



Universidade Federal do Pará



Faculdade de Geologia



Instituto de Geociências

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
FACULDADE DE GEOLOGIA

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO (TCC)

JAQUELINE ALCÂNTARA DOS SANTOS

“ANÁLISE MORFOESTRUTURAL DA SUB-BACIA DO RIO ALTO PARAGUAI
– MT COM DADOS DE SENSORIAMENTO REMOTO”

GEOCIÊNCIAS
U.F.P.A.

BELÉM – PARÁ
SETEMBRO – 2013

JAQUELINE ALCÂNTARA DOS SANTOS

“ANÁLISE MORFOESTRUTURAL DA SUB-BACIA DO RIO ALTO PARAGUAI
– MT COM DADOS DE SENSORIAMENTO REMOTO”

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Geologia do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará, em cumprimento às exigências para obtenção do grau de Bacharel em Geologia.

Orientador: Prof. Dr. Arnaldo de Queiroz da Silva

Co-orientador: Prof. Dr. Afonso César Rodrigues Nogueira

BELÉM – PARÁ
SETEMBRO – 2013

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)

Sistema de Bibliotecas da UFPA

S237a Santos, Jaqueline Alcântara dos

Análise morfoestrutural da sub-bacia do rio Alto Paraguai – MT com dados de sensoriamento remoto/ Jaqueline Alcântara dos Santos– 2013

69f. : il.

Orientador: Arnaldo de Queiroz da Silva

Co-orientador: Afonso César Rodrigues Nogueira

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação em geologia) – Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, Faculdade de Geologia, Belém, 2013.

1.Sensoriamento Remoto – Mato Grosso. 2. Bacias Hidrográficas – Mato Grosso. 3. Índices Morfométricos. 4. Análise Qualitativa da Drenagem. I. Silva, Arnaldo de Queiroz da, *orient.* II. Universidade Federal do Pará. III. Título.

CDD 22ª ed.: 621.3678098172

JAUQUELINE ALCÂNTARA DOS SANTOS

“ANÁLISE MORFOESTRUTURAL DA SUB-BACIA DO RIO ALTO PARAGUAI
– MT COM DADOS DE SENSORIAMENTO REMOTO”

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Geologia do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará, em cumprimento às exigências para obtenção do grau de Bacharel em Geologia.

DATA DA APROVAÇÃO: 19/09/23

CONCEITO: Excelente.

BANCA EXAMINADORA:



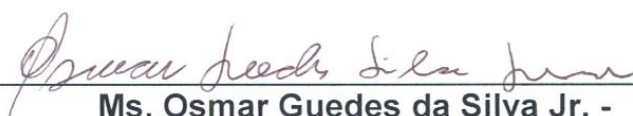
**Prof. Dr. Arnaldo de Queiroz da Silva -
Orientador**

Doutor em Sensoriamento Remoto
Universidade Federal do Pará



**Prof. Dr. Roberto Vizeu Lima Pinheiro -
Relator**

Doutor em Geologia Estrutural
Universidade Federal do Pará



**Ms. Osmar Guedes da Silva Jr. -
Avaliador**

Mestre em Geologia
Universidade Federal do Pará

Dedico este trabalho as minhas mães:
Maria Luisa Serra Alcântara por ser uma
mãe guerreira; a minha bisavó Nair da
Silva dos Santos (*In memoriam*) por ter me
ensinado os valores morais; e a minha
madrinha Lucimar Rodrigues Lima por ser
meu porto seguro.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pelo dom da vida a cada novo raiar de sol.

A minha mãe Maria Luisa Serra Alcântara por indiretamente influenciar diretamente a cada etapa conquistada, a minha madrinha Lucimar Rodrigues Lima pelo carinho e investimento durante esses longos anos de estudo, a minha bisavó Nair da Silva dos Santos (*In memorian*) por me estender os braços quando mais estava desamparada em minha infância, ao meu pai de criação Darcilo da Silva dos Santos por fazer minha infância mais maravilhosa, as minhas irmãs Ingrid Laisa Serra Alcântara e Caroline Barroso dos Santos pelo carinho incondicional.

Ao Prof. Dr. Arnaldo Queiroz pela orientação e por sempre ser prestativo, atencioso e incentivador.

Ao Prof. Msc. Clodis Andrades Filho da Universidade Estadual do Rio Grande do Sul (UERGS) pelas discussões construtivas relacionadas aos índices morfométricos via e-mail.

Ao Prof. Dr. Fabio Henrique Domingos pelas discussões relacionadas aos dados obtidos com a geologia regional.

Ao amigo Alex Nina pela ajuda na formatação técnica deste trabalho.

Aos amigos Almir Costa e Dra. Telma Faraco pelo conhecimento adquirido relacionado ao *software* ArcGIS durante esses quase 1 ano e meio de convívio no estágio (CPRM).

A Pró-Reitoria de Extensão (PROEX-UFPA) pelo apoio fundamental nos meus primeiros anos de faculdade e pelas bolsas de língua estrangeira.

Ao meu namorado Márcio Fernandes pelo amor, companheirismo, paciência e incentivo.

Aos amigos e colegas conquistados ao longo desses anos de graduação, em especial a turma de 2009, que contribuíram de forma direta ou indireta no conhecimento adquirido e pelo crescimento como pessoa.

“Realizar os sonhos implica riscos, riscos implicam escolhas, escolhas implicam erros. Quem sonha não encontra estradas sem obstáculos, lucidez sem perturbações, alegria sem aflição. Mas quem sonha voa mais alto, caminha mais longe. Toda pessoa, da infância ao último estágio da vida, precisa sonhar.”

Augusto Cury

RESUMO

O presente trabalho objetivou aplicar análise qualitativa (fotointerpretação por análise sistemática de elementos texturais) e quantitativa (cálculo de índices morfométricos) dos elementos de drenagem e relevo extraídos de produtos de sensoriamento remoto (Modelo Digital de Elevação - MDE e imagens óticas LANDSAT) visando reunir evidências para identificar padrões de deformação tectônica na evolução das drenagens em depósitos sedimentares cenozoicos da porção oeste de duas sub-bacias hidrográficas do rio Alto Paraguai (rio Padre Ignácio e do trecho do rio Paraguai próximo a cidade de Cáceres). Foram avaliados dados SRTM (resolução espacial de 90m) e TOPODATA (resolução espacial de 30m) para extração automática da drenagem e de lineamentos de relevo através dos *softwares* Global Mapper V.14 e PCI-Geomatic, respectivamente. Os resultados revelaram que tanto a drenagem como os lineamentos extraídos automaticamente do MDE-SRTM tiveram boa correspondência com as drenagens de referência (obtidas de imagens LANDSAT) e com estruturas tectônicas registradas na área de estudo. Este desempenho não foi alcançado com os dados TOPODATA. A análise quantitativa baseada em parâmetros morfométricos (Fator de Assimetria da Bacia - FAB, Fator Simetria Topográfica Transversal - FSTT e, Fator de Relação Declividade-Extensão - RDE) associada à análise qualitativa da rede de drenagem (identificação de formas anômalas, superimposição de drenagem e mudança abrupta no tipo de canais em um pequeno trecho do rio) revelaram um efetivo controle estrutural regional dos sistemas de falhas, fraturas e dobras nas formas atuais de drenagem. A principal conclusão deste estudo é a demonstração da efetividade da abordagem metodológica aplicada na análise tectônica de áreas com extensas coberturas sedimentares como a que foi estudada.

Palavras-chave: Sensoriamento Remoto – Mato Grosso. Bacias Hidrográficas – Mato Grosso. Índices Morfométricos. Análise Qualitativa da Drenagem.

ABSTRACT

This study aimed to apply qualitative (photointerpretation by systematic analysis of textural elements) and quantitative analysis (morphometric index calculation) of drainage elements and relief extracted from remote sensing products (Digital Elevation Model - DEM and LANDSAT optical images) to identify standard of tectonic deformation in the evolution of drainage in Cenozoic sedimentary deposits of the western portion of two sub-basins of the Alto Paraguai river (river Padre Ignacio and the stretch of the Paraguai River near the town of Cáceres). SRTM data were evaluated (spatial resolution of 90m) and TOPODATA (spatial resolution of 30m) for automatic extraction of drainage and lineaments relief through the Global Mapper software and V.14 PCI Geomatic, respectively. The results revealed that both drainage and lineaments extracted automatically from SRTM-DEM had good correspondence with the drains reference (obtained from LANDSAT) and tectonic structures recorded in the study area. This performance was not achieved with the data TOPODATA. Quantitative analysis based on morphometric parameters (asymmetry factor Basin - AFB, Transverse Topographic Symmetry Factor - FSTT and Relationship Slope Factor-Extension - RDE) associated with the qualitative analysis of the drainage network (identification of anomalous forms, overprint drainage and abrupt change in the type of channels in a small stretch of the river) revealed an effective regional structural control systems faults, fractures and folds in the current forms of drainage. The main conclusion of this study is to demonstrate the effectiveness of the methodological approach applied in the analysis of tectonic areas with extensive sedimentary cover as that was studied.

Keywords: Remote Sensing – Mato Grosso. Watershed – Mato Grosso. Morphometric Index. Qualitative Analysis of Drainage.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Principais propriedades de drenagem.....	17
Figura 2: Parâmetros para o cálculo RDE.....	20
Figura 3: Bloco esquemático do fator de assimétrico da bacia de drenagem. .	22
Figura 4: Bloco esquemático do fator de simetria topográfica transversal.	23
Figura 5: Mapa de localização da sub-bacia do Rio Alto Paraguai.	24
Figura 6: Mapa das principais unidades geomorfológicas presentes na sub-bacia do rio Alto Paraguai.	28
Figura 7: Esboço geológico da Província Tocantins.....	30
Figura 8: Coluna estratigráfica do segmento setentrional da Faixa Paraguai, ressaltando os grupos Araras e Alto Paraguai.	33
Figura 9: Mapa geológico expandido da porção sudoeste do estado do Mato Grosso, abrangendo a área de estudo na porção sul da Faixa Paraguai.....	34
Figura 10: Fluxograma das etapas de trabalho a serem desenvolvidos neste estudo.....	37
Figura 11: Rede de drenagem gerada automaticamente (B) a partir de dados TOPODATA com resolução de 30 m (A).....	38
Figura 12: Imagem do relevo sombreado gerado a partir de dados SRTM (A) e a rede de drenagem gerada automaticamente (B).....	39
Figura 13: (A) Detalhe para os meandros abandonados que não foram vetorizados (B) e a correção dos mesmos utilizando imagem LANDSAT em composição falsa cor (R-5,G-4,B-3).....	40
Figura 14: Imagem LANDSAT (30/07/2001, órbita 227, ponto 071) em composição falsa cor (R-5,G-4,B-3) utilizada para validação da rede de drenagem extraída automaticamente da imagem SRTM.	40
Figura 15: Mapa da sub-bacia hidrográfica do rio Alto Paraguai com suas respectivas zonas homólogas.	42
Figura 16: Mapa das unidades geológicas ocorrentes na área de estudo e as zonas homólogas da rede de drenagem.	43
Figura 17: Formas anômalas em arco e cotovelo indicados por círculos de cor preta e branca, respectivamente.	44
Figura 18: Mudanças dos tipos de canais no trecho do rio Paraguai.....	45
Figura 19: Relevo Sombreado gerado a partir de dados TOPODATA (A) e as feições lineares de relevo geradas pelo algoritmo LINE (B).....	47

Figura 20: Lineamentos extraídos automaticamente sobre imagens sombreadas SRTM (A) e (C) com direções azimutais de iluminação 110° Az (B) e 290° Az (D), respectivamente.....	49
Figura 21: (A) Mapa de lineamentos de relevo (ALENCAR, 2011) utilizado para comparação e validação dos dados adquiridos pela extração automática; (B) Mapa de lineamentos extraídos automaticamente do MDE/SRTM.....	50
Figura 22: Domínios estruturais estabelecidos a partir de lineamentos obtidos por extração automática a partir de MDE/SRTM. À direita têm-se os diagramas de rosetas indicando a direção preferencial de cada domínio estrutural.....	51
Figura 23: Mapa de lineamentos extraídos manualmente da rede de drenagem com seus respectivos domínios. A direita os diagramas de roseta dos domínios com a direção preferencial dos lineamentos.	53
Figura 24: Feições de superimposição de drenagem em cristas das serras na porção leste da área de estudo – domínio da Faixa Paraguaiá.	54
Figura 25: Sub-bacias estudadas: do rio Padre Ignácio, área de cor verde e, do trecho do rio Alto Paraguai, de cor vinho.	55
Figura 26: Análise do Índice FAB para as sub-bacias estudadas.	57
Figura 27: Análise do Índice FSTT	59
Figura 28: Perfil longitudinal do rio Padre Ignácio e o Índice de Gradiente RDE.	62
Figura 29: Perfil longitudinal do trecho do rio Paraguai e o Índice de Gradiente RDE.....	62
Figura 30: Segmentos dos rios Padre Ignácio e Paraguai anômalos (linhas de cores amarelo) e não-anômalos (linhas de cor verde) segundo o Índice de Gradiente RDE.....	63

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Valores utilizados nos parâmetros de entrada (input) do algoritmo LINE implementado no módulo Focus do software PCI Geomatica V12.0. 48

Tabela 2: Frequência de lineamentos estruturais derivados de relevos sombreados SRTM. 48

Tabela 3: Índice FAB e as variáveis necessárias para o seu cálculo nas sub-bacias hidrográficas de estudo..... 57

Tabela 4: Dados morfométricos referentes aos perfis longitudinais dos rios Padre Ignácio e Paraguai..... 61

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	CONTEXTUALIZAÇÃO	13
1.2	OBJETIVOS	14
1.3	JUSTIFICATIVA	15
1.4	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	16
1.4.1	Feições morfoestruturais	16
1.4.2	Drenagem	16
1.4.2.1	Análise qualitativa	16
1.4.2.2	Análise quantitativa	19
1.5	LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO....	23
1.5.1	Aspectos climáticos	25
1.5.2	Aspectos fitogeográficos	25
1.5.3	Aspectos geomorfológicos e hidrográficos	26
2	CONTEXTO GEOLÓGICO	29
3	MATERIAIS E MÉTODOS	35
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	38
4.1	ANÁLISE QUALITATIVA DA REDE DE DRENAGEM.....	38
4.1.1	Extração automática de drenagem a partir de MDE	38
4.1.2	Análise dos padrões de drenagem	41
4.2	ANÁLISE MORFOESTRUTURAL DOS LINEAMENTOS.....	46
4.2.1	Extração automática dos lineamentos de relevo a partir de MDE	46
4.2.2	Lineamentos de relevo	50
4.2.3	Lineamentos de drenagem	52
4.3	ANÁLISE MORFOMÉTRICA DA DRENAGEM	55
4.3.1	Fator de Assimetria de Bacias (FAB)	55
4.3.2	Fator de Simetria Topográfica Transversal (FSTT)	58
4.3.3	Relação Declividade-Extensão (RDE)	59
5	CONCLUSÕES	64
	REFERÊNCIAS	66

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

O reconhecimento, a localização e a quantificação das drenagens de uma determinada região são de fundamental importância para o entendimento dos processos geomorfológicos que governam as transformações do relevo sob as mais diversas condições climáticas e geológicas (GUERRA; CUNHA, 2001). Nesse sentido, a utilização das informações espaciais extraídas do traçado e da forma das drenagens é indispensável na análise geológico-ambiental, uma vez que são respostas/resultados das características ligadas a aspectos geológicos, estruturais e a processos geomorfológicos, os quais atuam como agentes modeladores da paisagem e das formas de relevo. A bacia hidrográfica pode-se desenvolver em diferentes tamanhos e podem ser desmembradas em um número qualquer de sub-bacias de drenagem, dependendo do ponto de saída considerado ao longo do seu canal coletor (MORAES et al., 2010).

