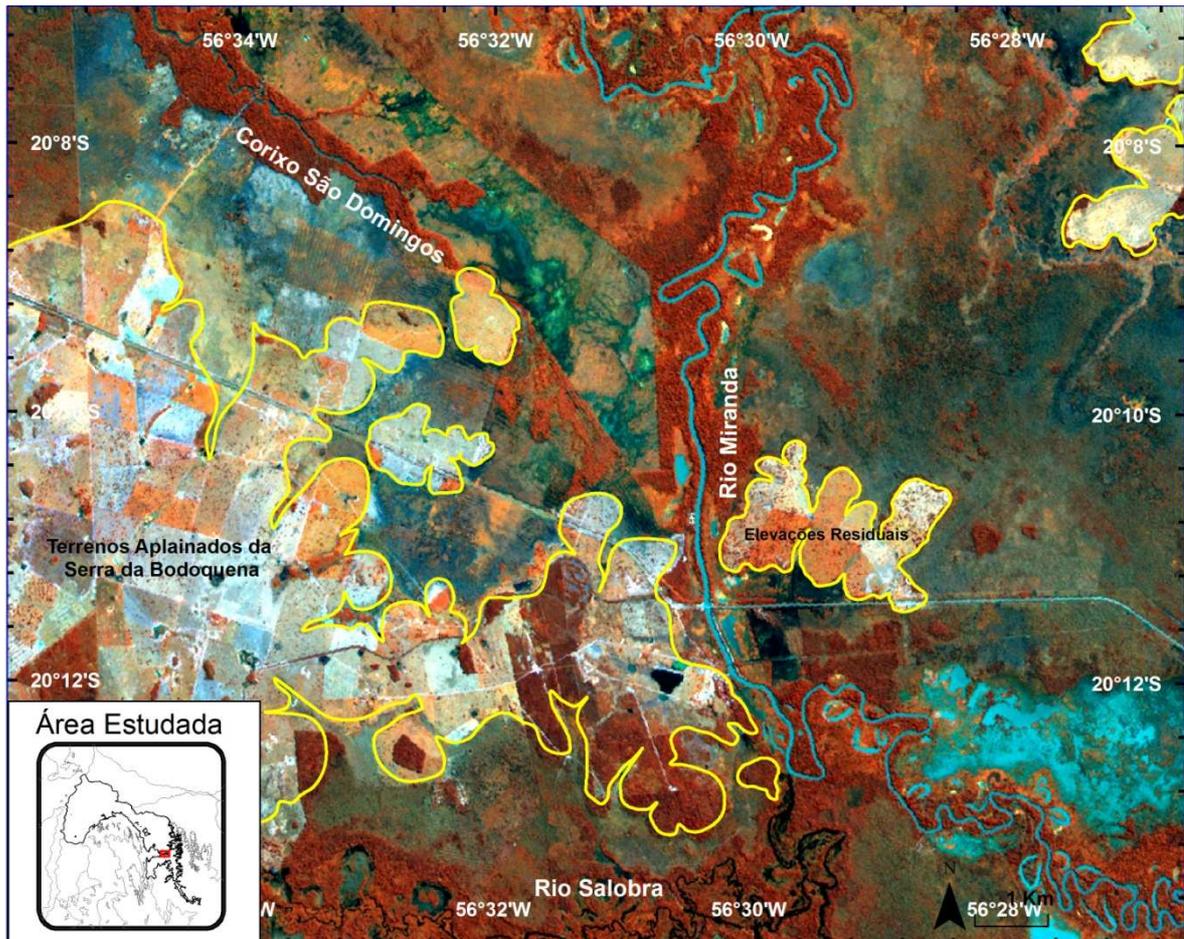
No lobo atual, o estilo fluvial do rio Miranda varia bastante ao longo do seu trajeto. No início do lobo, logo após a confluência com o rio Salobra, o canal do rio Miranda encosta em terrenos pré-cambrianos do embasamento em uma faixa de 6 km (Figura 19). Neste trecho o canal é retilíneo, fluindo encaixado entre elevações residuais existentes na planície pantaneira e o embasamento cristalino do Planalto da Bodoquena a oeste (Figura 24). No interior do lobo o rio Miranda forma complexo canal-diques marginais e flui acima da cota altimétrica das planícies adjacentes (Figura 23).

Diversos canais abandonados são reconhecidos na área do lobo atual como, por exemplo, o corixo São Domingos, que está localizado a oeste do canal atual. De acordo com as características verificadas em imagens de satélite, notou-se que este canal também foi criado por processos de avulsão do rio Miranda. Afloramentos rochosos pertencentes ao Grupo Cuiabá foram identificados na margem esquerda do corixo, denotando o contato com o embasamento cristalino (Figura 25).

Mudanças de direção de fluxo do canal principal são marcantes (Figura 26). No ponto onde ocorreu a avulsão que acarretou na criação do cinturão de meandros atual (Figura 26 - ponto **A**), o rio que corria rumo norte, deflete rumo oeste e percorre cerca 17 km, para então adquirir rumo noroeste (Figura 26 - ponto **B**), fluindo por mais 16 km até sofrer as mudanças de direção mais marcantes, migrando completamente o rumo do canal para nordeste (Figura 26 - ponto **C**). Entre os pontos C e D, o rio corre diretamente sobre o embasamento cristalino, com presença de rochas extremamente fraturadas e veios de quartzo (Figura 27) e após percorrer 3 km o rio retorna seu curso para o rumo noroeste (Figura 26 – ponto **D**). Como o rio não tem energia suficiente para erodir o embasamento cristalino, tal fato poderia ser responsável pela mudança de direção de fluxo no local.



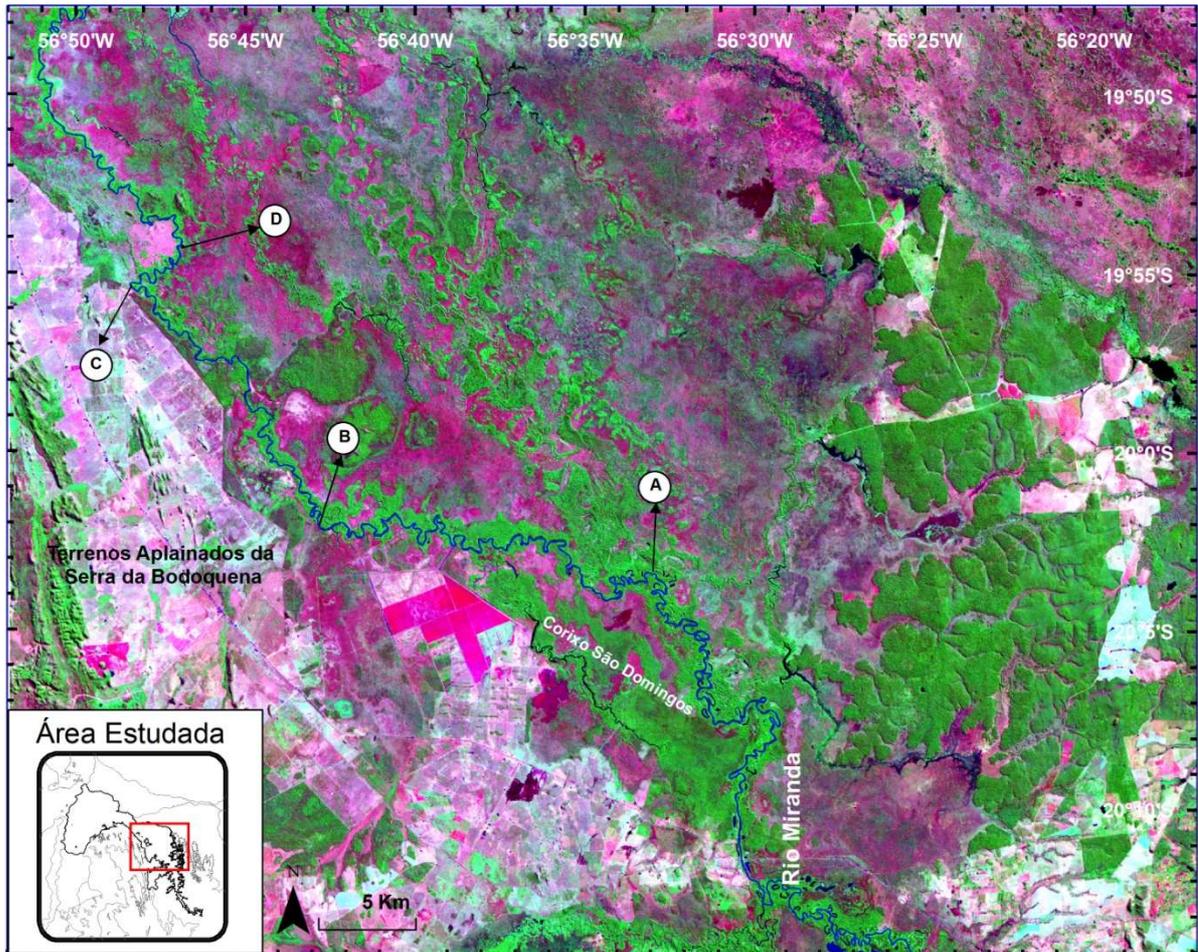
**Figura 23** – Lobo deposicional atual do SDRM. Em destaque quadros 1 e 2 com elevações residuais, paleocinturões de meandros e rio complexo canal-diques marginais do rio Miranda.



**Figura 24** - Canal retilíneo do rio Miranda. Na margem esquerda o embasamento cristalino e na margem direita elevações residuais (ambas delimitadas em amarelo). Composição colorida ASTER bandas R - 1ª PC do processamento das bandas 3,2 e 1; G – Banda 1 e B – Banda 2.



**Figura 25** – Afloramento do embasamento cristalino na margem esquerda do corixo São Domingos.



**Figura 26** – Mudanças na direção de fluxo do rio Miranda. Nos pontos A até D são inferidos os locais onde ocorrem as mudanças de direção. O Ponto C é o local onde foi registrada a **Figura 27**.



**Figura 27** – Rio Miranda correndo diretamente sobre o embasamento cristalino no contato entre terrenos aplainados da Serra da Bodoquena e a planície pantaneira.