O estudo das ciências requer observação, classificação e armazenamento de informações, utilizando-se métodos qualitativos de classificação e mapeamento sistemático, gerando enormes quantidades de dados complexos que devem ser analisados de forma integrada. Essa grande quantidade de dados requeridos para análise tem conduzido a um crescimento da demanda por bases de dados computadorizadas (XAVIER, 2009).

Diversos trabalhos ilustram as vantagens na utilização de produtos de sensoriamento remoto visando o reconhecimento de lineamentos morfoestruturais em uma variedade de terrenos geológicos (p.e., ANDRADES FILHO, 2010; FORTES et al., 2011; MALIK; MOHANTY, 2007). Este tipo de investigação tem como base a caracterização de formas de relevo e de bacias de drenagem, que auxilia na reconstituição do arcabouço estrutural por permitir o reconhecimento de estruturas tectônicas como falhas, fraturas e dobras, desenvolvidas em diferentes momentos do passado geológico (ANDRADES FILHO, 2010).

Ferramentas de sensoriamento remoto favorecem a detecção de estruturas muitas vezes imperceptíveis em campo, particularmente em áreas com carência de exposições de rochas, possibilitando sua caracterização em amplas faixas de terreno pois além de investigação qualitativa, dados de sensoriamento remoto podem otimizar a análise morfoestrutural quantitativa (ANDRADES FILHO, 2010). Na análise quantitativa tem-se a derivação de vários índices morfométricos (p.e., relação declividade e extensão, fator de assimetria da bacia e fator de simetria topográfica transversal) de grande aplicação na análise morfoestrutural de bacias hidrográficas (p.e., SALAMUNI; EBERT; HASUI, 2004; ETCHEBEHERE et al., 2006; GUEDES et al., 2006; COUTO, 2011). Atualmente essas abordagens têm sido utilizadas para identificar eventos neotectônicos, em que muitas estruturas tectônicas pré-cambrianas e cretáceas foram reativadas e, possivelmente, outras feições se formaram durante o Neógeno e Quaternário.

1.2 OBJETIVOS

Aplicar análise qualitativa e quantitativa dos elementos de drenagem e relevo extraídos de produtos de sensoriamento remoto (Modelo Digital de Elevação - MDE e imagens óticas LANDSAT) visando reunir evidências para identificar padrões de deformação tectônica na evolução das drenagens em depósitos sedimentares cenozoicos da porção oeste da sub-bacia hidrográfica do rio Alto Paraguai, bem como em terrenos do embasamento cristalino da porção sul da Faixa Paraguai. Os objetivos específicos incluem:

- Verificar a eficiência dos algoritmos de extração automática de drenagem a partir do MDE-SRTM e TOPODATA tendo como referência a rede de drenagem obtida por interpretação visual da imagem LANDSAT;
- Análise de lineamentos morfoestruturais e propriedades da rede de drenagem, buscando a identificação de arranjos morfoestruturais que manifestem padrões e comportamento tectônico da área de estudo;

- Estabelecer possíveis relações de índices morfométricos (Fator de Simetria Topográfica Transversal, Fator de Assimetria de Bacia de Drenagem e Índices de Relação Declividade-Extensão) com padrões tectônicos tardios na sub-bacia hidrográfica da área de estudo.

1.3 JUSTIFICATIVA

O segmento setentrional da Faixa Paraguai, na região do município de Cáceres, foi estudado por Alencar (2011) abordando aspectos estruturais da área. Este estudo permitiu identificar uma partição da deformação evidenciada pela relação de dobras e lineações de estiramento mineral, em que há corredores deformacionais distintos que apresentam componentes de cisalhamento (puro e simples) com alternância de domínio entre um componente e outro. Essa compartimentalização entre as componentes de cisalhamento puro e simples, associada à disposição geométrica das estruturas observadas é o principal indicativo de um quadro transpressivo particionado, com cinemática dextral, desenvolvida sobre rochas supracrustais, submetidas a uma compressão oblíqua. Essa complexidade de organização estrutural no interior da faixa reflete a geometria em arco decorrente ou assumida durante o evento colisional neoproterozoico.

Entende-se que o estudo morfométrico da bacia do Alto Paraguai pode contribuir para o melhor entendimento do quadro cinemático baseados no princípio de que os cursos de água, governados pela gravidade reagem rapidamente a qualquer deformação na superfície do terreno, mesmo as mais tênues, e podem, dessa forma, ser utilizados para a busca de anomalias que estejam condicionadas por deformações tectônicas (PENTEADO, 1978).

Portanto a presente proposta de trabalho de conclusão de curso almeja investigar a relação do substrato, morfologia e rede de drenagem da sub-bacia hidrográfica do rio Alto Paraguai para identificar e analisar as possíveis evidências de eventos tectônicos tardios e controles estruturais, com base na análise morfométrica e na esculturação da paisagem.

1.4 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A análise de morfologias do terreno para a identificação de lineamentos morfoestruturais e a interpretação de seus agentes causadores está diretamente relacionada com a caracterização e análise qualitativa e quantitativa da rede de drenagem em bacias hidrográficas (ANDRADES FILHO, 2010).

1.4.1 Feições morfoestruturais

Os lineamentos morfoestruturais correspondem à expressão espacial de feições morfológicas da paisagem que possam ter relação com feições geológicas, podendo mostrar seu comportamento tectônico. Esses lineamentos são expressos normalmente como: cristas de cordilheiras ou limites de áreas elevadas, linhas de drenagem, linhas de costa e linhas representativas de contatos litológicos. Com o avanço das pesquisas geológicas e geofísicas o termo lineamento recebeu definição mais abrangente e de caráter mais regional que se expressam na topografia pela morfologia de vales, cristas, segmentos de drenagem e anomalias tonais, controladas estruturalmente por foliações, juntas/fraturas e falhas (O'LEARY et al., 1976¹; SABINS, 1978²).

1.4.2 Drenagem

1.4.2.1 Análise qualitativa

Devido à drenagem ser sensível às deformações do terreno, suas propriedades são ferramentas de grande interesse em análises de natureza morfométrica (ANDRADES FILHO, 2010). Segundo Soares e Fiori (1976), o menor elemento da imagem identificável e passível de repetição é denominado de elemento textural.


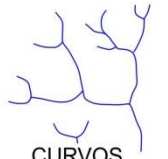


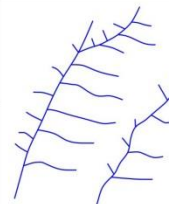
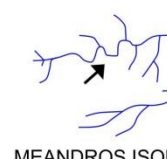
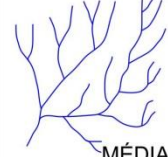
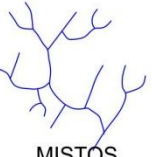
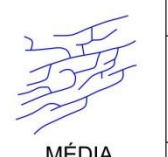

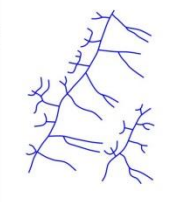




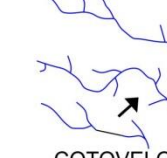


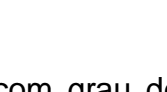
A descrição qualitativa das propriedades de drenagem baseia-se, principalmente, nos graus de integração e de continuidade, na densidade, tropia, sinuosidade, angularidade, ângulo de junção e assimetria (Figura 1).

¹O'LEARY, D. W.; FRIEDMAN, J. D.; POHN, H. A. Lineament, linear, lineation: some proposed new standards for old terms. *GSA Bulletin*, v. 87, 1976. p. 1463-1469.

²SABINS, J. F. F. *Remote sensing, Principles and interpretation*. San Francisco: W. H. Freeman, 1978. 426p.

As propriedades de integração, continuidade e densidade são condicionadas pelo tipo de substrato rochoso, e as outras propriedades mencionadas podem apresentar formas anômalas que indicam possível controle estrutural (SOARES; FIORI, 1976; ANDRADES FILHO, 2010).

Figura 1: Principais propriedades de drenagem.

A-DENSIDADE	B-SINUOSIDADE	C-ANGULARIDADE	D-TROPIA	E-ASSIMETRIA	F-FORMAS ANÔMALAS
 ALTA	 CURVOS	 ALTA	UNIDIRECIONAL 	 FRACA	 MEANDROS ISOLADOS
 MÉDIA	 MISTOS	 MÉDIA	BIDIRECIONAL 		 FORTE
 BAIXA	 RETILÍNEOS	 BAIXA	TRIDIRECIONAL 	 COTOVELOSO	
			MULTIDIRECIONAL 		
			DESORDENADA 		
			ORDENADA 		

Fonte: Adaptado de Soares e Fiori (1976).

As propriedades relacionadas com grau de integração, continuidade e densidade refletem, basicamente, a permeabilidade e nível de dissolução do substrato rochoso. A permeabilidade é a medida da maior ou menor facilidade com que um fluido percola um meio poroso e, pode ser produto da comunicação entre os espaços intergranulares das rochas ou materiais inconsolidados ou ainda, entre os espaços produzidos por fraturamento (SOARES; FIORI, 1976; ANDRADES FILHO, 2010).

A densidade de drenagem consiste na relação entre o valor do comprimento total da rede de canais da bacia relativo à sua área tendo relação com a textura da drenagem (Figura 1-A). A tropia fornece informações referentes à orientação estrutural preferencial que condicionam o desenvolvimento orientado das formas de relevo e drenagem, podendo ser: unidirecional, bidirecional, tridirecional e multidirecional (Figura 1-D); as lineações de drenagem são elementos de drenagem fortemente estruturados, retilíneos ou em arco. A sinuosidade é produto da relação entre comprimento

do canal e distância, em linha reta, entre dois pontos, sendo regida pela geologia e pode ser classificada em: retilínea, curva e mista (Figura 1-B). A angularidade refere-se ao ângulo entre o canal principal e os afluentes na área de confluência, podendo ser classificada em alta (em torno de 180°), média (em torno de 90°) e baixa (ângulos agudos), sendo uma variável fundamental na verificação de controle estrutural de drenagem (Figura 1-C). A assimetria da rede de drenagem é caracterizada pela presença de elementos com tamanho ou estrutura sistematicamente diferente dos canais da área à direita e à esquerda da bacia hidrográfica (Figura 1-E). Esta propriedade decorre da movimentação de blocos e/ou forma e posição do substrato rochoso (SOARES; FIORI, 1976; ANDRADES FILHO, 2010).

Uma forma de maior potencial em análises qualitativas de rede de drenagem baseia-se na análise do padrão de drenagem, que se refere à forma do traçado estabelecido pelo conjunto de canais. Este traçado permite inferir sobre o condicionamento topográfico, litológico e estrutural da área onde se assentam os canais. Padrões de drenagem básicos incluem: dendrítico, retangular, treliça, paralelo, radial centrífugo, radial centrípeto e anelar (ANDRADES FILHO, 2010).

As redes de drenagem podem apresentar feições em setores específicos que destoam do arranjo de seu conjunto, constituindo anomalias de drenagem (Figura 1-F), e indicam fortes evidências de controle tectônico. As anomalias de drenagem mais frequentemente reconhecidas são: enclave de drenagem com padrão anelar em rede com padrão geral dendrítico; paralelismo de canais em rede de padrão dendrítico; retilinearidade; meandros isolados ou comprimidos; entrelaçamento localizado de drenagens associado a canais abandonados; alargamento abrupto de canais, que assumem características de lagos, ou formação de lagos em áreas próximas a confluências; variação abrupta na forma de um vale ao longo de sua extensão; diques marginais isolados e/ou com grande variação na espessura e; quebras abruptas dos canais de drenagem em forma de cotovelo (SOARES; FIORI, 1976; ANDRADES FILHO, 2010).

Além da análise dos processos que moldam as formas de relevo e drenagem, deve-se considerar fatores como clima, tectônica, nível de base, descarga de água e sedimento, além do fator tempo, representando a perspectiva histórica da evolução do sistema. Outro fator de influência ativa na evolução do relevo é a tectônica recente. O soerguimento pode ser geral ou local, lento ou rápido, modificando o gradiente da rede de drenagem ou estabelecendo os níveis de base locais. O soerguimento aumenta a energia potencial dos sistemas, enquanto a subsidência a reduz. Em muitos casos este soerguimento é diferencial, produzindo formas de relevo e drenagem diferentes sobre áreas com mesmas propriedades litológicas e estruturais, ou mesmo, reduzindo o gradiente da drenagem, elevando o suprimento detrítico e gerando extensas planícies aluviais (SOARES; FIORI, 1976).

1.4.2.2 Análise quantitativa

Na abordagem quantitativa são empregados métodos para derivação de parâmetros métricos que ajudam no estabelecimento de relações dos elementos de paisagem com o quadro tectônico de uma área. Alguns desses parâmetros foram utilizados neste trabalho e são apresentados a seguir.

- Índice Relação Declividade-Extensão (RDE)

O índice RDE foi proposto inicialmente por Hack (1973) sob designação de índice *SL* (Relação *Slope vs. Length*). Este índice é utilizado para a determinação de “anomalias” significativas na concavidade natural do perfil longitudinal do rio, pois é um indicador sensível a mudanças na declividade de um canal fluvial. Deve observar que as áreas onde apresentam diferenças de resistência a erosão do substrato rochoso ou eventual presença de tributários de grande porte causam elevação no índice RDE, assim, eliminando-se esses agentes pode ser identificado áreas que realmente apresentam possíveis deformações tectônicas (ETCHEBEHERE et al., 2006).

Para o cálculo do RDE são utilizados parâmetros morfométricos obtidos a partir do perfil longitudinal da drenagem por trecho ou em sua totalidade (Figura 2) nas seguintes equações:

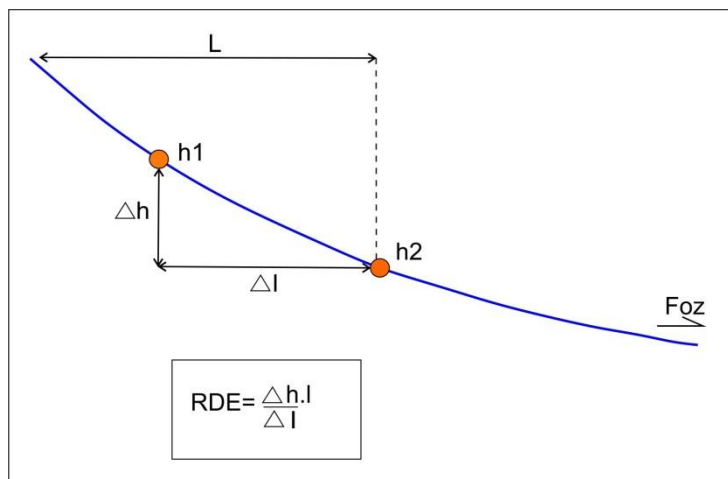
$$RDE_{total} = (\Delta H / Lg.L) \quad \text{Eq. 01}$$

onde, ΔH é a diferença altimétrica entre a cota superior e inferior do canal, ou seja, a diferença entre a cota localizada a montante do rio e a cota localizada na foz do rio; $Lg.L$ é o logaritmo natural da extensão total do curso d'água.

$$RDE_{trecho} = \left(\frac{\Delta h}{\Delta l} \right) \cdot L \quad \text{Eq. 02}$$

em que, Δh é a diferença altimétrica entre dois pontos extremos de um segmento ao longo do curso d'água; Δl é a projeção horizontal da extensão do referido segmento e $\Delta h/\Delta l$ corresponde ao gradiente da drenagem naquele trecho; e L corresponde ao comprimento total do curso d'água a montante do ponto para o qual o índice RDE está sendo calculado.

Figura 2: Parâmetros para o cálculo RDE.



Fonte: Adaptado de Etchebehere et al. (2006).