#### 5.2.4. Lobo deposicional antigo

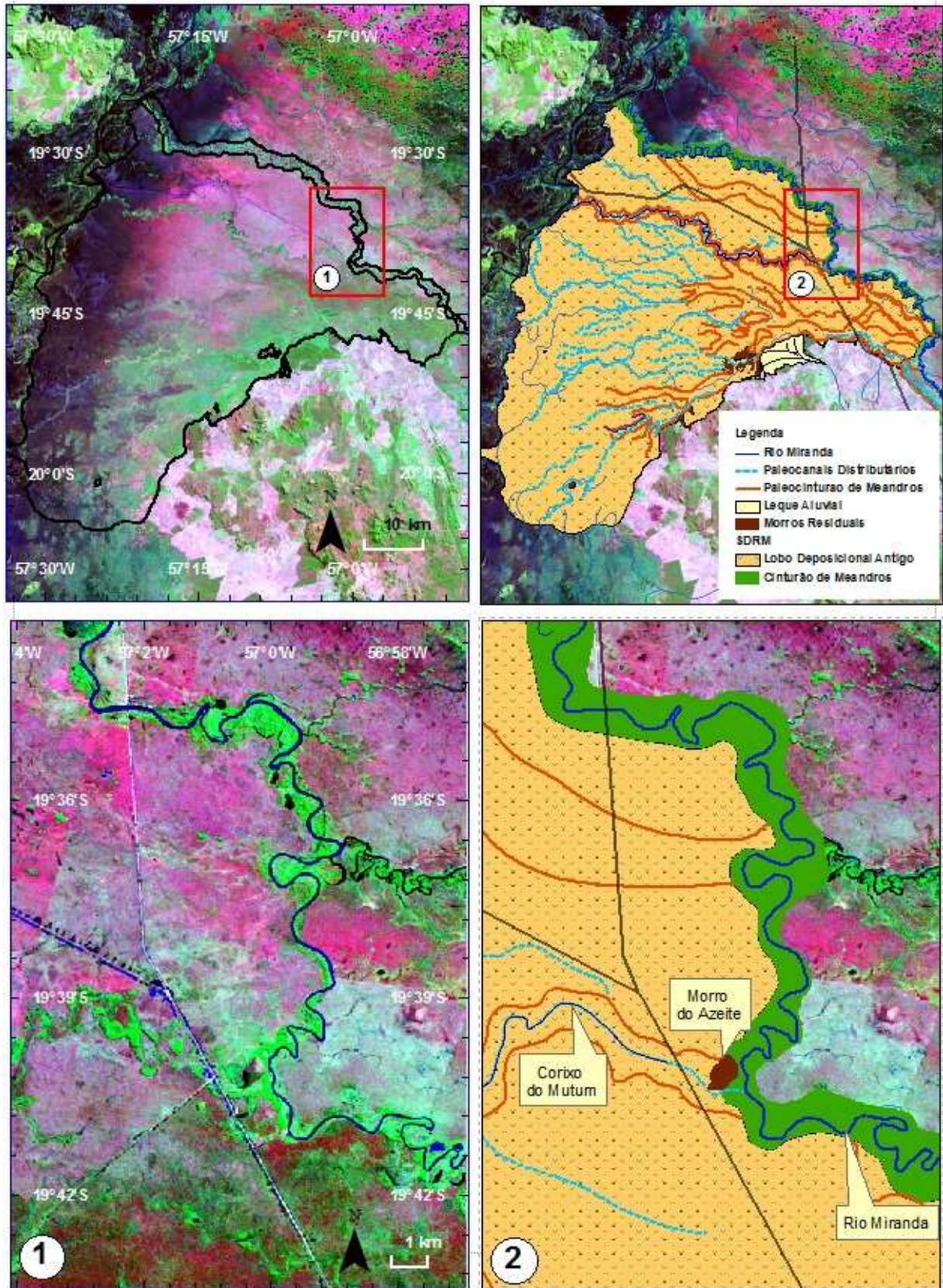
O lobo antigo tem limite norte com a planície do rio Negro, sendo o contato bem marcado pelo cinturão de meandros atual do rio Miranda. A sul coalesce com o megaleque do Nabileque. Na porção leste o lobo antigo faz a transição com os terrenos Depressão do Rio Paraguai, e a oeste, o lobo é limitado pelo rio Paraguai (Figura 28).

Feições deposicionais são mascaradas em praticamente toda área do lobo. Merece destaque o Morro do Azeite, uma grande elevação residual onde afloram rochas pré-cambrianas do embasamento cristalino em meio a depósitos quaternários da planície pantaneira.

Uma das grandes avulsões do canal do rio Miranda ocorreu no entorno do Morro do Azeite, que desempenhou papel importante na reorganização da drenagem. A avulsão criou um grande canal abandonado (Corixo do Mutum) e mudou a foz do rio Miranda com o rio Paraguai, que passou a ser aproximadamente 20 km a norte. O canal abandonado é nítido na paisagem, tendo nele se instalado um pequeno rio conhecido Corixo do Mutum (Figuras 28 e 29).

A extensão do canal do rio nesse compartimento é de 165 km e o índice de sinuosidade de 1,65. Ocorre aumento natural na largura do canal do rio em duas localidades: 1) na confluência com o rio Aquidauana; 2) cerca de 30 km para jusante na confluência com o corixo do rio Vermelho, que drena grande volume de água da região da planície fluvial do rio Negro.

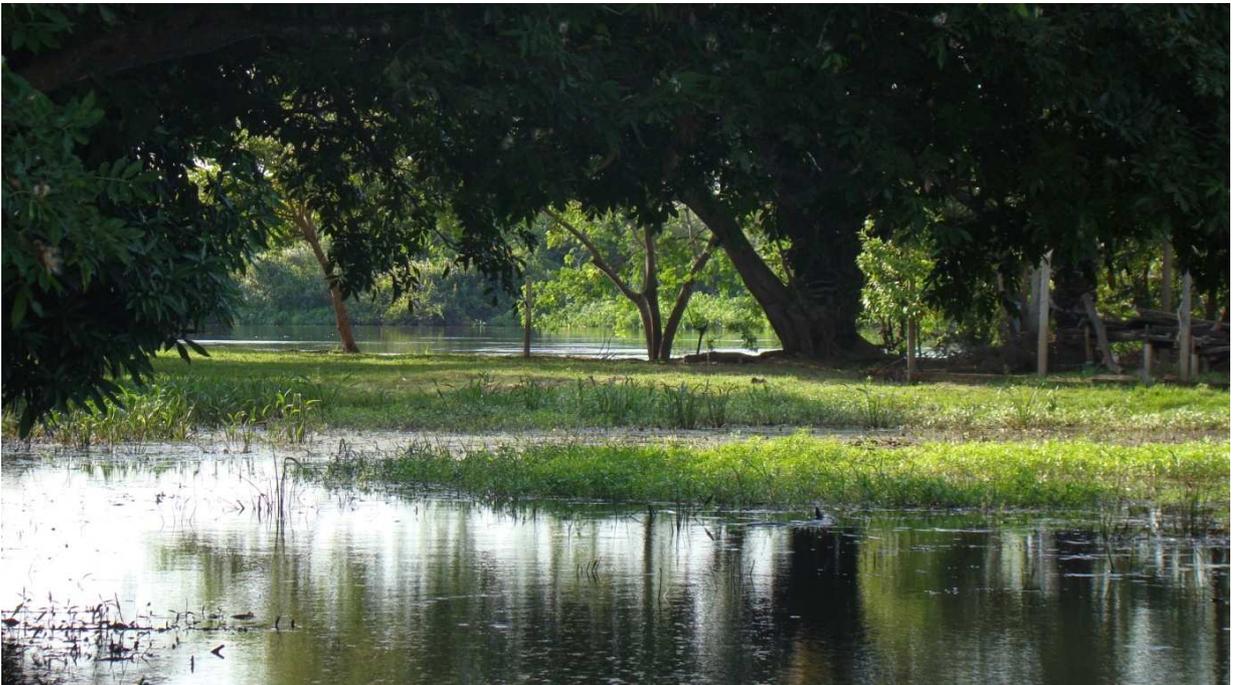
Complexo canal-dique marginal ainda ocorre nesse compartimento (Figura 30), porém predominam processos de erosão marginal, associados a flutuações do rio Paraguai (nível de base local). A erosão lateral da planície aumenta a largura do cinturão de meandros atual, fato evidenciado pela mudança na amplitude dos meandros e pelo grande número de espiras no cinturão atual de meandros (Figuras 19 e 31).



**Figura 28** – Lobo deposicional antigo do SDRM. Em destaque quadros 1 e 2 com Morro do Azeite e Corixo do Mutum.



**Figura 29** – Paleocanal do rio Miranda recoberto por gramíneas e cortado pelo Corixo do Mutum. O rio Miranda fluindo a norte do Morro do Azeite, pode ser visto ao fundo.



**Figura 30** – Rio Miranda (ao fundo) correndo em complexo canal-diques marginais.



**Figura 31** – Rio Miranda (ao fundo), com presença espiras de meandros e *oxbow lakes*.

A intensidade dos alagamentos no compartimento aumenta à medida que se aproxima do rio Paraguai. Esta característica condiciona os tipos de vegetação encontrados. Em áreas mais elevadas, normalmente na borda de capões e cordilheiras, o caraguatá (*Bromelia balansae*), uma espécie pouco resistente à água, marca os limites de alagamento. Outras espécies também permitem identificar mudanças no padrão de alagamento da área, devido à variação de espécies e de densidade vegetal (Figura 32).

Na passagem dos terrenos aplainados da Bodoquena para a planície pantaneira, espécies como a Piúva Pantaneira (*Tabebuia heptaphylla*) são indicativas de alagamentos periódicos. Esta espécie apresenta resistência a certos níveis de alagamento. Com o aumento da intensidade dos alagamentos, gradativamente a densidade vegetal diminui e ocorre variação de espécies. O Paratudo (*Tabebuia áurea*), também pertencente à família da piúva, é resistente a períodos mais longos de alagamento e ocorre por extensas áreas conhecidas como “Paratudal”. Nas regiões mais próximas ao rio Paraguai, onde o alagamento é quase constante, a vegetação é bastante esparsa, predominando Carandás (*Copernícia Alba*) e Paratudo.