Os setores anômalos são definidos a partir de limiares, onde se considera o Índice de Gradiente RDE:

$$RDE = \frac{RDE_{trecho}}{RDE_{total}} \quad \text{Eq. 03}$$

Os valores de gradiente RDE acima de 2 podem determinar segmentos considerados anômalos. Mas se os valores forem inferior a 2 serão considerados como trechos não anômalos, ou seja, em equilíbrio (ETCHEBEHERE et al., 2006; FUJITA, 2009).

- Fator de Assimetria da Bacia (FAB)

A assimetria de uma bacia reflete o componente de deslocamento lateral do seu rio principal, perpendicularmente à direção de seu eixo (Figura 3). É um modo de avaliar a existência de inclinações do terreno em decorrência de atividades tectônicas ou de erosão diferencial por controle litológico em escala de uma bacia de drenagem e pode ser aplicado em áreas relativamente extensas (KELLER; PINTER, 2002; ANDRADES FILHO, 2010; COUTO, 2011).

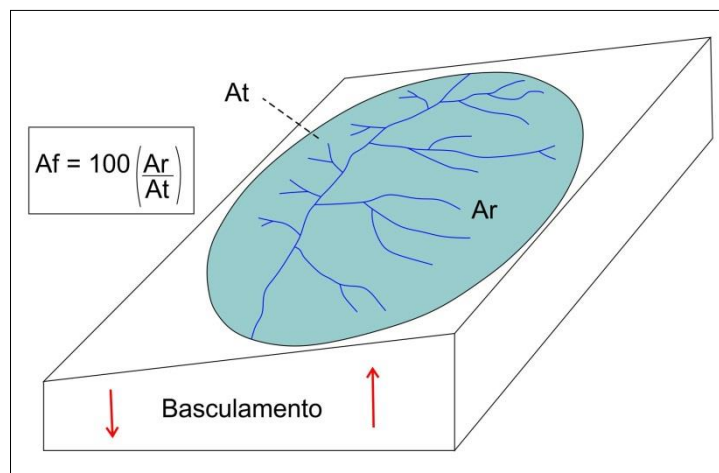
O fator assimétrico (Af) é definido pela Equação 04.

$$Af = 100 \left(\frac{Ar}{At} \right) \quad \text{Eq. 04}$$

onde, Ar é a medida da área de toda porção direita da bacia (olhando para jusante) e At corresponde à medida da área total da bacia de drenagem.

A bacia possui condições estáveis quando o índice resultante possui valor muito próximo ou igual a 50. No entanto, uma resultante abaixo ou acima de 50 pode ocorrer devido à mudança de inclinação do terreno resultante de atividade tectônica ou por erosão diferencial de controle estrutural litológico. Podem ser atribuídos valores de limiar absolutos para avaliar a assimetria. Os valores de Af muito altos ou muito baixos podem indicar, respectivamente, basculamento à esquerda ou a direita da bacia hidrográfica. A intensidade da assimetria da bacia hidrográfica pode ser classificada a partir do módulo $|Af - 50|$, em baixa se o módulo estiver $0 < |Af - 50| \leq 7$, média se $7 < |Af - 50| \leq 15$ e alta se $|Af - 50| > 15$ (COX, 1994; ANDRADES FILHO, 2010; COUTO, 2011).

Figura 3: Bloco esquemático do fator de assimetria da bacia de drenagem.



Fonte: Adaptação de Salamuni, Ebert e Hasui (2004).

- Fator de Simetria Topográfica Transversal (FSTT)

Este fator foi proposto por Hare e Gardner (1985) e é baseado no fato de que a migração preferencial do canal caracteriza uma assimetria do perfil topográfico transversal ao canal.

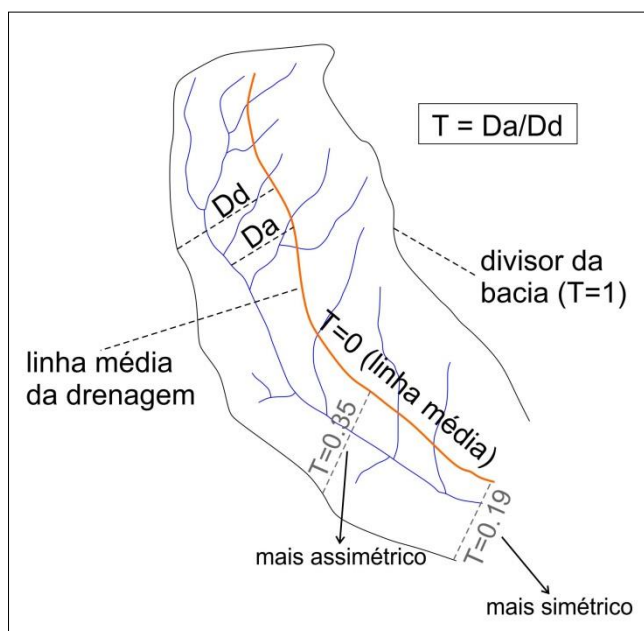
A Figura 4 mostra como são obtidos os valores utilizados na relação:

$$T = \frac{Da}{Dd} \quad \text{Eq. 05}$$

onde, Da corresponde à distância da linha média do eixo da bacia de drenagem até a linha média do cinturão do meandro ativo e Dd é à distância da linha média da bacia ao divisor da bacia.

Quando não há alteração do perfil topográfico T é próximo a zero, enquanto a assimetria cresce na medida em que os valores de T se aproximam de 1 (SALAMUNI; EBERT; HASUI, 2004; COUTO, 2011).

Figura 4: Bloco esquemático do fator de simetria topográfica transversal.



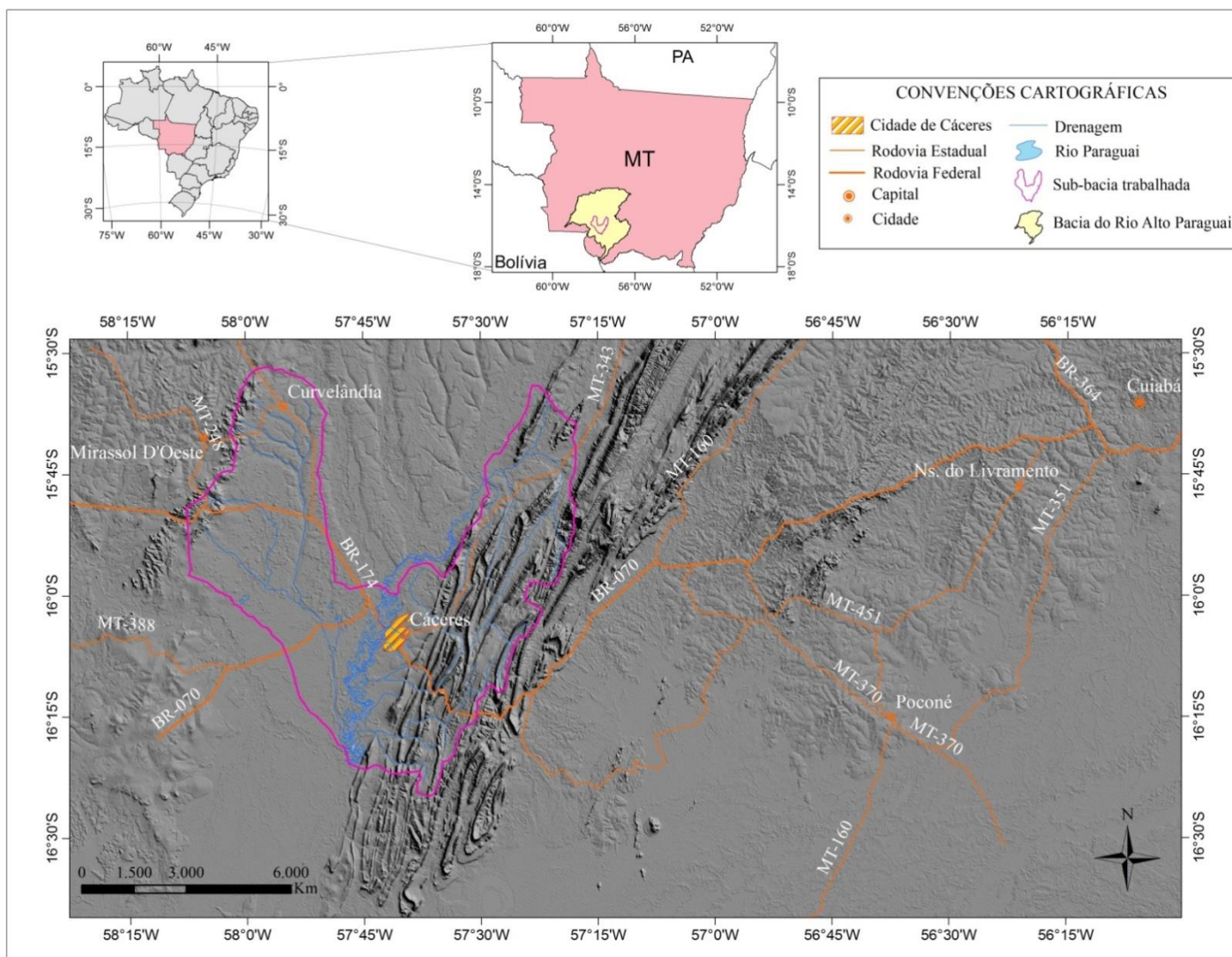
Fonte: Adaptação de Salamuni, Ebert e Hasui (2004).

1.5 LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O estudo foi realizado na porção centro-oeste da bacia hidrográfica do rio Alto Paraguai, localizada na porção sudoeste do estado do Mato Grosso/Brasil, entre as coordenadas geográficas $15^{\circ}31'55''$ e $16^{\circ}24'41''$ de latitude sul e, $57^{\circ}18'40''$ e $58^{\circ}07'33''$ de longitude oeste (zona 21 sul, Datum WGS 84) (Figura 5).

No âmbito da área de estudo localiza-se o município de Cáceres em sua porção central e a noroeste localizam-se os municípios de Curvelândia e Mirassol D'Oeste. O principal acesso é por via terrestre, partindo-se da capital Cuiabá pela rodovia BR-070 percorrem-se aproximadamente 220 km até a sede do município de Cáceres (Figura 5).

Figura 5: Mapa de localização da sub-bacia do Rio Alto Paraguai, polígono de cor rosa (Relevo Sombreado - SRTM).



Fonte: Elaborado pelo autor.

Foram estudadas mais precisamente as sub-bacias hidrográficas do rio Padre Ignácio e o trecho do rio Paraguai. A leste localiza-se a sub-bacia do trecho do rio Alto Paraguai com área de aproximadamente 2550 km² e extensão do rio principal de aproximadamente 144 km, apresenta forma alongada segundo a direção NE-SW e; a oeste a sub-bacia do rio Padre Ignácio apresenta área com cerca de 1740 km² e extensão total do rio de aproximadamente 77 km, apresenta forma alongada segundo a direção NW-SE e seu principal curso é afluente do rio Paraguai.

1.5.1 Aspectos climáticos

O clima predominante na área é tropical quente e subúmido. Caracteriza-se por apresentar duas estações bem definidas pela pluviosidade: uma seca, abrangendo os meses de abril a outubro e outra úmida, compreendendo os meses de novembro a março. A temperatura média anual é de 25° C, com máxima de 42° C e mínima de 12° C. Nos meses de junho a agosto há uma migração de massas frias provenientes do sul, através do pantanal, fazendo com que a temperatura da região alcance medidas diárias mais baixas. A precipitação média anual situa-se ao redor de 1.000/1.500 mm, registrando em dezembro/janeiro os maiores índices de precipitação pluviométrica (ABREU FILHO; BORGES; ABRAM, 2011).

1.5.2 Aspectos fitogeográficos

A vegetação compreende quatro tipos principais: cerrados, campos, matas tropicais e matas galerias. Os cerrados e campos ocorrem em toda a área, independente da variedade litológica e compreende um estrato de gramíneas e um estrato arbóreo. Nos vales situados entre as linhas de serra, encontram-se as matas tropicais estacionárias. As matas galerias desenvolvem-se ao longo dos cursos d'água conformando matas ciliares que sobressaem nas áreas de cerrados e campos. Nas áreas pantanosas,

principalmente na região do rio Paraguai, encontra-se os campos com características de vegetação de várzeas.

1.5.3 Aspectos geomorfológicos e hidrográficos

As principais unidades geomorfológicas identificadas na sub-bacia do rio Alto Paraguai são: a Província Serrana e a Depressão do Alto Paraguai, inclusas nos domínios morfoestruturais Cinturões Móveis Neoproterozoicos e Crátoms Neoproterozoicos respectivamente e, as unidades Pantanal do Corixo Grande e Planícies do Rio Paraguai inclusas no domínio morfoestrutural dos Depósitos Sedimentares Quaternários (ABREU FILHO; BORGES; ABRAM, 2011; IBGE, 2009) (Figura 6).

A Província Serrana, situa-se entre a porção meridional da Plataforma Amazônica e a borda noroeste da Bacia do Paraná, conformando um conjunto de relevos dobrados e falhados (ALMEIDA, 1964). Engloba as rochas metassedimentares dos grupos Araras e Alto Paraguai e, a Formação Puga, em uma sucessão de anticlinais e sinclinais alongados, fortemente dissecados pelos processos erosivos (RIBEIRO FILHO; LUZ; ABREU FILHO, 1975).

A Depressão do Alto Paraguai compõe uma área topograficamente rebaixada, com altitudes entre 50 e 200 metros delimitada a sudeste pela Província Serrana e a noroeste pelo Planalto dos Parecis. Caracteriza-se por uma superfície de aplanamento elaborado durante sucessivas de retomada dos processos de erosão, os quais geraram sistemas de planos inclinados, às vezes levemente côncavos. Aparece inumada por coberturas detríticas e/ou de alteração. No extremo noroeste da sub-bacia esta unidade ocorre como conjunto de formas de relevo de topos convexos, em geral esculpidas em margas, calcários e dolomitos do Grupo Araras e, eventualmente, também em sedimentos, às vezes denotando controle estrutural (IBGE, 2009).