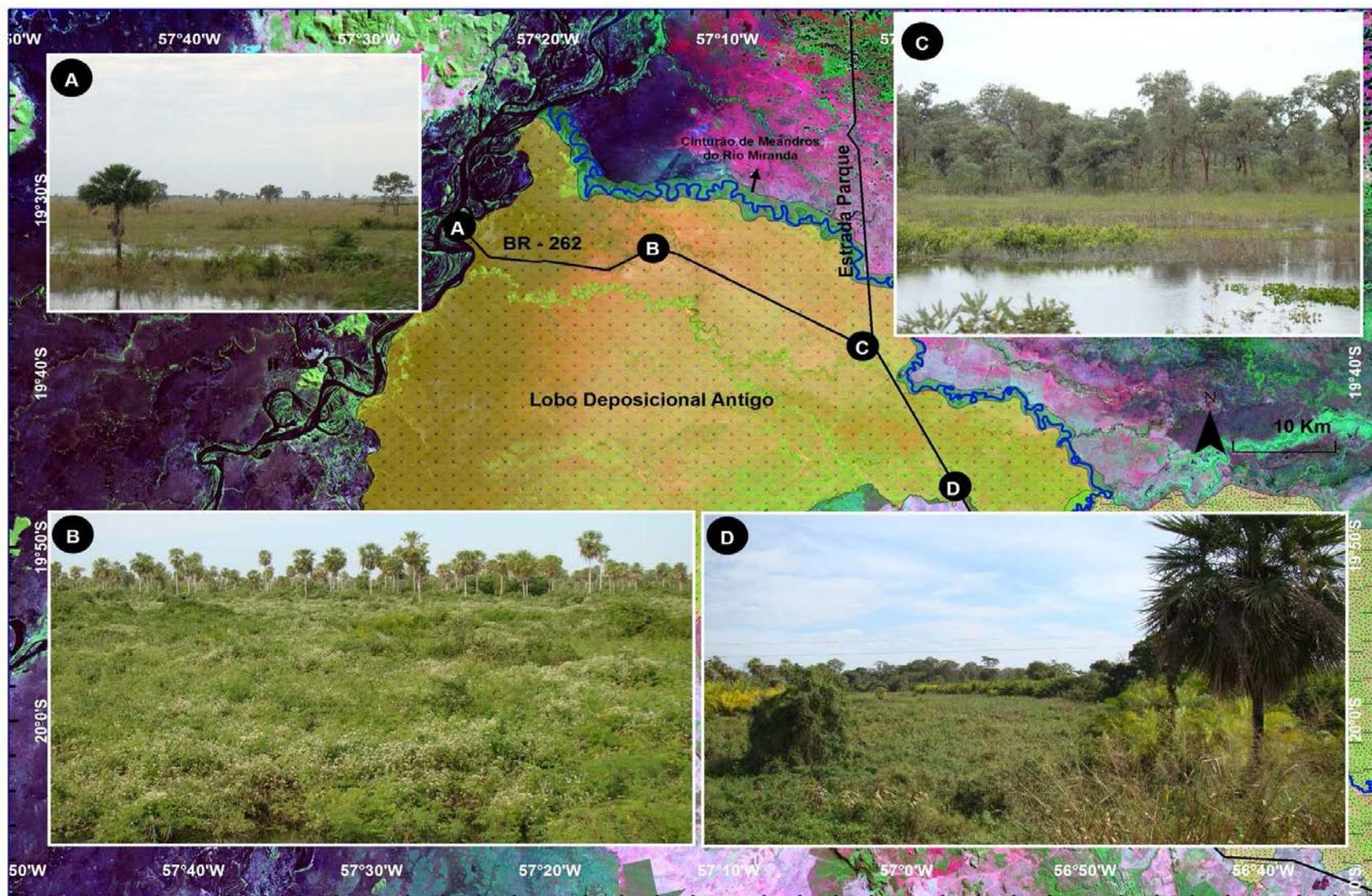


Figura 32 – Variação da densidade vegetal à medida que a intensidade dos alagamentos aumentam para jusante.

### 5.2.5. Geformas deposicionais extraídas de resíduos de superfície de tendência

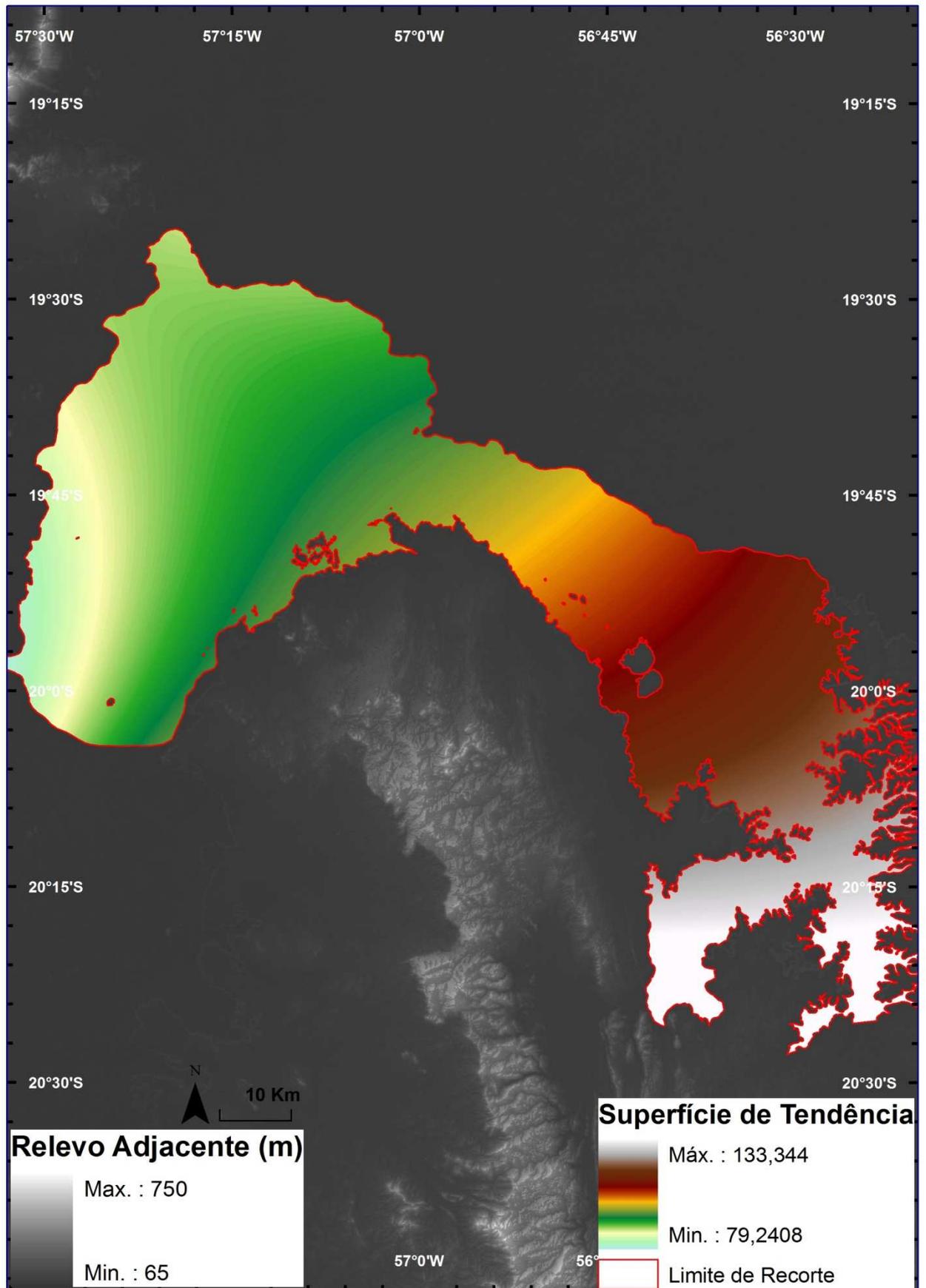
Após a delimitação da área geográfica do sistema deposicional do rio Miranda, o MDE foi utilizado para obtenção de superfícies de tendências (Figura 33). Esta etapa foi realizada somente após a delimitação do sistema, pois, para realizar tal operação, é necessário que sejam excluídas todas as formas de relevo destoantes da planície (morros testemunhos), pois estas inflem diretamente no cálculo geral da superfície de tendência.

Segundo Zani et al., (2009), ambientes de sedimentação, com baixas amplitudes altimétricas, distribuídas em grandes áreas, possuem formas que são mascaradas pela tendência regional do relevo. Neste tipo de terreno, a identificação do arranjo global da topografia pode evidenciar áreas potenciais para sedimentação (estão abaixo do componente global, valores relativos negativos), e áreas que receberam maior aporte sedimentar (estão acima do componente global, valores relativos positivos). Foram assim ressaltadas no mapa de resíduos topográficos as geoformas da planície, principalmente os paleocinturões de meandros, os complexos canais-dique e as áreas com resíduos negativos com tendência a deposição de sedimentos (Figura 34).

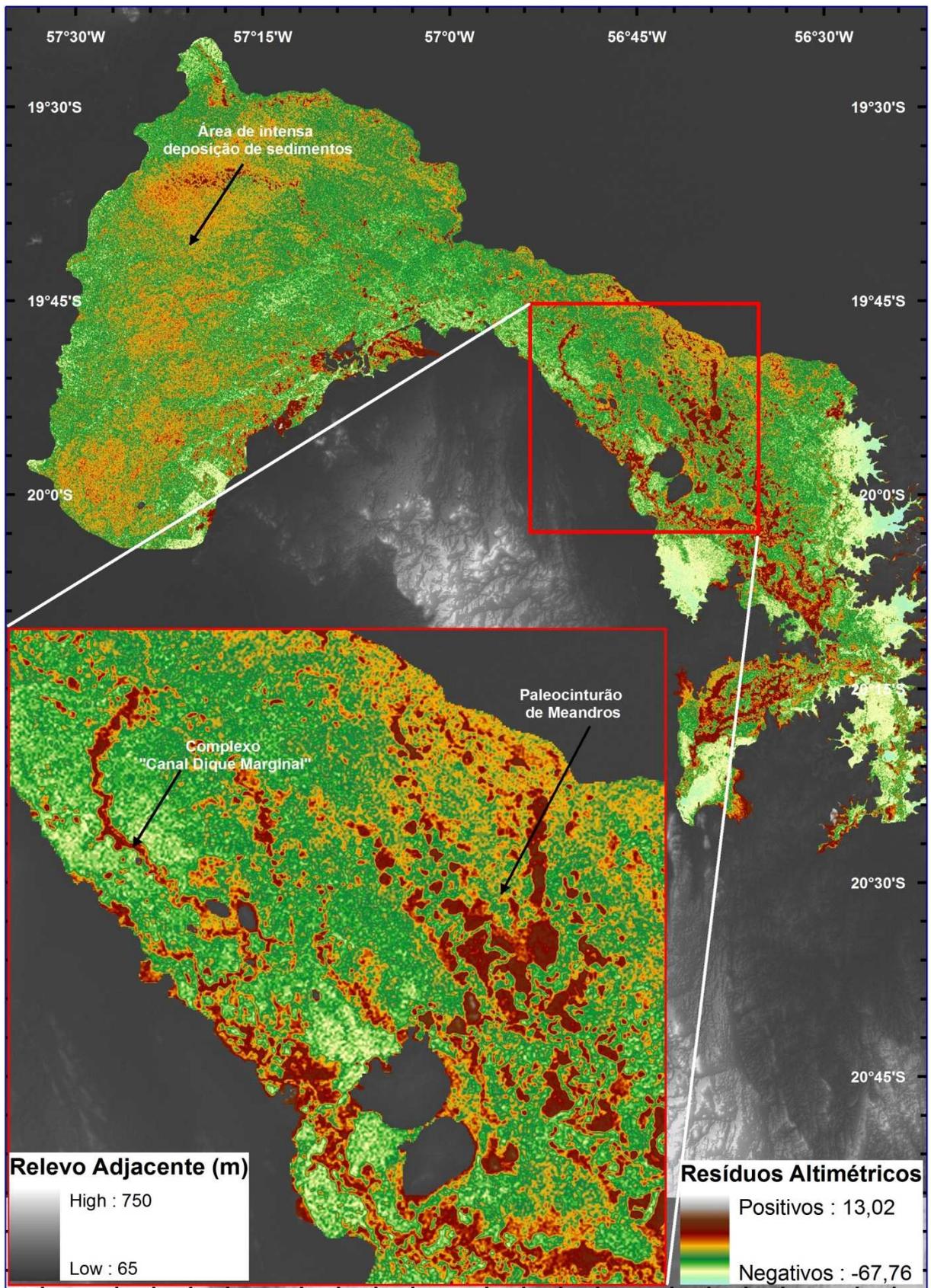
A análise da superfície de tendência separa os dados mapeáveis em duas componentes: 1) tendência regional; 2) flutuações locais (Davis, 1986; Landim, 1998; Grohmann, 2004). A componente regional é representada pela superfície polinomial, enquanto, as flutuações locais (resíduos), são obtidas pela subtração do resultado dos polinômios pelos dados originais (Grohmann, 2004).

Normalmente esta técnica geoestatística é utilizada em explorações de petróleo no reconhecimento de armadilhas estruturais (Davis, 1986), na extração de parâmetros morfométricos (Grohmann, 2005), e estudos de solos como subsídio ao planejamento urbano (Manfré, 2011), entre outros.

Zani et al., (2009) mostra que para os sistemas sedimentares do Pantanal esta técnica também pode contribuir para estudos da geomorfologia desses sistemas. No presente trabalho, o método também contribuiu com o realce das feições do relevo local, para evidenciar locais propensos à deposição e também à erosão, além de delinear formas de relevo que não puderam ser observadas em outros produtos orbitais.



**Figura 33** – Superfície de tendências topográficas de 3º grau do SDRM.

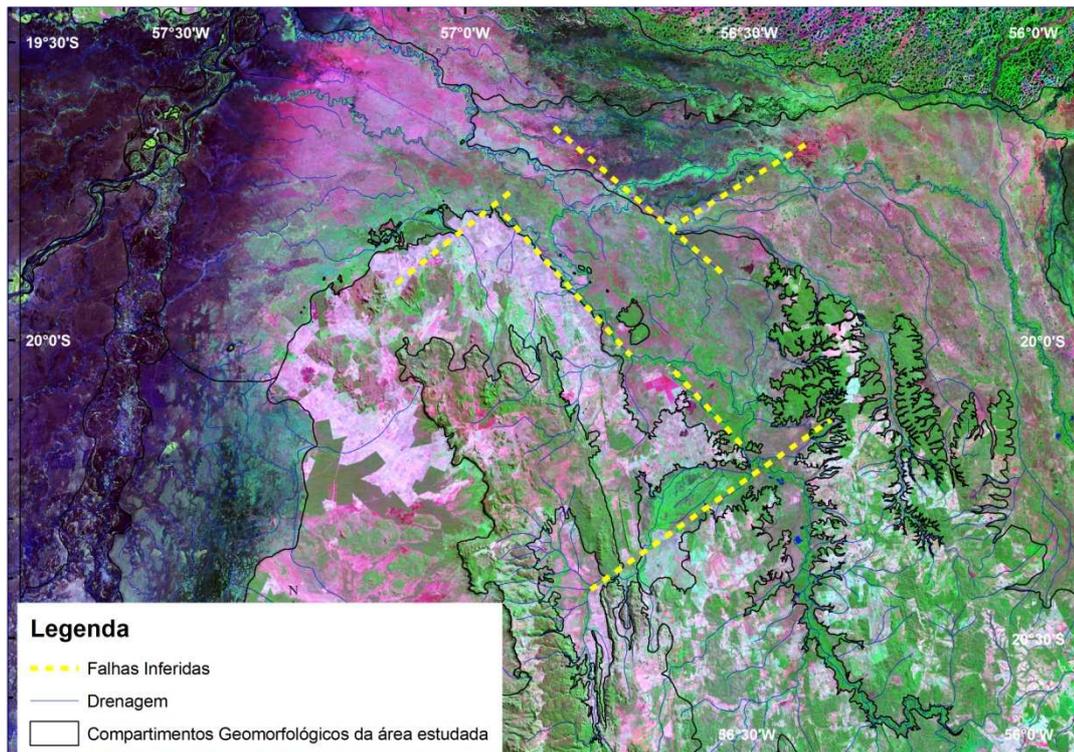


**Figura 34** – Resíduos derivados da superfície de tendência de 3º grau. Geoformas deposicionais do lobo deposicional atual em destaque.

### 5.2.6. Evolução geomorfológica do sistema deposicional do rio Miranda

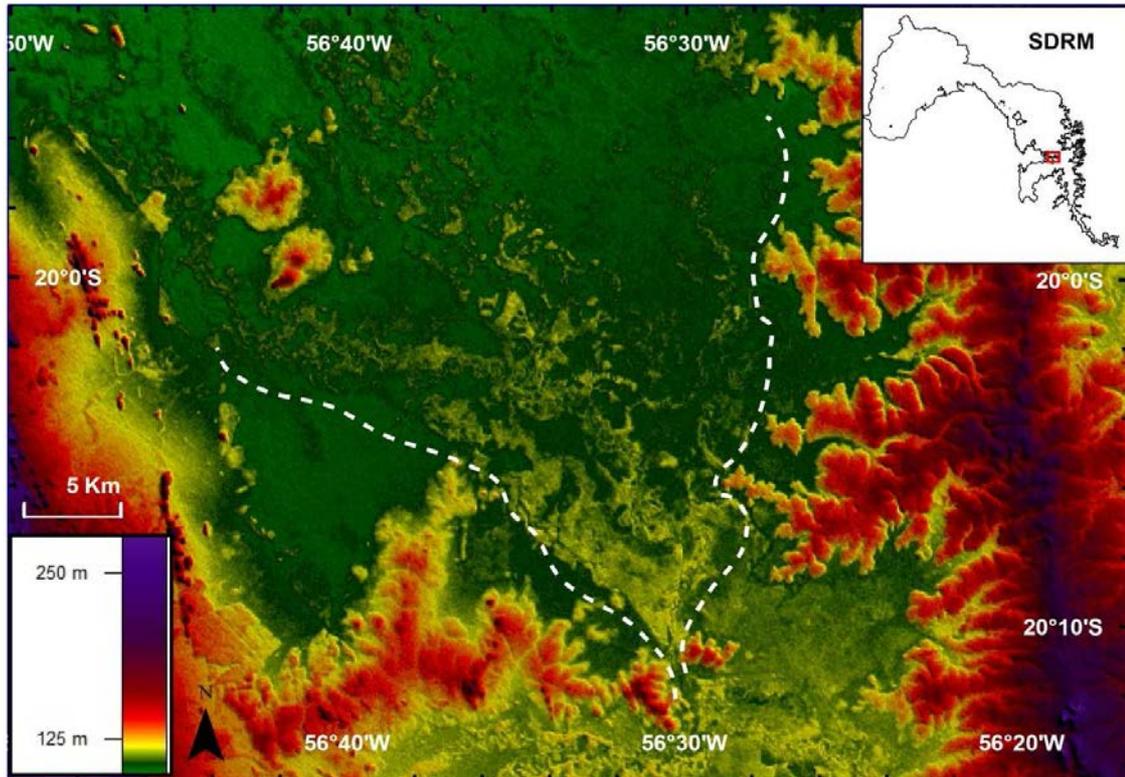
A deposição na planície fluvial confinada está sujeita a variações no nível de base local, localizado na transição com o lobo distributário atual do sistema deposicional. O mesmo se aplica à planície aluvial distributária do rio Salobra. Com forma bastante peculiar, a planície do rio Salobra recobre grande área em terrenos aplainados da Depressão do Rio Paraguai. Na porção oeste da planície, o rio Salobra adquire padrão distributário e se espraia, característica que se mantém até as proximidades da confluência com o rio Miranda (Figura 12).

As planícies dos rios Salobra e Miranda possivelmente estão condicionadas tectonicamente. Essa hipótese foi levantada ao se analisar a orientação geral do relevo da área através do MDE e das imagens de satélite, o que permitiu inferir algumas falhas (Figura 35).

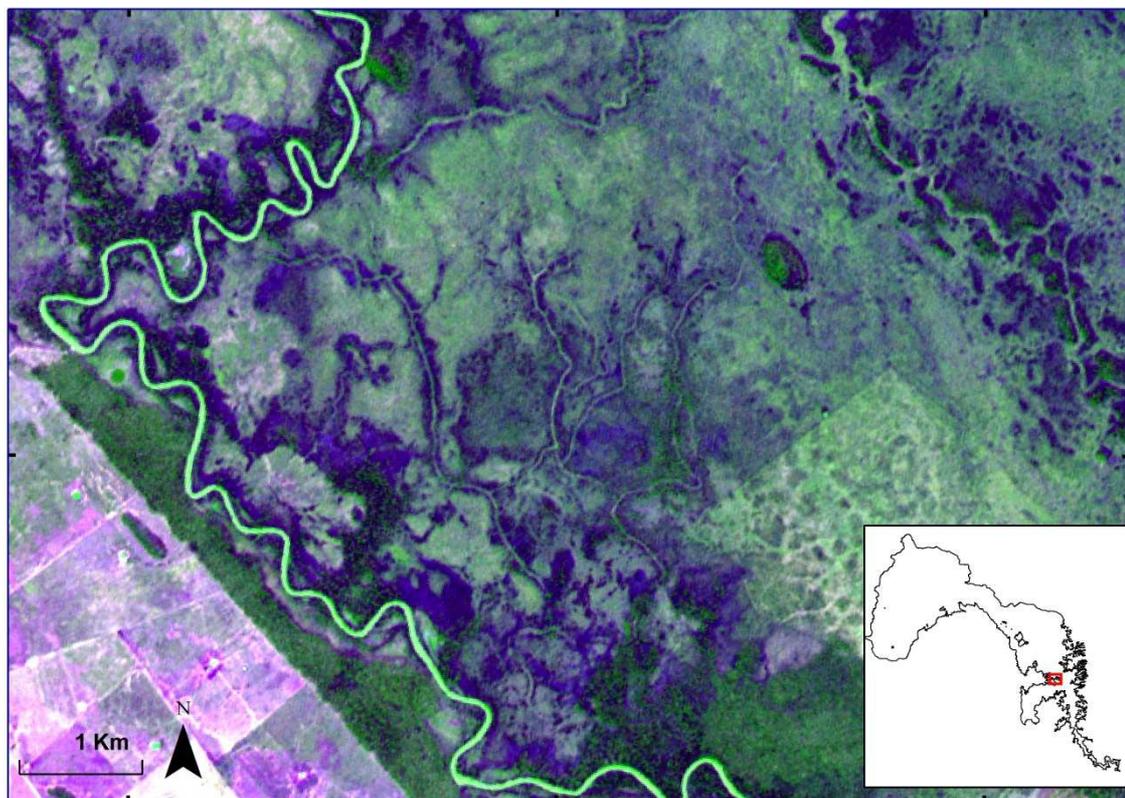


**Figura 35** – Falhas inferidas no contato entre formas de relevo diferentes, especialmente no contato embasamento/planície (Imagem Geocover).