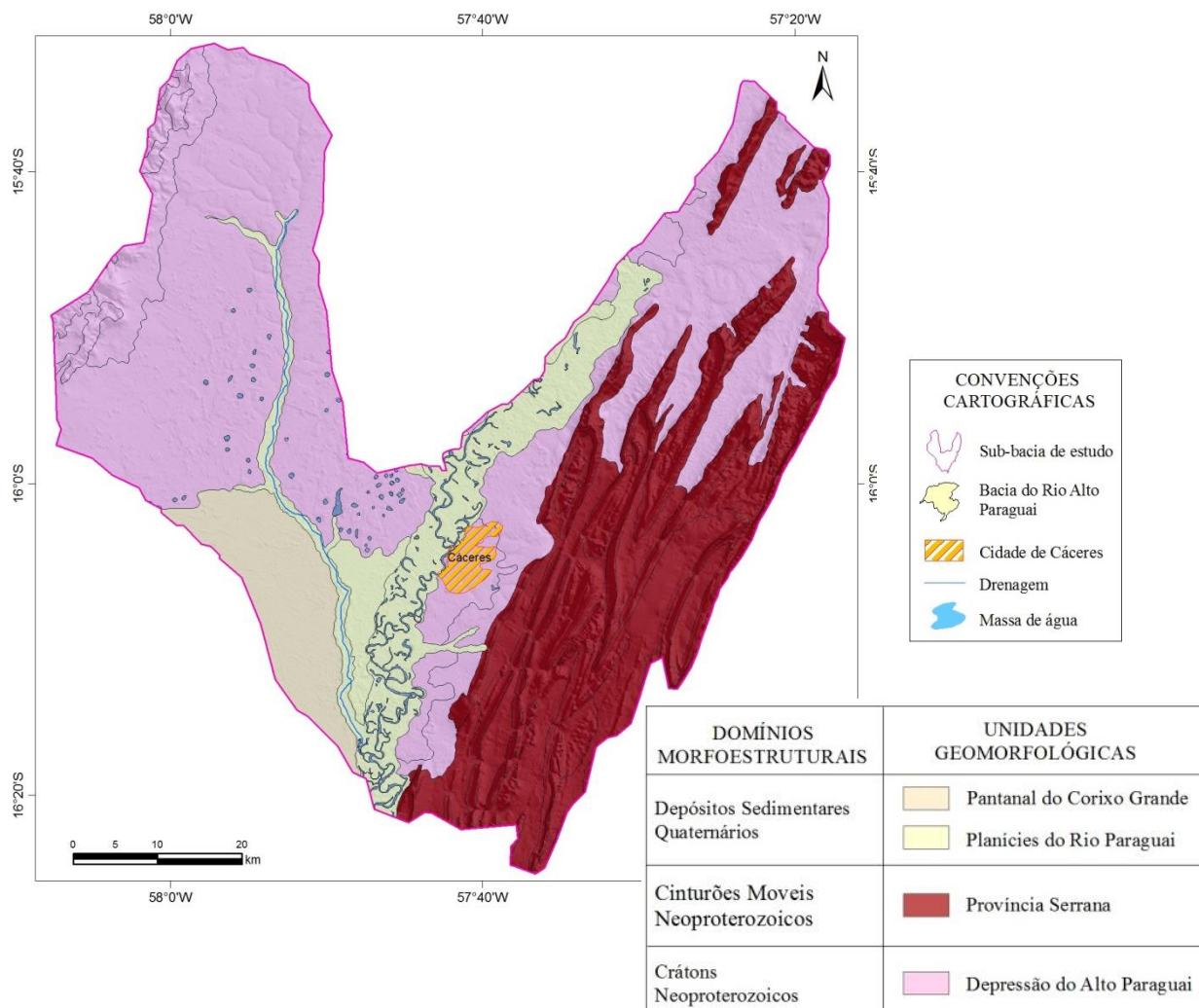
O Pantanal do Corixo Grande situa-se no extremo sudoeste da sub-bacia de estudo e compõem uma área abaciada definida por planos convergentes, arenosa e/ou argilosa, sujeita a inundações, podendo apresentar

arreísmo ou impedimento de drenagem, com lagoas fechadas ou precariamente incorporadas à rede de drenagem (IBGE, 2009).

E as Planícies do Rio Paraguai situam-se na porção central da área de estudo ao longo do rio Paraguai e seu afluente rio Padre Ignácio e, compõem uma área plana resultante de acumulação fluvial, levemente inclinada, sujeita a inundações periódicas, incluindo as várzeas atuais, podendo conter lagos de meandros, canais anastomosados e diques aluviais paralelos ao leito atual do rio (IBGE, 2009).

A sub-bacia de estudo situa-se na bacia hidrográfica do rio Alto Paraguai, pertencente à bacia Platina. O rio Paraguai tem suas nascentes nas bordas da Chapada dos Parecis e seu curso está condicionado pelas altitudes das camadas de siltito onde se encaixa (RIBEIRO FILHO; LUZ; ABREU FILHO, 1975). Os seus principais afluentes são os rios Cuiabá, Sangradouro Jauquara e Cachoeirinha, todos pela margem esquerda. O rio Teles Pires drena a porção leste da Província Serrana e tem entre os principais afluentes os rios Coluene, Caiapó e Pacu (ABREU FILHO; BORGES; ABRAM, 2011).

Figura 6: Mapa das principais unidades geomorfológicas presentes na sub-bacia do rio Alto Paraguai.



Fonte: Modificado de IBGE (2013).

2 CONTEXTO GEOLÓGICO

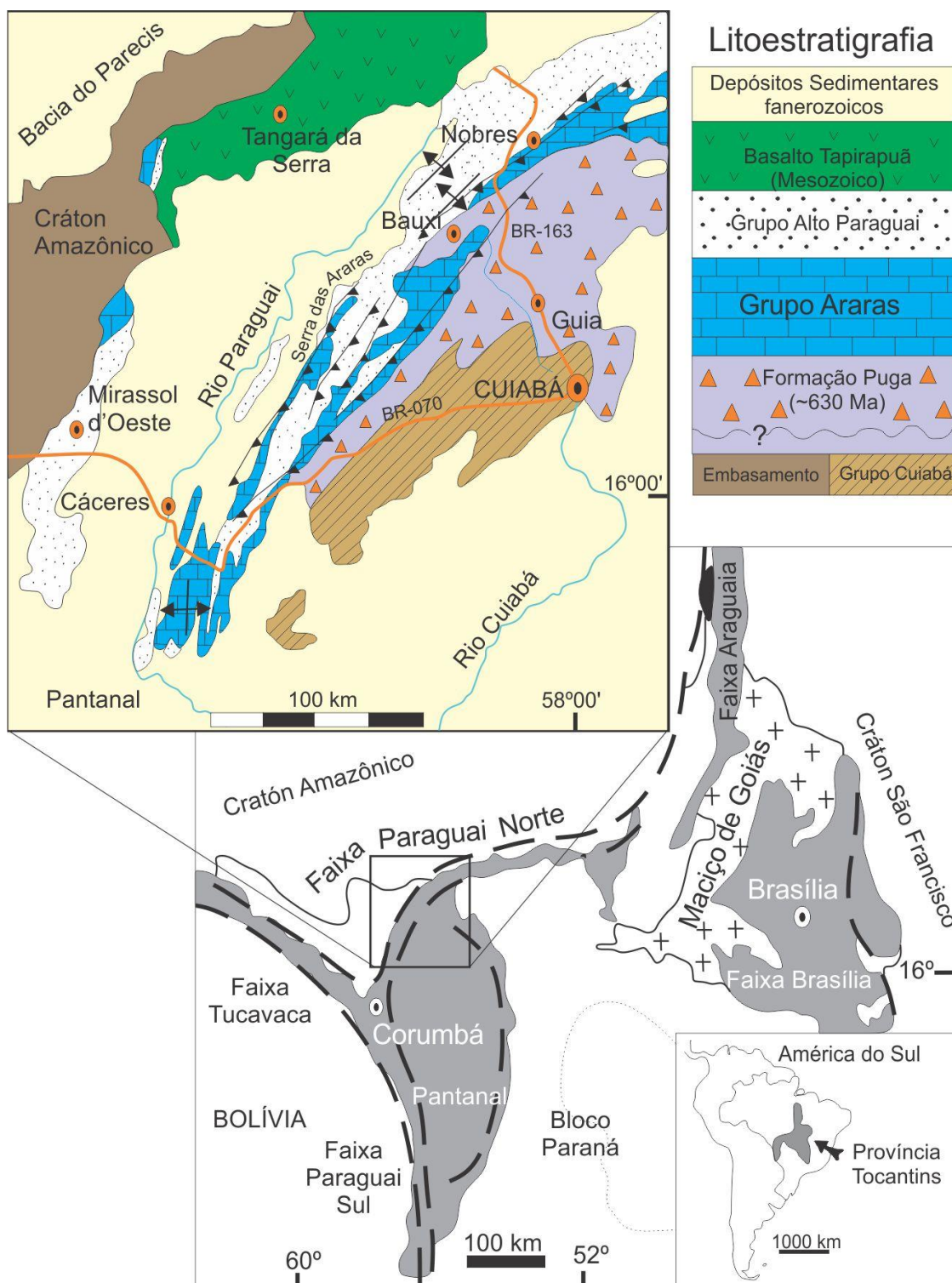
A área de estudo está contida na Província Tocantins, localizada na região centro-oeste do Brasil entre os crátons São Francisco e Amazonas (Figura 7). Esta província abrange principalmente os estados de Goiás, Tocantins e Mato Grosso; e em menor proporção os estados do Pará e Minas Gerais. Ela é recoberta a norte e a sul por sedimentos fanerozoicos das Bacias do Parnaíba e Paraná, respectivamente; a oeste faz limite com o Cráton Amazonas e a leste com o Cráton São Francisco. Possui direção predominantemente norte-sul, tendo aproximadamente 2.000 km de comprimento e até 800 km de largura (PIMENTEL; FUCK., 1992).

A Província Tocantins, segundo Pimentel e Fuck (1992), foi estruturada no Ciclo Orogênico Brasileiro (entre 960 e 540 Ma) e é composta por quatro orógenos gerados durante a convergência do Cráton Amazonas com um conjunto de microplacas, resultando na Faixa de Dobramento Paraguai; Faixa de Dobramento Araguaia; Faixa de Dobramento Brasília e; no Maciço de Goiás (Figura 7).

De acordo com Trompette (1994) a evolução desses orógenos envolve uma história pré-orogênica marcada inicialmente por uma sedimentação de sequências terrígenas e carbonáticas em ambientes plataformais e; depois pela geração de crosta oceânica, seguida pelo desenvolvimento de terrenos do tipo arco-de-ilhas e magmatismo associado no estágio orogênico acrescionário. Na fase colisional, esses terrenos experimentaram processos de metamorfismo, deformação e amalgamação. Essas faixas exibem uma evolução similar as faixas orogênicas modernas, geradas por meio de mecanismos de tectônica de placas.

A porção leste da área de investigação neste trabalho está contida em rochas do embasamento da Faixa de Dobramento Paraguai de idade Neoproterozoica (ALMEIDA; HASUI, 1984) (Figura 7) e, na porção oeste está contida no Domínio dos Sedimentos Cenozoicos inconsolidados ou pouco consolidados depositados em meio aquoso (MORAES et al., 2010) (Figura 9).

Figura 7: Esboço geológico da Província Tocantins, mostrando as faixas de dobramento Brasília, Paraguai e Araguaia e, o Maciço de Goiás na parte inferior da figura e; detalhe do mapa geológico esquemático do Cráton Amazônico e da Faixa de Dobramento Paraguai na parte superior.



Fonte: Adaptado de Nogueira e Ricomini (2006).

As coberturas cenozoicas se encontram em áreas planas, onde são depositados os sedimentos erodidos, principalmente pela ação fluvial, de áreas adjacentes (MORAES et al., 2010). Esse domínio pode ser subdividido segundo suas características em três unidades geológico-ambientais: Ambiente de Planícies Aluvionares Recentes, Ambiente Fluvio-lacustre e Ambiente de Terraços Aluvionares. Embora sejam diferentes em termos de constituição e distribuição espacial, apresentam resposta ambiental similar, sendo tratados no presente trabalho como uma única unidade.

A Faixa de Dobramento Paraguai engloba duas áreas com padrão estrutural e metamórfico distintos: na porção externa estão os metamorfitos do Grupo Cuiabá e mais internamente à faixa estendem-se os sedimentos não metamórficos dos grupos Corumbá, Araras e Alto Paraguai.

O Grupo Cuiabá apresenta-se dobrado e exibe paragênese mineral de baixo grau metamórfico (ALVARENGA, 1985; RODRIGUES, 1996). É composto por filitos com intercalações de quartzitos, metagrauvascas, metaconglomerados, paraconglomerados e raras ocorrências de metacalcário e filitos calcíferos (ALVARENGA, 1985). Esta sucessão grada lateralmente para as formações Puga e Bauxi.

A Formação Bauxi é composta por diamictitos glaciais intercalados com camadas de siltitos, quartzitos e conglomerados (ALVARENGA; TROMPETTE, 1988). A Formação Puga é composta principalmente por diamictitos glaciais depositados na área cratônica (RIBEIRO FILHO; LUZ; ABREU FILHO, 1975). Apesar de não haver dados geocronológicos, estes depósitos glaciais são vastamente relacionados à Glaciação Marinoana (NOGUEIRA, 2003).

Sobreposto à Formação Puga, tem-se o depósito do Grupo Araras com aproximadamente 1.000 m de carbonatos (área plataformal) que ocorre com maior continuidade na parte norte desta faixa, dividido em duas formações por Almeida (1964), enquanto que Nogueira et al. (2003) sugere quatro formações: Mirassol d'Oeste (base), Guia, Serra do Quilombo e Nobres (topo) (Figura 8).

De acordo com Nogueira et al. (2003), a Formação Mirassol d'Oeste é

constituída por 20 m de capa carbonática (encontrados unicamente sobre a região cratônica) que consiste em dolomitos finos de coloração rosada, estromatólitos e dolomitos pelóidais, interpretada como originados em plataforma rasa. A base dessa formação está sobreposta diretamente ao diamictito da Formação Puga, definindo contato brusco e lateralmente irregular e ondulado, com deformações plásticas atribuídas à sismicidade induzida por *rebound* pós-glacial e que representam o registro de uma rápida mudança de condições glaciais para o de efeito estufa. Esta unidade é correlata ao episódio Marinoano e trata-se de um importante arco estratigráfico global por ser a base do período Ediacarano na região. Sobreposta à Formação Mirassol d'Oeste ocorre a Formação Guia com 220 m de calcários finos betuminosos, folhelhos betuminosos, pelitos vermelhos e *cementstones* com leques de cristais de calcita (pseudomorfos de aragonita) e laminação plana, interrompida localmente por brechas e estruturas de deformação. A unidade seguinte é denominada de Formação Serra do Quilombo constituindo um extrato com 150 m de espessura contendo brechas dolomíticas e dolarenitos com cimento dolomíticos e/ou com matriz, intercaladas com dolomitos finos e dolomitos arenosos com estratificação cruzada *hummocky*. Esta unidade é interpretada como sendo depósitos de plataforma moderadamente rasa a profunda afetada por sismos e tempestades. A Formação Nobres compreende a unidade de topo do Grupo Araras. É constituída por dolomitos finos, dolomitos oolíticos subordinados e estromatólitos, além de dolomitos arenosos, brechas, ritmitos arenito/pelito e arenitos. Esta sequência é interpretada como depósitos de planície de maré/*sabkha*. O Grupo Araras foi depositado inicialmente em plataforma profunda (calcários), passando à plataforma rasa e ambiente de *sabkha* (dolomitos) no topo (ALMEIDA, 1964; NOGUEIRA; RICOMINI, 2006; ALVARENGA et al., 2007).

O Grupo Corumbá é constituído por quartzitos, tilitos e, superiormente, calcários e dolomitos e é considerado como parte da evolução de um leque submarinho turbidítico (ALVARENGA, 1985).

A unidade superior da Faixa Paraguai consiste de rochas siliciclásticas do Grupo Alto Paraguai, o qual é constituído pelas formações Raizama,

Sepotuba e Diamantino. A Formação Raizama é composta de conglomerados, arcóseos e arenitos, depositados sob influência de maré (ALMEIDA, 1964; RIBEIRO FILHO; LUZ; ABREU FILHO, 1975). A Formação Sepotuba é caracterizada por pelitos, arenitos, dolomitos finos e, estromatólitos, geralmente silicificados; o membro superior consiste de folhelhos/pelitos e arenitos finos (BANDEIRA J., 2011). A Formação Diamantino é composta basicamente pela intercalação de folhelhos vermelhos, siltitos e arcóseos, constituindo depósitos tipo molassa (HENNIES, 1966³) que são interpretados como gerados em sistemas glácio-marinhos, constituído por plataformas carbonática e siliciclástica, mar restrito, lago e delta (ALMEIDA; HASUI, 1984; NOGUEIRA; RICOMINI, 2006; FIGUEIREDO et al., 2008).

Figura 8: Coluna estratigráfica do segmento setentrional da Faixa Paraguai, ressaltando os grupos Araras e Alto Paraguai.

ERA	PERÍODO	LITOESTRATIGRAFIA			PALEOAMBIENTE
Paleozoico	Cambriano	Grupo Alto Paraguai	Formação Diamantino	Conglomerados, arenitos e pelitos.	Fluvial entrelaçado, delta e mar restrito/prodelta.
			Formação Sepotuba	Pelitos, folhelhos e arenitos.	Plataforma marinha dominada por tempestade.
Formação Raizama	Arenitos e pelitos, carbonatos substituídos por sílex subordinados.		Plataforma rasa dominada por tempestade e maré.		
Neoproterozoico	Ediacarano	Grupo Araras	Formação Nobres	Dolomitos arenosos, estromatólitos dômicos estratiformes e rugosos. Sílica secundária substituindo camadas de carbonato. Arenitos finos, ritmicos e pelitos subordinados. Moldes de cristais de evaporitos.	Planície de maré/ <i>sabkha</i>
			Formação Serra do Quilombo	Brechas dolomíticas cimentadas por dolomita espartica, brechas dolomíticas de arcabouço aberto e dolomitos arenosos.	Plataforma moderadamente profunda dominada por tempestades e eventualmente por sismos.
			Formação Guia	Calcários finos e folhelhos betuminosos. Subordinadamente calcários cristalinos ricos em crostas e cimento. Grãos terrígenos esporádicos.	Plataforma profunda anóxica.
			Formação Mirassol d'Oeste	Dolomitos finos rosados, laminados, peloidais e estromatólitos estratiformes.	Plataforma profunda eufótica.
			Formação Puga	Diamictitos e siltitos seixosos.	Glacial marinho.
	Criogeniano				

Dolomito betuminoso	Arenito dolomítico e brecha com matriz	Sílex secundário	Pelito	Discordância erosiva
Dolomito	Brecha cimentada com cimento dolomítico	Carbonato silicificado	Arenito	Discontinuidade regional
Diamictito	Calcário/folhelho betuminoso	Dolomito arenito	Estromatólito	

Fonte: Adaptado de Nogueira e Ricomini (2006).

³HENNIES, W. T. *Geologia do centro-norte Mato-Grossense*. 1966. 65 f. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1966.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

A base de dados utilizada nesta pesquisa inclui os seguintes produtos de sensoriamento remoto (Figura 10):

- Modelo Digital de Elevação – MDE produzido pela missão SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*), com resolução espacial de 90 m, obtidos gratuitamente no site do CGIAR (*Consultative Groupon International Agricultural Research*) no endereço eletrônico: <<http://www.cgiar-csi.org/data/srtm-90m-digital-elevation-database-v4-1>>;
- Dados TOPODATA (VALERIANO, 2005) que correspondem aos dados SRTM interpolados para resolução espacial de 30 m dos quais foram derivados parâmetros morfométricos, obtidos no endereço eletrônico: <<http://www.dsr.inpe.br/topodata/acesso.php>>;
- Cenas LANDSAT 7 ETM⁺ (órbita-227, ponto-071) coletada em 17/07/2002. Estas cenas também foram obtidas do Catálogo de Imagens do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, a partir do endereço eletrônico: <<http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>>;
- Dados vetoriais no formato *shapefile* de bacias e sub-bacias hidrográficas do Brasil, obtidos da Base de Dados Georeferenciados da Agência Nacional das Águas - ANA, a partir do endereço eletrônico: <<http://www.ana.gov.br/bibliotecavirtual/solicitacaoBaseDados.asp>>.

Esses dados foram inseridos em um banco de dados de um Sistema de Informação Geográfica (SIG), projetados no sistema de projeção cartográfica UTM, datum horizontal WGS 1984, zona 21 sul, onde foi realizada a integração e análise de todos os dados gerados com auxílio do *software* ArcGIS, versão 10 (Figura 10).

Outros *softwares* foram empregados para processamento digital das imagens: Global Mapper, versão 14 e PCI/Geomatic, versão 2012.

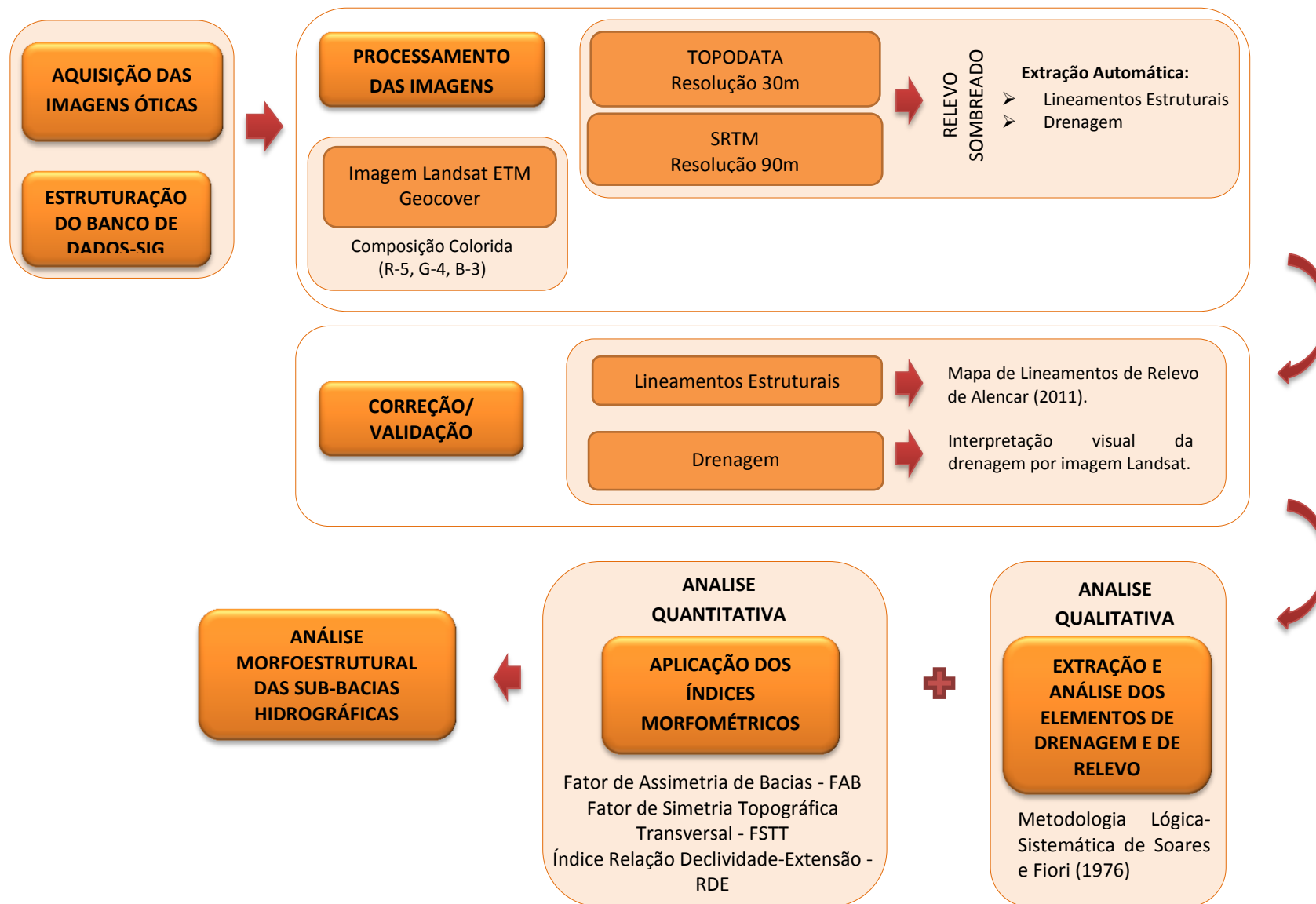
A partir de dados SRTM (resolução de 90 m) e TOPODATA (resolução de 30 m) foram elaborados mapas de imagens Sombreadas do Terreno. Os dados STRM e TOPODATA foram empregados para extração automática de lineamentos estruturais utilizando o algoritmo LINE no *software* PCI/Geomatic, versão 2012 e a validação da mesma foi feita pela comparação com o mapa de lineamentos de relevo de Alencar (2011). Os valores dos azimutes dos lineamentos foram processados no *software* GEOrient para gerar os diagramas em rosetas para análise direcional.

A extração automática de redes de drenagem pode ser feita em diferentes aplicativos como PCI/Geomatics, ArcGIS, ENVI, etc, que levam em conta parâmetros como direção de fluxo e o fluxo acumulado obtidos a partir de algoritmos (ANDRADES FILHO, 2010). Neste estudo foi testada a eficiência da extração automática no *software* Global Mapper, versão 14 através da função *Generation Watershed* e a validação da mesma foi realizada com a dados das imagens LANDSAT em falsa cor (R-5,G-4,B-3).

Neste estudo foi aplicada a Análise Qualitativa segundo a metodologia lógica-sistemática de Soares e Fiori (1976) com a extração e análise dos elementos de drenagem e de relevo e; a Análise Quantitativa com a aplicação de três parâmetros morfométricos: Índice de Relação Declividade-Extensão (RDE), Fator de Assimetria da Bacia (FAB) e Fator de Simetria Topográfica Transversal (FSTT) (Figura 10). As análises qualitativa e quantitativa apresentam relação entre si e são aplicados para avaliar o comportamento morfoestrutural da rede de drenagem nas sub-bacias hidrográficas estudadas.

Como dados complementares foram utilizados: o mapa de Geodiversidade do Estado do Mato Grosso, elaborada pelo Serviço Geológico do Brasil – CPRM, ano 2010, em escala 1:1.000.000; mapa litoestrutural e de lineamentos de relevo digitalizado da dissertação de mestrado intitulada “Geometria e História Cinemática do Segmento Setentrional da Faixa Paraguaia, na Região de Cáceres/MT”, apresentada por Luiz Daniel Castro de Alencar (2011), na escala de 1:250.000.

Figura 10: Fluxograma das etapas de trabalho a serem desenvolvidos neste estudo.



4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

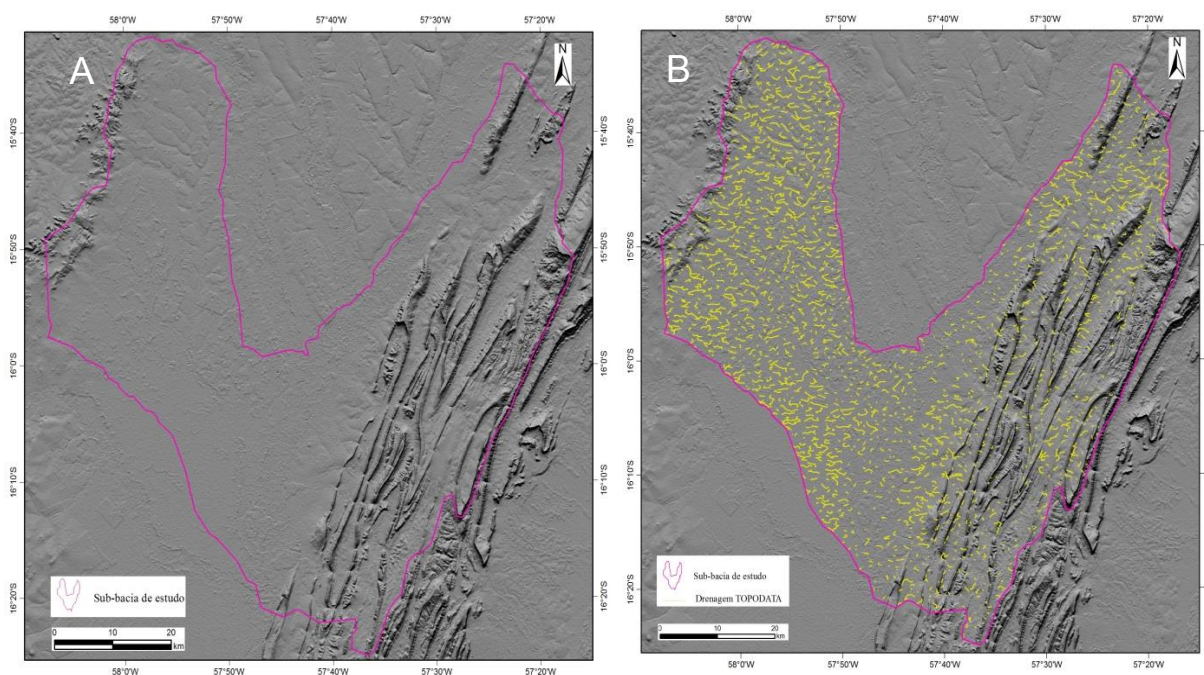
4.1 ANÁLISE QUALITATIVA DA REDE DE DRENAGEM

4.1.1 Extração automática de drenagem a partir de MDE

Para extração detalhada da rede de drenagem foi testado a extração automática através do *software* Global Mapper 14 por meio da função *Generation Watershed (Terrain Analysis)* tomando-se como dados de entrada produtos TOPODATA (resolução de 30 metros) e SRTM (resolução de 90 metros).

Os resultados da extração automática da drenagem para os dados TOPODATA não foram satisfatórios devido à excessiva delimitação de linhas que em sua maioria não coincidem com o traçado da drenagem observada na conformação do relevo. Outro aspecto desse produto é o traçado descontínuo da drenagem mostrando a inconsistência do TOPODATA para este tipo de aplicação (Figura 11). Esta limitação possivelmente esta relacionada à criação de artefatos no processo de interpolação dos dados para re-amostragem.

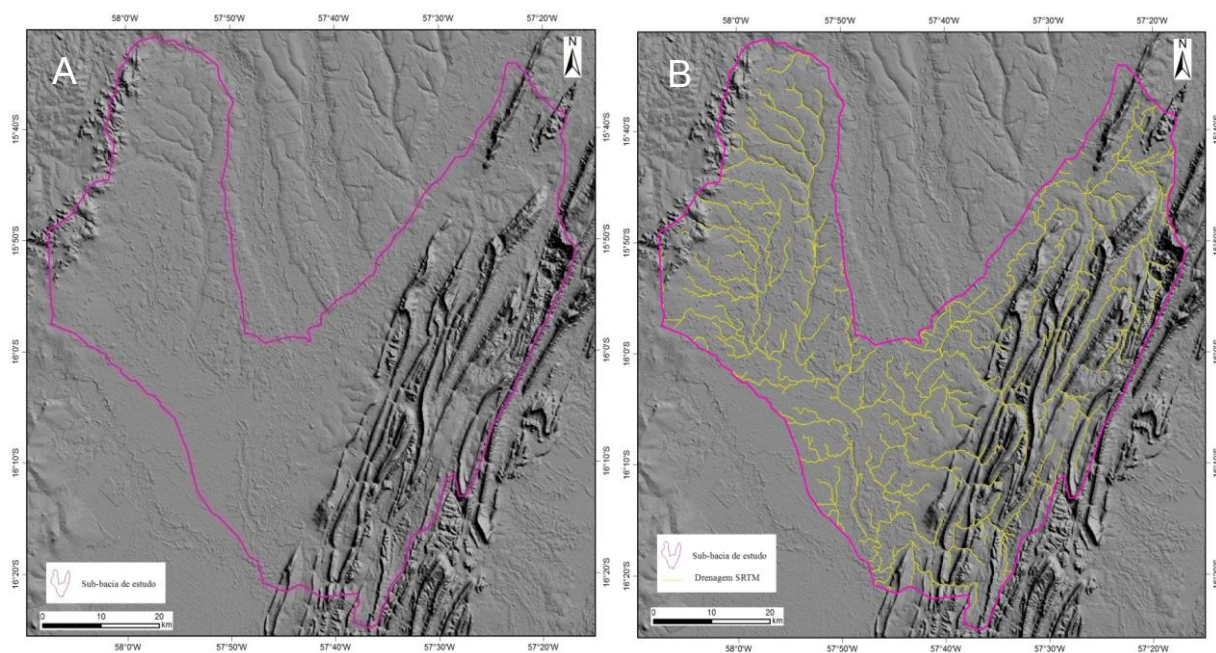
Figura 11: Rede de drenagem gerada automaticamente (B) a partir de dados TOPODATA com resolução de 30 m (A).



Fonte: Elaborado pelo autor.