O lobo atual está localizado na porção central do SDRM. Isso é registrado por geoformas reliquias distributárias nos sucessivos paleocinturões abandonados que podem ser observadas com maior detalhe no MDE (Figura 36) e também por canais distributários atuais derivados de *crevasses splay*s que causam o rompimento do complexo canal-dique marginal do rio Miranda (Figura 37).



**Figura 36** – Feições distributárias do lobo atual do rio Miranda. Detalhe do MDE com limite das feições distributárias inferidos em branco.



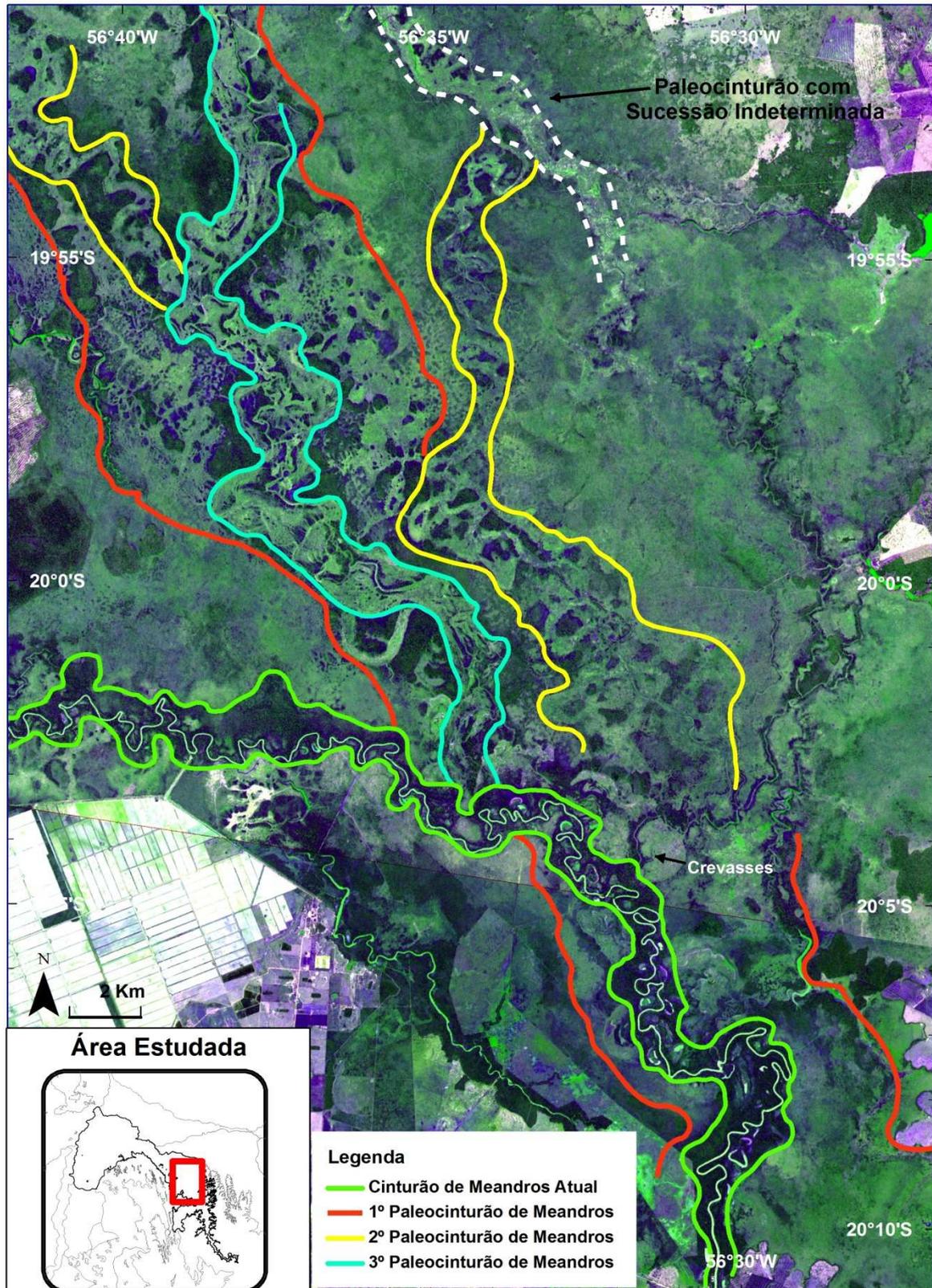
**Figura 37** – Canais distributários originados a partir de rompimento (*crevasses*) do complexo canal-diques marginais do rio Miranda. O rio está ajustado a direções NW e NE indicadas na [Figura 35](#). Imagem ASTER composição R(1ª PC do conjunto das bandas 3,2 e 1) G(Banda 1), B(Banda 2).

Com base nas imagens de satélite analisadas também foi possível estabelecer, tentativamente, quatro etapas na evolução geomorfológica do SDRM, que promoveram mudanças de curso do rio e estão preservadas na superfície do lobo atual (Figura 38). O primeiro paleocinturão, apesar de bastante obliterado, preserva grandes meandros que foram originados em um período que o rio Miranda possuía descarga fluvial muito maior que a atual. Tais feições também foram constatadas na planície fluvial confinada (Figura 20).

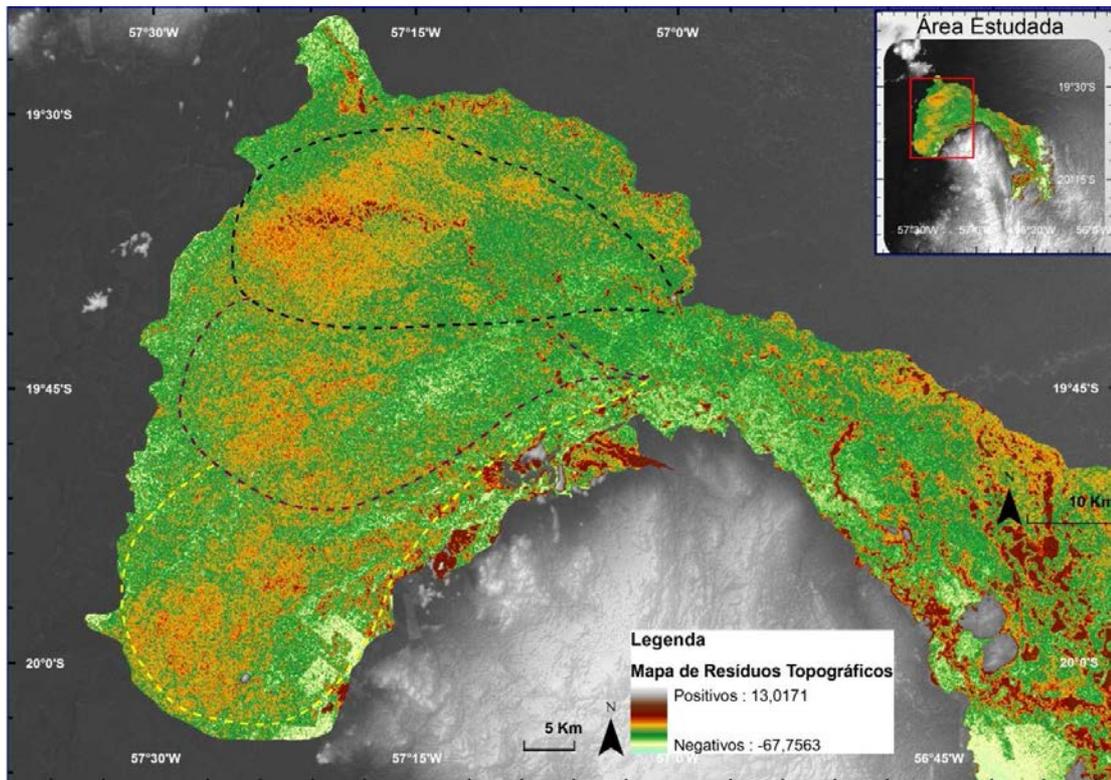
Com a diminuição da capacidade da descarga, o rio construiu o segundo paleocinturão recobrimdo boa parte do primeiro. Diminuição do volume de água também é registrada no terceiro paleocinturão, que apresenta características semelhantes ao cinturão de meandros atual. O cinturão atual surgiu em decorrência de uma grande avulsão, que promoveu mudança de curso para oeste.

Os resíduos topográficos, da superfície de tendência de 3º grau do MDE, realçaram paleoformas de relevo que permitem sugerir a existência de um antigo leque fluvial na porção distal do SDRM. O leque está obliterado por sedimentos depositados pela ação das cheias que promovem a reativação de paleocanais de drenagem. Sedimentos provindos de regiões do embasamento cristalino, onde existem pequenos leques aluviais marginais criados por rios oriundos da Serra da Bodoquena, também recobrem o antigo leque. A presença de grande número de paleocanais distributários também fortalece essa hipótese. Com base no mapa de resíduos topográficos, três paleolobos distributários foram reconhecidos (Figura 39).