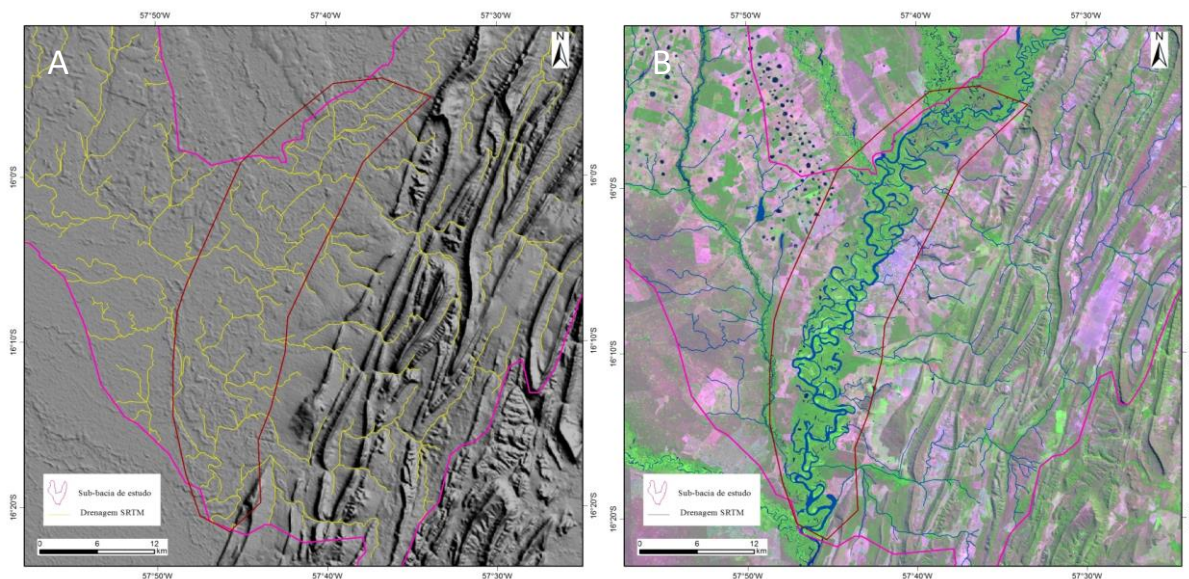
Por outro lado, a extração automática da drenagem a partir de dados SRTM foi satisfatória (Figura 12), pois cerca de 95% dos vetores gerados coincidem com drenagens observadas nas imagens LANDSAT. Adotou-se a rede de drenagem extraída da interpretação visual de imagens LANDSAT (Figura 14) como referência para avaliar a performance da extração de drenagem a partir dos MDE's. Somente nas áreas onde ocorrem meandros abandonados (parte central da área) o *software* não foi eficiente na vetorização dessas feições (Figura 13).

Figura 12: Imagem do relevo sombreado gerado a partir de dados SRTM (A) e a rede de drenagem gerada automaticamente (B).



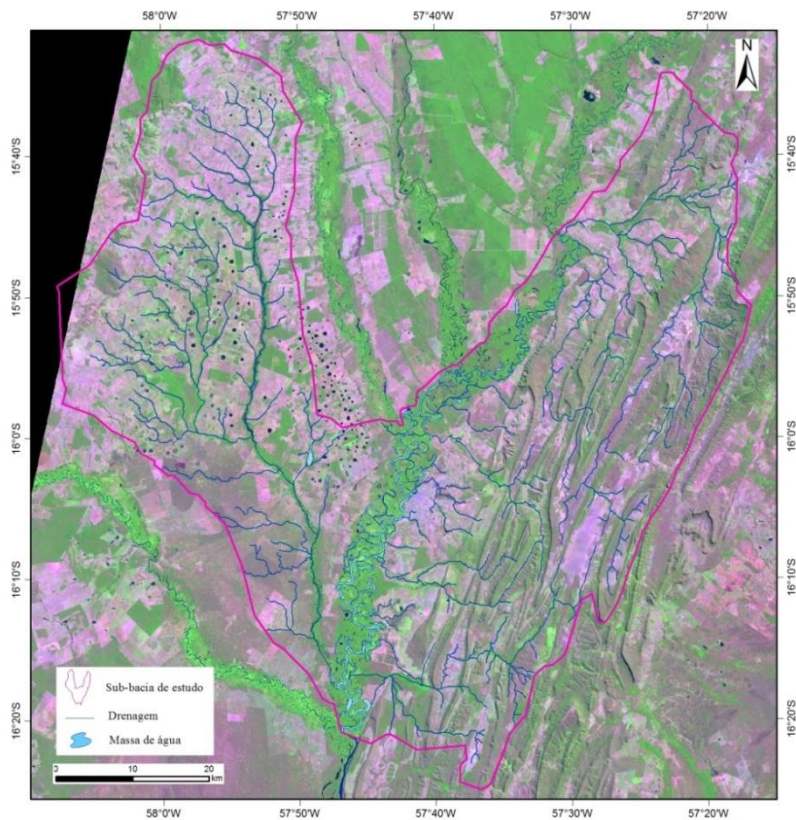
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 13: (A) Detalhe para os meandros abandonados que não foram vetorizados (B) e a correção dos mesmos utilizando imagem LANDSAT em composição falsa cor (R-5,G-4,B-3).



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 14: Imagem LANDSAT (30/07/2001, órbita 227, ponto 071) em composição falsa cor (R-5, G-4, B-3) utilizada para validação da rede de drenagem extraída automaticamente da imagem SRTM.



Fonte: Elaborado pelo autor.

4.1.2 Análise dos padrões de drenagem

Após a obtenção automática e consistência da rede de drenagem da área de estudo foi realizada a análise qualitativa da mesma segundo a metodologia de análise lógica-sistemática de Soares e Fiori (1976) com a intenção de complementar as informações da análise morfoestrutural a ser apresentada mais adiante neste documento.

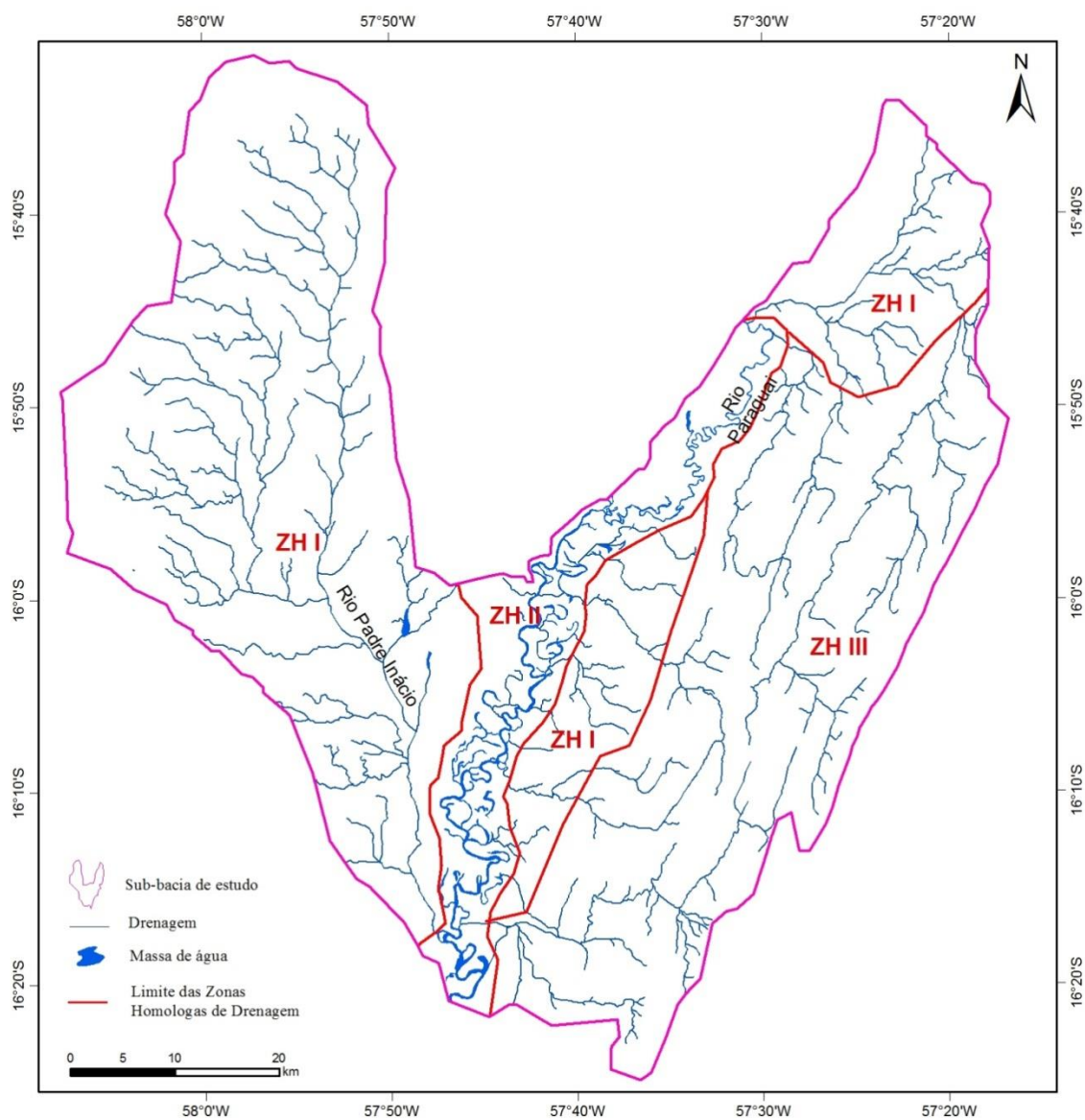
Na rede de drenagem da sub-bacia do rio Alto Paraguai foi possível definir três zonas homólogas numeradas como ZH I, ZH II e ZH III (Figura 15) definidos segundo o arranjo espacial dos elementos texturais da drenagem que são as menores feições que conservam sua identidade na escala de imagem e permitem separar feições com significados diferentes ou associar feições com o mesmo significado (SOARES; FIORI, 1976).

A Zona Homóloga I apresenta padrão da rede de drenagem do tipo subdendrítico, densidade média, sinuosidade mista, angularidade baixa, tropia tridirecional, fortemente assimétrica e apresenta formas anômalas em arco; a Zona Homóloga II apresenta padrão da rede de drenagem do tipo anastomosado, densidade média, sinuosidade curva, angularidade média, tropia tridirecional, moderadamente assimétrica e apresenta formas anômalas de meandros abandonados e; a Zona Homóloga III apresenta padrão da rede de drenagem do tipo subtreliça, densidade média, sinuosidade retilínea, angularidade média a alta, tropia bidirecional, fortemente assimétrica e apresenta formas anômalas em cotovelo.

O padrão subdendrítico apresenta os tributários estendendo-se horizontalmente a partir do canal principal, indicativo de possível controle estrutural na sua organização e normalmente desenvolve-se em substrato rochoso homogêneo, como pode ser observado na Zona Homóloga I em que o substrato compreende os sedimentos não consolidados das coberturas cenozoicas - Depósitos Aluvionares e Formação Pantanal (Figuras 16).

O padrão anastomosado representa uma forma ramificada em canais múltiplos, largos e relativamente rasos que transportam grande volume de carga de fundo em setores de gradiente mais elevado. No Brasil esse padrão quase sempre indica setores tectonicamente instáveis em regiões essencialmente deposicionais (IBGE, 2009), pois os meandros podem mostrar verticalmente mudança de fácies cíclica, maiores deposição de areias, em resposta aos lentos movimentos tectônicos atuais que influenciam na declividade da bacia hidrográfica.

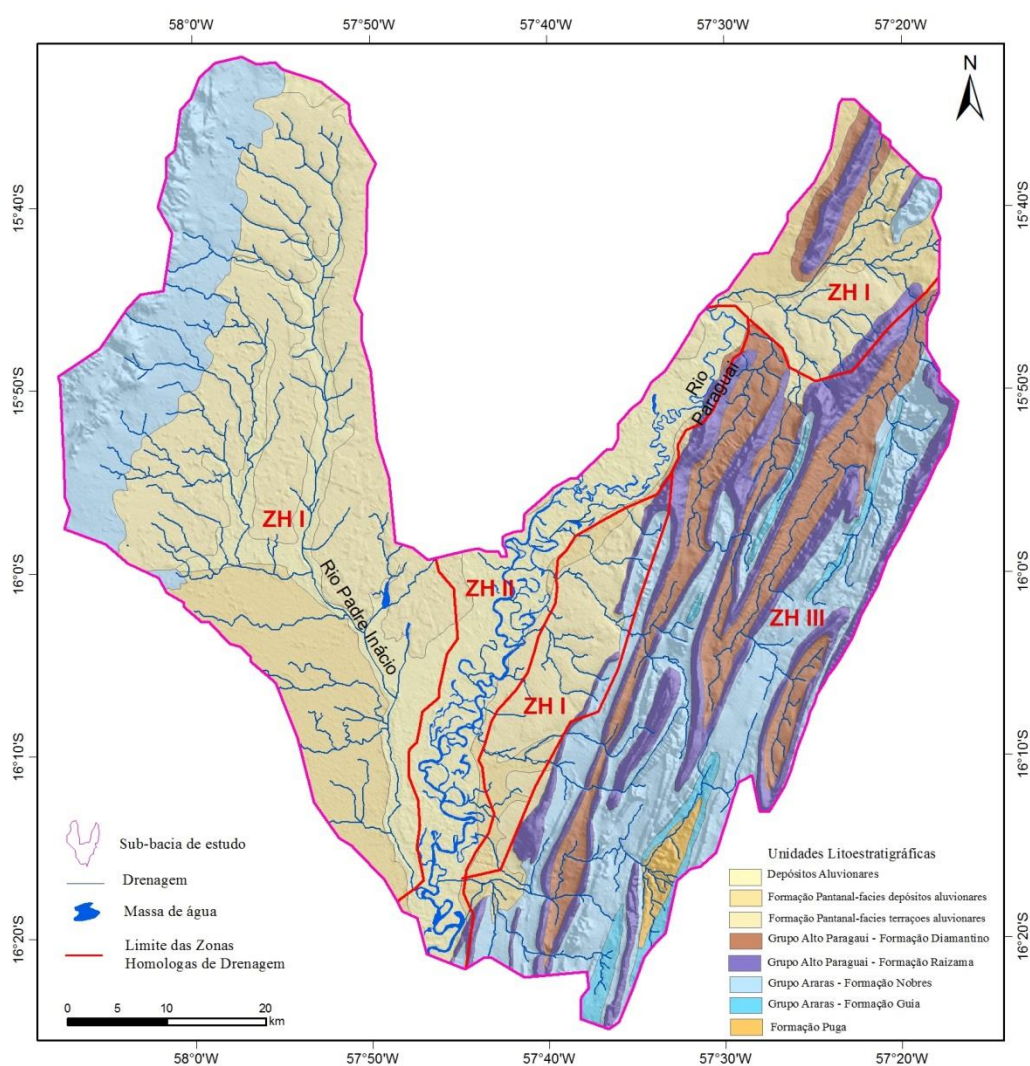
Figura 15: Mapa da sub-bacia hidrográfica do rio Alto Paraguai com suas respectivas zonas homólogas.



Fonte: Elaborado pelo autor.

O padrão subtreliça apresenta os tributários secundários alongados e em ângulo reto em relação ao primário. Este padrão é associado a formas de relevo alongadas e paralelas, característico de estratos dobrados ou basculados e pode estar relacionado a áreas de fraturas paralelas, além de sugerir materiais de diferentes resistências à erosão aflorando paralelamente entre si com predominância do mais resistente (IBGE, 2009). Como pode ser observado na Zona Homóloga III composto por litologias não metamórficas da Faixa Paraguai - Formação Puga e grupos Alto Paraguai e Araras (Figuras 16).