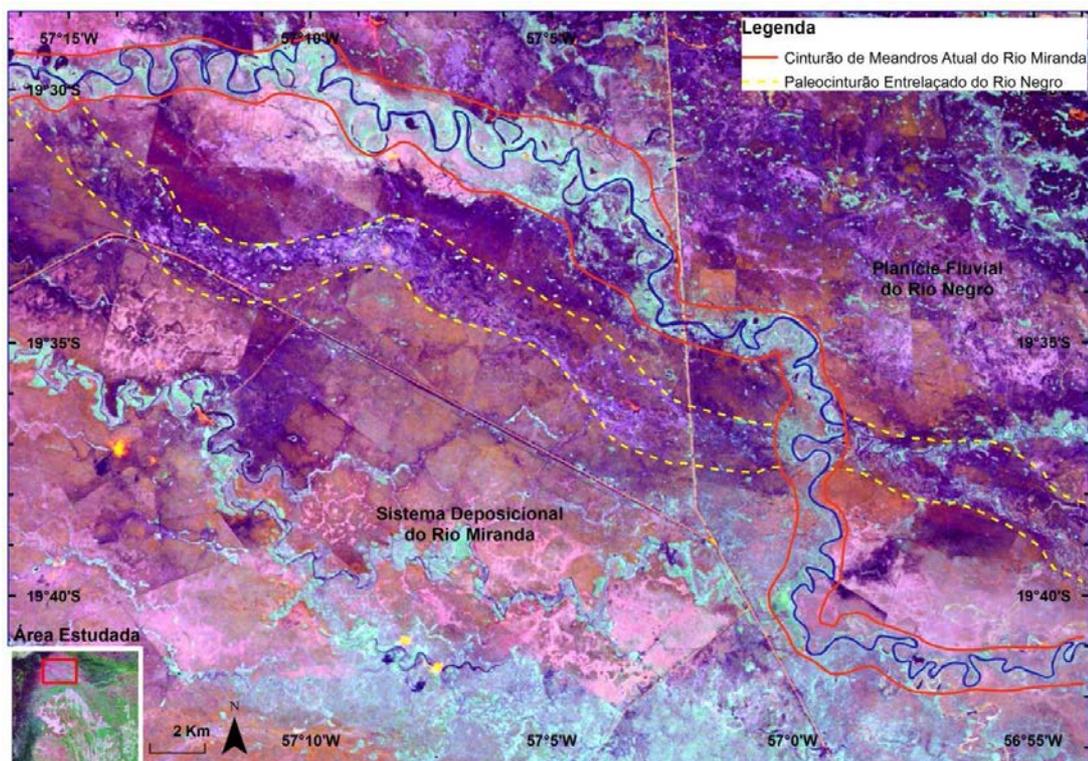
Os paleocinturões e paleocanais evidenciam que o SDRM passou por grandes mudanças, tanto na dinâmica de escoamento superficial das águas quanto no padrão deposicional. Outros registros de mudanças ambientais obtidos através das imagens de satélite permitiram observar que a planície do Miranda também avançou sobre áreas antes drenadas pelo rio Negro, cortando um grande paleocinturão de meandros proveniente de leste e preservado na superfície do lobo abandonado (Figura 40).



**Figura 38**– Delimitação e apresentação da cronologia relativa da criação e abandono dos paleocinturões de meandros preservados no lobo atual do sistema deposicional do rio Miranda. Imagem Aster composição R(1ª PC do conjunto das bandas 3,2 e 1) G(Banda 1), B(Banda 2). A faixa retilínea logo abaixo da coordenada 20°5'S, orientada na direção E-NW, é devida a pequenos deslocamentos no mosaico das imagens.



**Figura 39** – Três paleolobos deposicionais recobertos na superfície do lobo deposicional antigo, interpretado com base no padrão de resíduos topográficos de superfície de tendência de 3º grau.



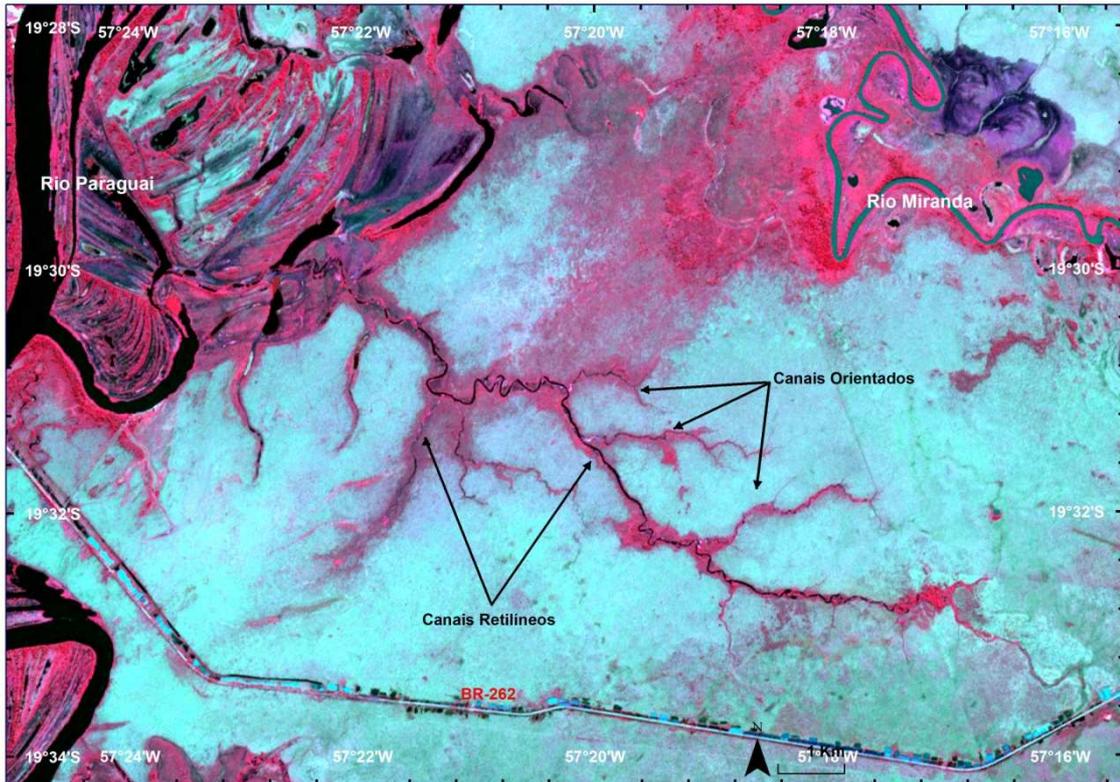
**Figura 40** – Cinturão de meandros atual do rio Miranda seccionando paleocanal proveniente de leste da planície do rio Negro. Imagem Landsat 5 Composição RGB 2: R(1ª PC do conjunto das bandas 7 e 5) G(1ª PC do conjunto das bandas 3, 2 e 1) B(Banda 4). Ver também **Figura 11**

Para [Assine \(2003\)](#), os sistemas deposicionais do Pantanal são sistemas naturais auto-reguladores que reagem às alterações das variáveis do macroambiente na tentativa de restabelecer as condições de equilíbrio. Para entendê-los, o autor afirma ser necessário equacionar corretamente como atuam os processos alocíclicos que controlam o macroambiente, tais como movimentos tectônicos e flutuações climáticas. Na região do sistema Miranda, assim como no Pantanal em geral, é comum a ocorrência de sismos. As constantes mudanças de direção do canal do rio Miranda e de outros rios, bem como a existência na planície de canais praticamente retilíneos, altamente orientados ([Figura 41](#)), podem estar associados a esses movimentos tectônicos.

Evidências de variações climáticas estão expressas na largura dos antigos meandros existentes nos paleocinturões preservados no lobo distributário atual e na planície fluvial confinada, criados em épocas de descarga fluvial bastante superior a atual. Em alguns pontos foram medidos paleomeandros com até 400 m de largura, enquanto o canal atual do rio não ultrapassa os 200 m no ponto em que o canal apresenta sua maior largura (localizado após a confluência com o rio Aquidauana). Porém, para esta redução não deve ser descartada a hipótese de diminuição da capacidade erosiva do rio.

É importante ressaltar que inundações de grandes magnitudes, tal como a ocorrida no ano de 2011, podem acelerar esses processos de mudanças de canal e alterar a área de abrangência dos diferentes sistemas deposicionais. No evento de 2011, a confluência dos rios Miranda e Aquidauana praticamente desapareceu devido ao grande volume de água na planície ([Figura 42 e Figura 43](#)). A repetição de eventos de tal magnitude pode provocar grandes avulsões e novas mudanças no curso dos rios da região. Eventos episódicos de grande magnitude, que propiciam a migração lateral do canal, são comumente relatados para sistemas fluviais distributários, como por exemplo as avulsões do rio Taquari ([Assine, 2005](#)) e do rio Kosi ([Reddy et al., 2008](#)), que em geral acarretam em grandes danos econômicos e sociais.

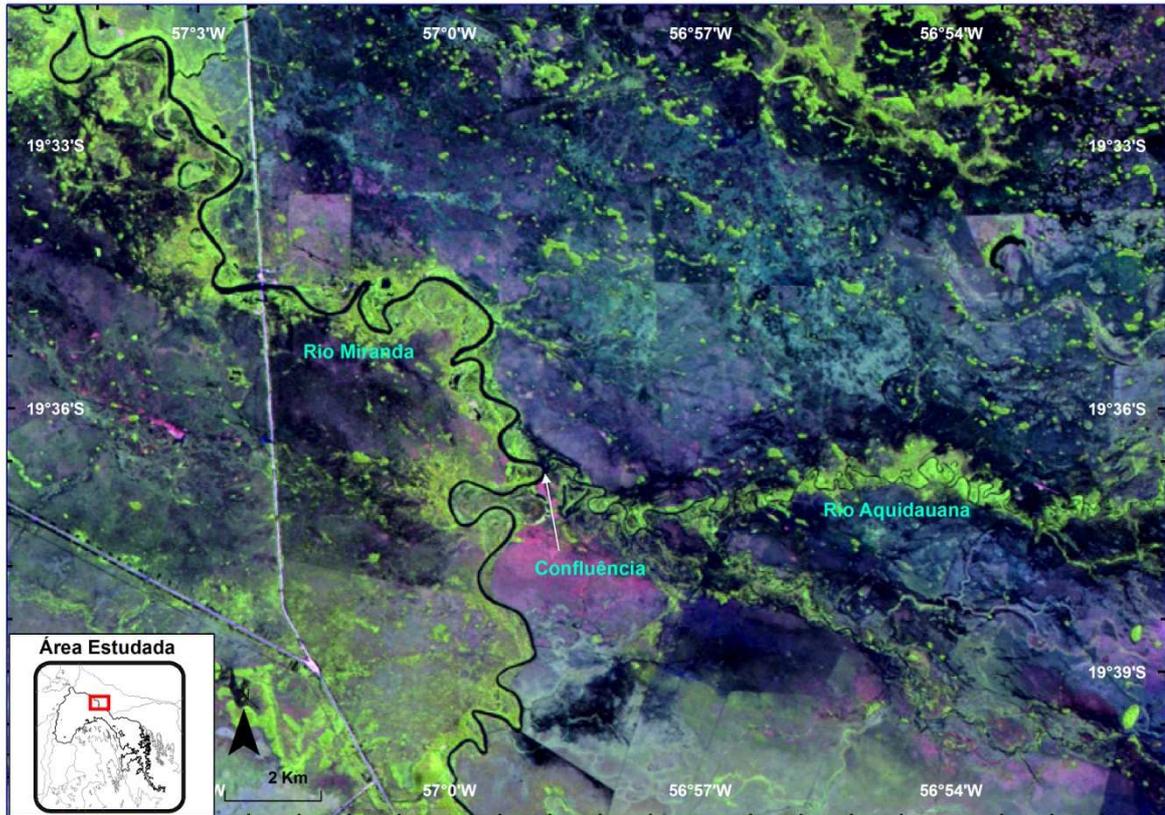
Não deve ser descartada a influência antrópica nessa dinâmica de mudanças. O aterro construído para pavimentação da estrada federal BR-262, corta toda a borda sul do Pantanal e em alguns pontos chega ter 4 metros de altura ([Figura 44](#)). Esse tipo de obra afeta toda a dinâmica local de escoamento superficial das águas.



**Figura 41** – Canais retilíneos e orientados na planície pantaneira, região do lobo deposicional antigo do sistema deposicional do rio Miranda. Imagem ASTER composição R3G2B1.



**Figura 42** – Grande cheia de 2011, imageada no dia 21 de março (Imagem Landsat 5 Comp. R5G4B3). As tonalidades escuras demonstram a grande quantidade de água na planície. Segundo relatos de moradores locais, até mesmo as cordilheiras foram alagadas, causando a morte de grande quantidade e de cabeças de gado. Algumas regiões dos municípios de Miranda e Aquidauana, parte da população ribeirinha teve as casas alagadas e precisaram ser resgatadas de barco.



**Figura 43** – Grande cheia de 2011, imageada no dia 22 de abril (Imagem Landsat 5 Comp. R7G4B2).



**Figura 44** – Aterro construído para pavimentar a BR-262. Sem esta grande obra de engenharia possivelmente a cidade de Corumbá ficaria ilhada boa parte do ano para veículos automotores. Não deve ser ignorada, entretanto, a interferência exercida no sistema por esse e outros aterros existentes na planície pantaneira.

## 6. CONCLUSÃO

A compartimentação das áreas adjacentes ao sistema deposicional do rio Miranda (SDRM), foi de fundamental importância para compreensão dos diferentes sistemas que compõem o trato deposicional da borda sul do Pantanal. O SDRM foi dividido em três compartimentos: 1) planície aluvial confinada; 2) lobo deposicional atual; e 3) lobo deposicional antigo.

As geoformas deposicionais preservadas no lobo distributário atual permitiram identificar ao menos quatro estágios evolutivos do cinturão de meandros do sistema deposicional do rio Miranda. Os paleocinturões de meandros, nos quais estão preservados grandes meandros abandonados, mostram que a descarga fluvial do rio Miranda era bastante superior à atual e gradativamente foi diminuindo, devido, provavelmente, a variações climáticas ocorridas no Holoceno.

No lobo deposicional antigo, a identificação de paleocanais distributários e de três paleolobos deposicionais permitiu reconhecer um antigo megaleque fluvial na parte distal do rio Miranda. Porém, devido à dinâmica sucessiva de criação e abandono de cinturões de meandros, bem como à diminuição da capacidade hidrológica o leque foi abandonado e obliterado pela deposição de sedimentos recentes.

Constantes mudanças ocorrem no estilo de drenagem do rio Miranda, tanto na planície fluvial confinada quanto na planície pantaneira. A construção e abandono de canais e de grandes cinturões de meandros também são fenômenos frequentes. Estas mudanças são em grande parte naturais e podem estar relacionadas a: 1) mudanças climáticas que causaram diminuição da descarga fluvial e do aporte de sedimentos; 2) movimentações tectônicas e falhas existentes na região do Pantanal; e 3) variações do nível de base do rio Paraguai.

O uso de técnicas de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto possibilitaram alcançar bons resultados para o trabalho. O processamento digital das imagens melhorou a identificação das geoformas e foi imprescindível para realização da pesquisa, sendo a Análise das Componentes Principais (APC) aquela que propiciou melhores resultados. Este processamento realçou as geoformas deposicionais tanto nas imagens Landsat-7 ETM+, quanto nas ASTER. A Composição RGB ASTER 2 - **R**(1ª PC do conjunto das bandas 3,2 e 1) **G**(Banda 1),

**B**(Banda 2), foi a triplete que, além de realçar os paleocinturões abandonados de meandros, também possibilitou a identificação da sucessão de eventos.

A grande versatilidade de classificação do SRTM em diferentes níveis altimétricos permitiu a identificação de algumas feições de relevo, que normalmente não são identificadas nos sensores utilizados devido à baixa resolução espacial dos dados, tais como pequenas elevações residuais. Outros ganhos possibilitados pelo uso de dados SRTM foi a geração de resíduos topográficos de superfície de tendência, que além de realçar as geoformas do sistema deposicional do rio Miranda, permitiu identificar três paleolobos distributários no lobo antigo, que não seriam visualizados nem mesmo em imagens de satélite com alta resolução espacial.

O uso das Geotecnologias e suas ferramentas não devem ser adotados como única alternativa para estudos sobre o meio físico, mesmo para regiões de difícil acesso como o Pantanal. Entretanto, quando devidamente validadas através de trabalhos de campo e sistematicamente em bancos de dados geográficos, possibilitam significativo avanço na extração de informações e na interpretação geomorfológica.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ab'Sáber, A. N. 1988. O Pantanal Mato-Grossense e a teoria dos refúgios. *Revista Brasileira de Geografia*, **50**: 9-57.
- Alvarenga, S. M., Brasil, A. E., Del'Arco, D. M. 1982. *Geomorfologia*. In: Brasil (ed.) Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional de Produção Mineral. Projeto RadamBrasil. Folha SF-21-Campo Grande. Rio de Janeiro, MME.
- Alvarenga, C.S.J., Moura, A.A.V., Gorayeb, P.S.S. 2000. Paraguay and Araguaia Belts. In: Cordani, U.G., Milani, E.J., Thomaz Filho, A. Campos, D.A. (Eds). *Tectonic evolution of South America*. Rio de Janeiro. Geological Society.
- ANA – Agência Nacional de Águas. 2004. Implementação de Práticas de Gerenciamento Integrado de Bacia Hidrográfica para o Pantanal e Bacia do Alto Paraguai ANA/GEF/PNUMA/OEA: Programa de Ações Estratégicas para o Gerenciamento Integrado do Pantanal e Bacia do Alto Paraguai: Relatório Final/Agência Nacional de Águas – ANA... (et al.), Brasília.
- Almeida, F.F.M. 1964. *Geologia do Centro-Oeste Matogrossense*. Boletim da Divisão de Geologia e Mineralogia, DNPM. Rio de Janeiro. Boletim 215. 123p.
- Almeida, F.F.M. de. Evolução tectônica do Centro-Oeste Brasileiro no Proterozóico Superior. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, Rio de Janeiro, 40:2P5-93, 1968. Suplemento.
- Almeida, T.S.R., Mendes, D., Sígolo, J.B., Fernandes, E., Branco, F. C. 2006. Distribuição espacial de diferentes classes de lagoas no Pantanal da Nhecolândia, MS, a partir de dados vetoriais e srtm: uma contribuição ao estudo de sua compartimentação e gênese. *Geol. USP, Sér. Cient.*, São Paulo, v. **7**, p. 95-107.
- Assine, M. L., 2003. Sedimentação na Bacia do Pantanal Mato-grossense, Centro Oeste do Brasil. Tese de Livre Docência. Instituto de Geociências e Exatas, UNESP. Rio Claro. p. 95.
- Assine, M. L. & SOARES, P. C. 2004. Quaternary of the Pantanal, west-central Brazil. *Quaternary International*, **114**: 23 - 24.
- Assine, M.L., 2005, River avulsions on the Taquari megafan, Pantanal wetland, Brazil. *Geomorphology*, **70**: 357–371.
- Assine, M. L. 2010. Pantanal Mato-Grossense: uma paisagem de exceção. In: Modenesi-Gauttieri, M. C.; Bartorelli, A.; Mantesso-Neto, V. Carneiro, C. D. R.; Lisboa, M. B. A. L. (eds.). *A Obra de Aziz Nacib Ab'Saber*. São Paulo, Beca-BALL Edições, p. 464-489.

- Boggiani, P.C., Fairchild, T.T., Coimbra, A. 1993. Grupo Corumbá (Neoproterozóico-Cambriano) na Região Central da Serra da Bodoquena (Faixa Paraguai), Mato Grosso do Sul.
- Boggiani, P.C. & Alvarenga, C.J.S. de. 2004. Faixa Paraguai. In: Neto-Mantesso, V.; Bartorell, A.; Carneiro, C.D.R. & Brito-Neves, B.B. De (Eds.), *Geologia do continente sul-americano*. São Paulo: Editora Beca, p. 112-121, 2004. *Revista Brasileira de Geociências*. **23** (3):301-305.
- BRASIL. 1974. Ministério do Interior - Departamento Nacional de Obras de Saneamento. Estudos hidrológicos da bacia do alto Paraguai. DNOS. Rio de Janeiro, v. **1**.
- Bridge, J.S. 2003. *Rivers and floodplains: forms, processes, and sedimentary record*. Oxford, Blackwell Publishing. 491p.
- Câmara, G. 1996. SPRING Integrating Remote Sensing and GIS with Object Oriented Data Modelling. *Computers & Graphics, Dordrecht, Holanda*, v. **15**, n. 6, p. 13-22.
- Charlton, R. 2008. *Fundamentals of Fluvial Geomorphology*. New York, Routledge. 234p.
- Christofolletti, A. 1974. *Geomorfologia*. São Paulo, Edgar Blucher/USP.
- Corradini, F. A., 2011. Geomorfologia fluvial, mudanças ambientais e evolução do megaleque do rio São Lourenço, Quaternário do Pantanal Mato-Grossense. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 126 p.
- Corrêa, J.A. et al. 1976. Projeto Bodoquena - Relatório Final – MME-DNPM-Convênio DNPM/CPRM – Superintendência Regional de Goiânia-Goiânia.
- Correa, J.A. 2001. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. Aquidauana. Folha SF.21-X-A. – Escala 1:250.000. Estado de Mato Grosso do Sul. CPRM.
- Crosta, A. P. 1992. *Processamento digital de imagens de Sensoriamento Remoto*. Campinas, SP. IG/Unicamp. 170p.
- CPRM. 2008. Geobank CPRM - <http://geobank.sa.cprm.gov.br/>
- Davis, J.C., 1986. *Statistics and Data Analysis in Geology*, second ed. Wiley, New York, NY 656pp.
- ESRI - Environmental Systems Research Institute. 2009. ArcGis 9.3.1. Redlands – California.
- Facincani, E. M., Assine, M. L., Silva, A., Zani, H., Araújo, B. C., Miranda, G. M. 2006. Geomorfologia fluvial do leque do rio Aquidauana, borda sudeste do

Pantanal, MS. Campo Grande, Brasil, Embrapa Informática Agropecuária/INPE.