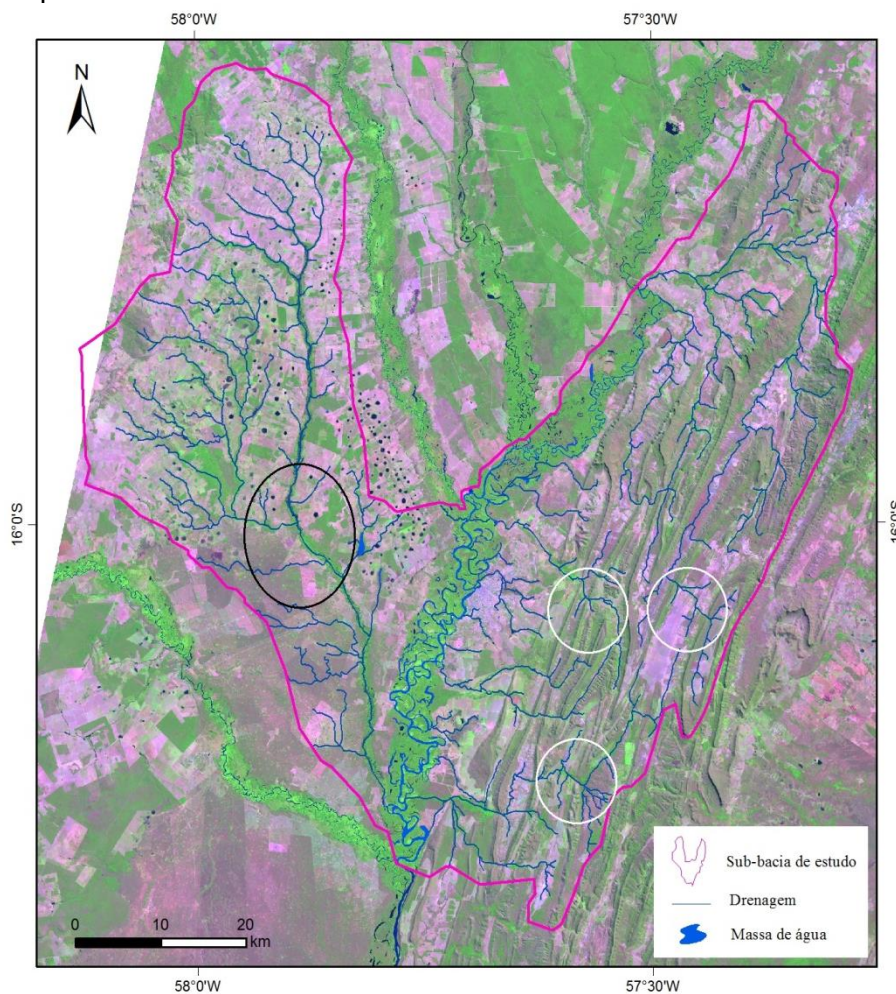
Figura 16: Mapa das unidades geológicas ocorrentes na área de estudo e as zonas homólogas da rede de drenagem.



Fonte: Adaptado de Alencar (2011) e Moraes et al. (2010).

As formas anômalas dos canais de drenagem que ocorrem na área de estudo são em arco e cotovelo (Figura 17), as quais caracterizam mudanças bruscas do padrão do canal, estreitamento e/ou desvio provocado pela súbita mudança na direção normal da rede de drenagem por movimentos tectônicos tardios (SOARES; FIORI, 1976; IBGE, 2009).

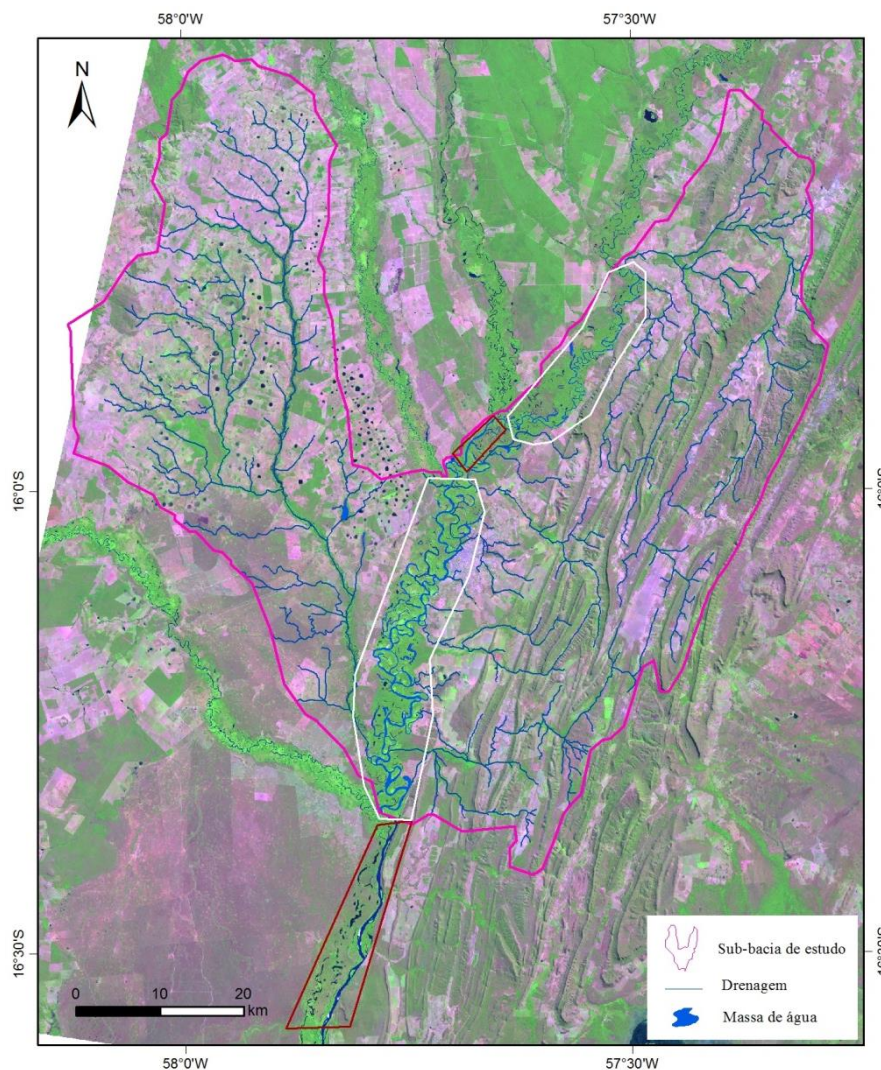
Figura 17: Formas anômalas em arco e cotovelo indicados por círculos de cor preta e branca, respectivamente.



Fonte: Elaborado pelo autor.

A drenagem que corta os depósitos aluvionares cenozoicos na área de estudo apresenta feições peculiares caracterizadas pela alternância nos seus padrões de canais. Essas feições geralmente estão associadas à ação de movimentos tectônicos tardios (IBGE, 2009), como a presença de canais dos tipos meandro, retilíneo, entrelaçado e anastomosado em um mesmo rio, com passagens abruptas ou mesmo gradativas de um tipo para o outro (Figura 18).

Figura 18: Mudanças dos tipos de canais no trecho do rio Paraguai. Nos polígonos de cor vermelho apresenta a predominância dos canais mais retilíneos e, nos polígonos de cor branco ocorre a predominância dos canais mais meandrantes.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Na sub-bacia do rio Alto Paraguai as regiões com predominância de cobertura sedimentar (Depósitos Aluvionares e Formação Pantanal) ocorrem preferencialmente os padrões da rede de drenagem subdendrítico e anastomosado que correspondem aproximadamente 66% da área de estudo e; nas áreas com predominância de rochas do embasamento da Faixa de Dobramento Paraguai (Formação Puga e grupos Alto Paraguai e Araras) tem-se a instalação do padrão da rede de drenagem subtreliça preferencialmente.

4.2 ANÁLISE MORFOESTRUTURAL DOS LINEAMENTOS

4.2.1 Extração automática dos lineamentos de relevo a partir de MDE

Para se extrair automaticamente as feições lineares de relevo foi testado a eficiência do algoritmo LINE implementado no módulo Focus do *software* PCI Geomatica V12.0. Usou-se como dados de entrada (*input*) a imagem SRTM, com resolução de 90 m e dados TOPODATA re-amostrados para 30 m. Este procedimento de extração automática consiste em transformar feições lineares contidas nas imagens em um segmento vetorial. O LINE é controlado por parâmetros globais cujos valores são pré-definidos ou alterados pelo usuário (Manual PCI Geomatica, 2012):

Filter Radius (FR): especifica o raio do filtro de detecção de borda, em pixels. Este parâmetro determina o nível até o qual o algoritmo detecta a informação como um lineamento. Um grande valor de *Filter Radius* indica que menos detalhes podem ser detectados, e também menos ruído. O valor padrão é 10, sendo que o intervalo de valores deste parâmetro é de 0 até 8192.

Edge Gradient Threshold (EGT): especifica o limite do nível de gradiente mínimo de um pixel de borda para obter uma imagem binária. Os pixels acima do limiar representarão na imagem binária um elemento de borda. Este valor deve estar na faixa de 0 a 255, sendo que o valor padrão é 100.

Curve Length Threshold (CLT): especifica o comprimento mínimo de curva, em pixels, para ser considerado como lineamento.

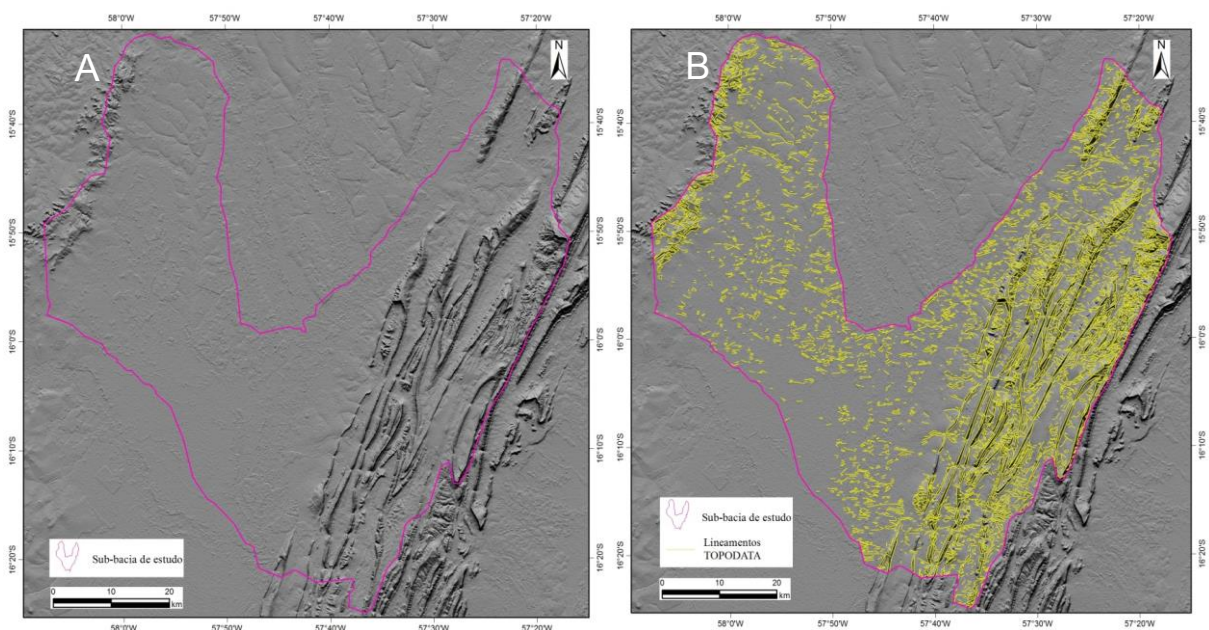
Line Fitting Error Threshold (LFET): especifica, em pixels, o erro máximo permitido ao sobrepor uma linha sobre uma curva. Os valores mais baixos proporcionam um melhor ajuste, mas também segmentos mais curtos na linha.

Angular Difference Threshold (ADT): especifica o ângulo máximo, em graus, entre segmentos de uma linha. Se o ângulo excede o máximo especificado, a linha é dividida em dois ou mais vetores. Este ângulo também define o ângulo máximo entre dois vetores para serem ligados. O valor padrão é 30.

Linking Distance Threshold (LDT): especifica a distância mínima, em pixels, entre os pontos finais de dois vetores para serem ligados. O valor padrão é de 20.

A imagem do relevo sombreado, derivada dos dados TOPODATA, foi usada para extração automática das feições lineares de relevo. O aplicativo LINE foi executado com os valores para os parâmetros de entrada (*input*) apresentados na Tabela 1. Foram utilizados os valores padrões (*default*) dos parâmetros FR e EGT e, os valores dos parâmetros CLT, LFET, ADT e LDT foram testados tendo com referência o trabalho de Conceição e Silva (2013). O resultado não foi satisfatório devido a excessiva extração de linhas que em sua maioria não coincidem com as principais estruturas do relevo, como cristas de serras, quebras positivas e negativas (Figura 19).

Figura 19: Relevo Sombreado gerado a partir de dados TOPODATA (A) e as feições lineares de relevo geradas pelo algoritmo LINE (B).



Fonte: Elaborado pelo autor.

Duas imagens foram geradas de relevo sombreado a partir da imagem SRTM, com posicionamento da fonte de iluminação nas direções azimutais de 110° Az e 290° Az, ambas com ângulo de elevação solar de 45° . Estas direções azimutais de iluminação foram utilizadas devido o *trend* estrutural da área de estudo ser NE-SW. Testaram-se os valores dos parâmetros apresentados na Tabela 1 para cada direção azimutal. Os resultados foram

analisados por inspeção visual em que foram observadas a frequência e os acertos no traçado dos lineamentos tendo como referência o mapa de lineamento de relevo de Alencar (2011) (Figura 21).

Tabela 1: Valores utilizados nos parâmetros de entrada (*input*) do algoritmo LINE implementado no módulo Focus do *software* PCI Geomatica V12.0.

PARÂMETROS	Valores
Filter Radius (Pixel) (FR)	15
Edge Gradient Threshold (EGT)	60
Curve Length Threshold (CLT)	10
Line Fitting Error Threshold (LFET)	5
Angular Difference Threshold (ADT)	15
Linking Distance Threshold (LDT)	30

Fonte: Adaptado de Conceição e Silva (2013).