- Franco, M.d.S.M. & Pinheiro, R. 1982. Geomorfologia. *In: Ministério de Minas e Energia – Departamento de Produção Mineral* (Ed.) MME. 27, p161-224.
- Gonçalves, F. D., Souza Filho, P. W. M.; Paradella, W.R., Miranda, F.P. 2009. Fusão de dados multisensor para a identificação e o mapeamento de ambientes flúvio-estuarinos da Amazônia. *Revista Brasileira de Geofísica* (Impresso), V. **27**, p. 57-67, 2009.
- Godoi, H. O. 2001. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. Aquidauana. Folha SF.21-X-A. – Escala 1:250.000. Estado de Mato Grosso do Sul. CPRM- Brasília.
- Grohmann. C.H. 2004. Técnicas de Geoprocessamento Aplicadas à Análise Morfométrica. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Geoquímica e Geotectônica – USP. São Paulo. 78p.
- Grohmann, C. H. 2005. Trend-surface analysis of morphometry parameters: a case study in southeastern Brazil. *Computers & Geosciences*, **31**(8): p. 1007-1014.
- Hamilton, S. K., Sippel, S. J. & Melack, J. M. 1996. Inundation patterns in the Pantanal wetland of South America determined from passive microwave remote sensing. *Archiv für Hydrobiologie* **137**(1): 1–23.
- Hamilton, S. K., Corrêa de Souza, O. & Coutinho, M. E. (1998) Dynamics of flood plain inundation in the alluvial fan of the Taquari River (Pantanal, Brazil). *Proceedings of the International Association of Applied and Theoretical Limnology* **26**: 916–922.
- Hamilton, S. K. 1999. Potential effects of a major navigation project (the Paraguay–Paraná Hidrovia) on inundation in the Pantanal flood plains. *Regulated Rivers: Research and Management* **15**(4): 289–299.
- IBGE, 1989. *Geografia do Brasil, vol. 1: Região Centro–Oeste*. Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Diretoria de Geociências, Rio de Janeiro.
- ITT Visual Information Solution. 2008. ENVI (Environment for Visualizing Images). Pearl East Circle Boulder, CO.
- Junk, W.J.; Bayley, P.B. ; Sparks, R.E . The flood pulse concept in river floodplain systems. *Canadian Spec Publ Fish Aquatic Science*, Canadá, **106**, p: 110-127, 1989.
- Jarvis, A., Reuter, H.I., Nelson, A., Guevara, E. 2008. Hole-filled SRTM for the globe Version 4, available from the CGIAR-CSI SRTM 90m Database: <http://srtm.csi.cgiar.org> .

- Junk, W. J., Cunha, C. N., Wantzen, K. M., Petermann, P., Strüssmann, C., Marques, M. I., Adis, J. 2006. Biodiversity and its conservation in the Pantanal of Mato Grosso, Brazil. *Aquatic Sciences*, **68**: 278–309.
- Kuerten, S. 2010. Evolução geomorfológica e mudanças ambientais no megaleque do Nabileque, Quaternário do Pantanal mato-grossense Tese de Doutorado. Instituto de Geociências e Exatas, UNESP. Rio Claro. 106p.
- Landim, P.M.B., 1998. *Análise estatística de dados geológicos*. Fundação Editora da UNESP, São Paulo. 226p.
- Manfré, L.A., Urban, R.C., Silva, A.M. 2011. Análise de superfície de tendência de variáveis de solo como subsídio ao planejamento ambiental de uma bacia hidrográfica rural. Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Curitiba, PR. INPE p.9187.
- Mendes, C. A. B, Grehs, S. A., Perereira, M. C. B., Barreto, S. R., Becker, M., Lange, M. B. R., Dias, F. A., 2004. *Bacia hidrográfica do rio Miranda: estado da arte*. Campo Grande : UCDB, 177 p.
- Moreira, A. A. N. 1977. *Relevo*. In: (ed.) *Geografia do Brasil: Região Centro-oeste*. Rio de Janeiro, SERGRAF, p.: 1-33.
- Nogueira, V.L. et al. 1978. Projeto Bonito-Aquidauana; relatório final. Goiânia, DNPM/CPRM. 14 v. (Relatório do Arquivo Técnico da DGM. 2744), v. 1.
- Novo, M.L. 1992. *Sensoriamento Remoto: Princípios e Aplicações*. Edgard Blucher. 328p.
- Oliveira, E.C., Utida, G., Boggiani, P.C., Petri, S. 2009. Significado paleoclimático dos calcários quaternários da Formação Xaraiés. Anais 2º Simpósio de Geotecnologias no Pantanal, Corumbá. Embrapa Informática Agropecuária/INPE, p.230-239
- Padovani, C. R. 2010. Dinâmica espaço-temporal das inundações do pantanal. Tese de Doutorado. USP/ESALQ/ECOLOGIA APLICADA. Piracicaba-SP. 174p.
- Paradella, W.R., Santos, A.R., Veneziani, P., Moraes, M.C. 2001. O Sinergismo de Imagens Standard Descendente do RADARSAT-1 e Thematic Mapper do Landsat-5 em Aplicação Geológica na Amazônia. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Foz do Iguaçu. Anais SBSR, São José dos Campos. p. 315–322.
- Perry, C.T. & Taylor K. 2007. *Environmental Sedimentology*. Oxford, Blackwell Publishing. 441p.
- Pfafstetter, O. 1987. Classificação das Bacias. DNOS - Departamento Nacional de Obras de Saneamento. Rio de Janeiro.

- Pogodim, A.A. & Resende, E.K. 2000. Ocupação das matas ciliares pelos empreendimentos do turismo de pesca no Rio Miranda, Pantanal, MS, Brasil. *Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento / Embrapa Pantanal*, ISSN 1517-1981; **64**. 29 p. Corumbá.
- Polizer, M., Lastória, G., & Rondon, M.A.C. 2000. Características físicas da região do Passo do Lontra. *In: Primeiro Simpósio de Recursos Hídricos do Centro-Oeste*.
- Reddy, D.V., Jumar, D., Mandal, M.K. 2008. The 18 August 2008 Kosi river breach: an evaluation. *Current Science*, v. **95**, n. 12.
- Schmm, S. A. 1963. Sinuosity of alluvial rivers on the great plains. *Geological Society of America Bulletin*. v. **74**, n. 9, p. 1089-1100
- Silva, A. 2010. *Geomorfologia do megaleque do Paraguai do rio Paraguai, Quaternário do Pantanal Mato-Grossense, Centro-Oeste do Brasil*. Tese de Doutorado. Instituto de Geociências e Exatas, UNESP. Rio Claro.
- Silva, J. dos S.V. da. Elementos fisiográficos para delimitação do Ecossistema Pantanal: Discussão e proposta. *In: ESTEVES, F.A. (Ed.). Oecologia Brasiliensis*. Rio de Janeiro: UFRJ, 1995. p.439-458.
- Silva, J. dos S.V. da & ABDON, M.M. 1998. Delimitação do Pantanal brasileiro e suas sub-regiões. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, **33** (Especial): 1703-1711.
- Soares, A. P. & Soares, P. C., Assine, M. L. 2003. Areiais e lagoas do Pantanal, Brasil: herança paleoclimática? *Revista Brasileira de Geociências*, **33** (2):211-224.
- Soares, P. C. & Fiori, A. P. 1976. Lógica e sistemática na análise e interpretação de fotografias aéreas em geologia. *Notícia Geomorfológica*, **16**(32): 71–104.
- Soares, P. C., Assine, M. L., Rabelo, L. 1998. The Pantanal Basin: recent tectonics, relationships to the Transbrasiliano Lineament. *In: Simpósio brasileiro de sensoriamento remoto, Santos, Anais*, p. 459-469.
- Souza Filho, P.W.M, Paradella, W.R. 2005. Use of RADARSAT-1 fine mode and Landsat-5 TM selective principal component analysis for geomorphological mapping in a macrotidal mangrove coast in the Amazon Region. *Canadian Journal of Remote Sensing*, **31**(3): 214–224.
- Schowengerdt, R.A. 1997. *Remote sensing, models, and methods for image processing*. San Diego. Elsevier. 522p.
- Tricart, J. 1982. El Pantanal: un ejemplo del impacto geomorfológico sobre El ambiente. *Informaciones Geograficas (Chile)*, **29**:81-97.

- Vedovello, R. 1993. Zoneamento geotécnico, por sensoriamento remoto, para estudos de planejamento do meio físico: aplicação em expansão urbana. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 90p.
- Veneziani, P., Anjos, C. E. 1982. Metodologia de interpretação de dados de sensoriamento remoto e aplicações em geologia. São José dos Campos: INPE, 54p.
- Valeriano, M. M. & Abdon, M. M. 2006 . Aplicação de dados SRTM a estudos do Pantanal. In: Simpósio De Geotecnologias No Pantanal 1., (Geopantanal), Campo Grande, MS. Anais do Simpósio De Geotecnologias No Pantanal 1., (Geopantanal). Campinas/São José dos Campos : Embrapa Informática Agropecuária/Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. v. 1. p. 395-404.
- Zani, H. 2008. Mudanças Morfológicas na Evolução do Megaleque do Taquari: Uma Análise com Base em Dados Orbitais. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 85p.
- Zani, H. Assine, M. L., Silva, A., Corradini, F.A., Kuerten, S., Gradella, F. S. 2009. Geoformas deposicionais e feições erosivas no Pantanal Mato-Grossense identificadas por sensoriamento remoto. *Geografia (Rio Claro. Impresso)*, **34**: 643-654.