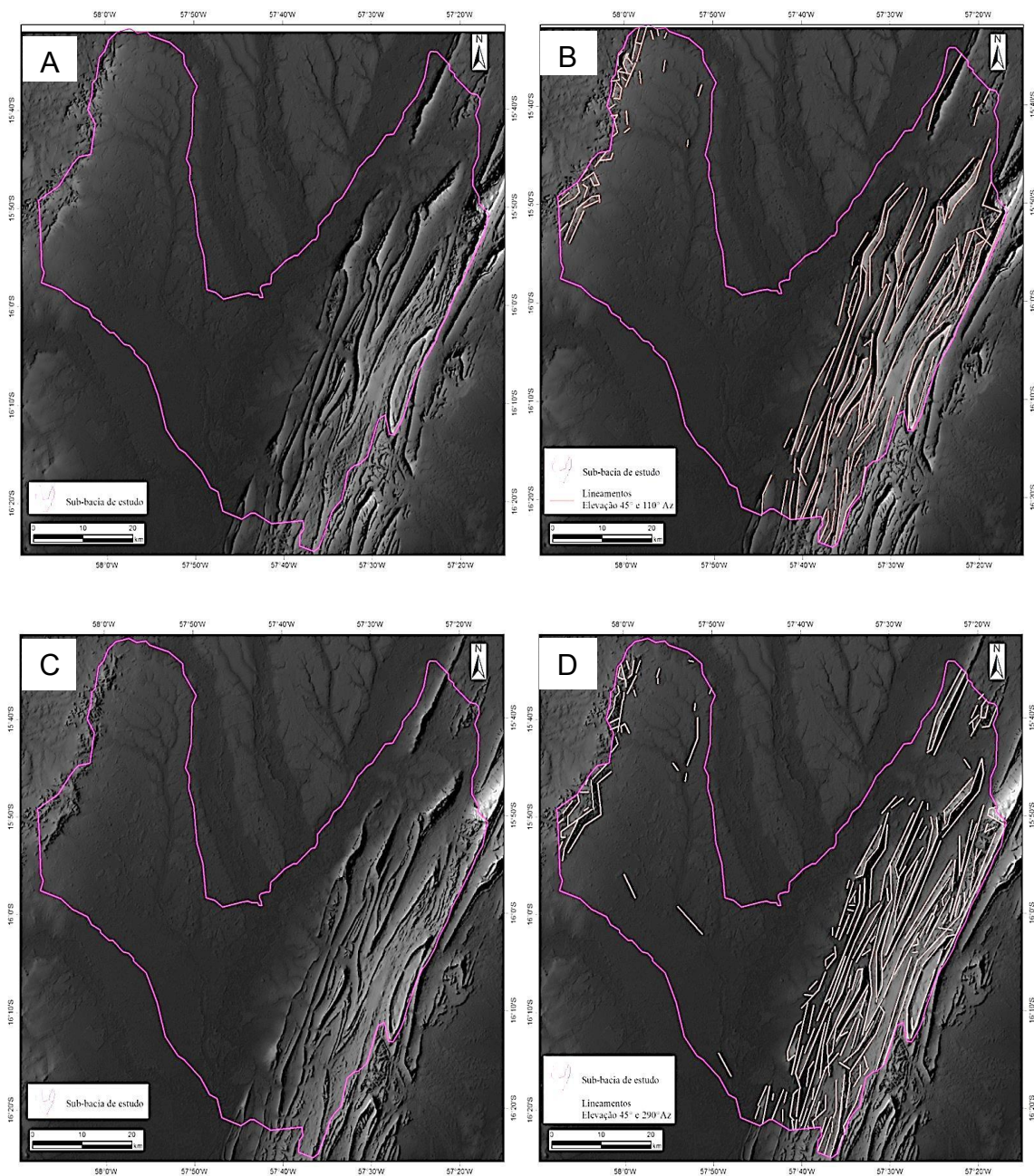
Na Figura 20 pode ser observado o resultado da extração automática de lineamentos para os parâmetros do algoritmo LINE apresentados na Tabela 1 para imagens geradas de relevo sombreado em duas direções azimutais da imagem SRTM. A extração automática da imagem de relevo sombreado com fonte de iluminação de 110° Az realçou feições lineares como as quebras positivas, enquanto na imagem de relevo sombreado gerada com fonte de iluminação de 290° Az realçou feições lineares associadas às quebras negativas e positivas, assim como as cristas de serras (Tabela 2).

Tabela 2: Frequência de lineamentos estruturais derivados de relevos sombreados SRTM nas direções azimutais de iluminação 110° Az e 290° Az para valores dos parâmetros de entrada (*input*) para o algoritmo LINE.

SRTM	ILUMINAÇÃO	LINEAMENTOS (Frequencia)
	100° Az	261
290° Az	283	

Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 20: Lineamentos extraídos automaticamente sobre imagens sombreadas SRTM (A) e (C) com direções azimutais de iluminação 110° Az (B) e 290° Az (D), respectivamente.

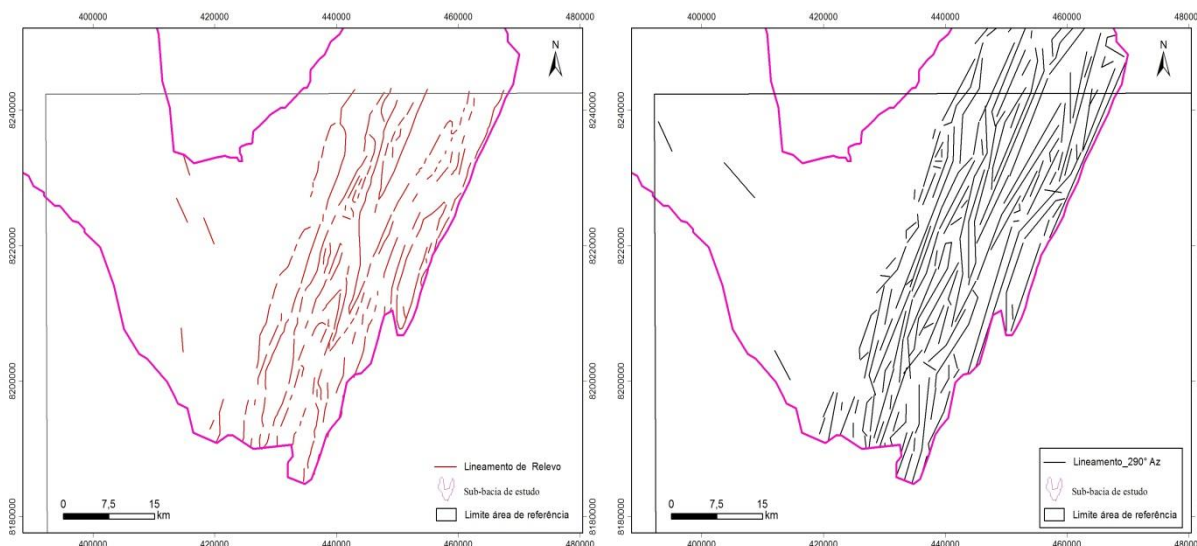


Fonte: Elaborado pelo autor.

Na comparação visual dos lineamentos extraídos automaticamente com o mapa de referência (ALENCAR, 2011), que abrange cerca de 50% da área de estudo na porção leste (Figura 21), observa-se que o padrão das feições lineares é semelhante ao padrão regional (NE-SW) e cerca de 80% dos lineamentos identificados pelo algoritmo LINE coincidem com o mapa de referência. No entanto os traçados extraídos automaticamente tendem a ser

mais retilíneos, normalmente não contornam sinuosamente as feições de relevo.

Figura 21: (A) Mapa de lineamentos de relevo (ALENCAR, 2011) utilizado para comparação e validação dos dados adquiridos pela extração automática; (B) Mapa de lineamentos extraídos automaticamente do MDE/SRTM.



Fonte: Adaptado de ALENCAR (2011) e elaborado pelo autor.

4.2.2 Lineamentos de relevo

As feições lineares de relevo são constituídas principalmente por quebras negativas e positivas. As primeiras são definidas por uma forma rebaixada no relevo, formada pela disposição estruturada das rupturas de declive com a convexidade voltada para baixo, enquanto as quebras positivas definem lineamentos de relevo, formadas por feições bastante salientes no relevo, como as cristas de serras, com disposição retilínea ou levemente curva, e com forte estruturação dos elementos de relevo (SOARES; FIORI, 1976).

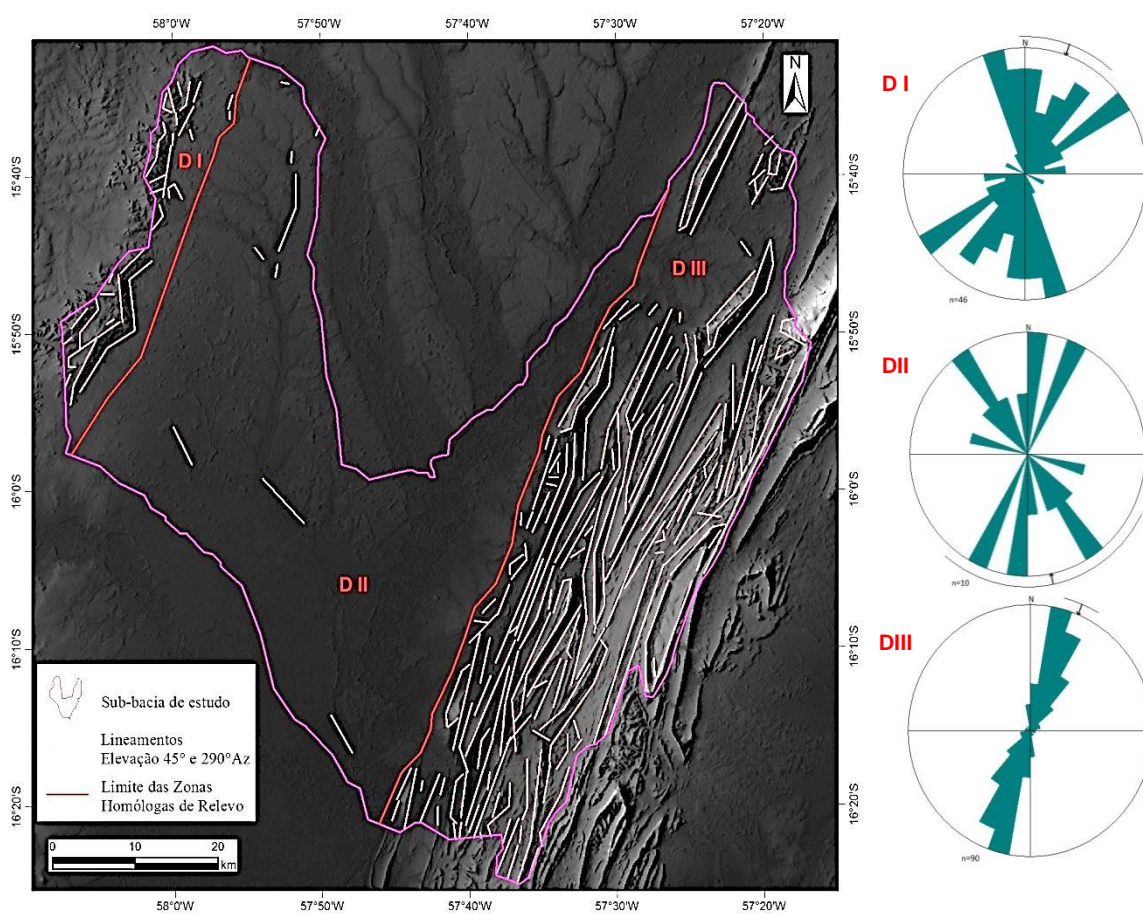
A partir da análise dos lineamentos extraídos da imagem de relevo sombreado gerada com fonte de iluminação de 290° Az foi possível distinguir três principais domínios/zonas estruturais (Figura 22) segundo a metodologia de análise lógica-sistemática de Soares e Fiori (1976):

Domínio I: definido por direções preferências NE-SW e secundariamente NNW-SSE dos lineamentos de relevo;

Domínio II: caracterizado pela direção preferencial NW-SE dos lineamentos de relevo e secundariamente a direção quase N-S. Porém este domínio não é representativo por apresentar poucos dados;

Domínio III: caracterizado pela direção preferencial NE-SW dos lineamentos de relevo, o qual se associa a falhas e dobras com padrão paralelo esculpindo sinformes e antiformes (ALENCAR, 2011; MORAES et al., 2010).

Figura 22: Domínios estruturais estabelecidos a partir de lineamentos obtidos por extração automática a partir de MDE/SRTM. À direita têm-se os diagramas de rosetas indicando a direção preferencial de cada domínio estrutural.



Fonte: Elaborado pelo autor.

4.2.3 Lineamentos de drenagem

As feições lineares de drenagem são elementos fortemente estruturados, retilíneos ou, levemente curvos ou em arco (SOARES; FIORI, 1976) e que diferem das estruturas adjacentes, provavelmente refletindo um fenômeno de subsuperfície (COUTO, 2011).

A partir da rede de drenagem extraída elaborou-se o mapa de lineamentos (Figura 23). Para tal, foram identificadas feições lineares simples ou composta, alinhadas, bastante expressivas por isso mapeáveis, presumivelmente refletindo um controle estrutural de subsuperfície.

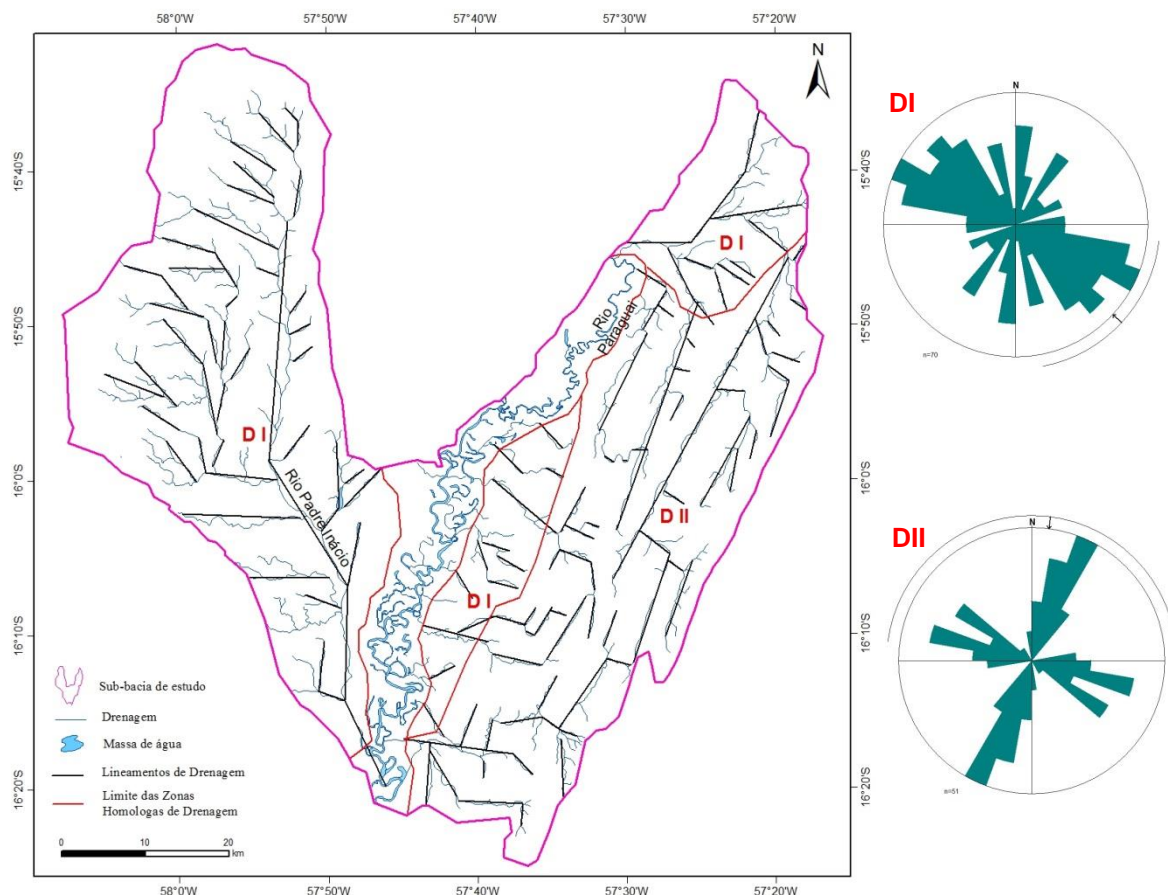
Pela análise do mapa de lineamento foi possível identificar dois domínios dos lineamentos de drenagem (Figura 23) segundo a metodologia de análise lógica-sistemática de Soares e Fiori (1976). Os lineamentos identificam zonas de fraqueza das rochas, o que aumenta a vulnerabilidade das mesmas à erosão.

O Domínio I é definido por lineamentos de drenagem com direções preferenciais NW-SE e secundariamente N-S, os quais apresentam traços mais longos e estão desenvolvidos em sedimentos cenozoicos; no Domínio II observam-se lineamentos mais longos na direção NE-SW e lineamentos mais curtos na direção NW-SE, os quais estão relacionados à disposição espacial das serras da Faixa Paraguai. Na porção central da área de estudo, no curso do rio Paraguai, não foi possível definir lineamentos da drenagem devido a mesma ser um trecho do tipo anastomosado desenvolvido em substrato de depósitos inconsolidados. Também são identificado meandros abandonados nessa área associado a diminuição de energia no sistema fluvial.

A direção preferencial das feições lineares da rede de drenagem no Domínio II marca a forte influência na geomorfologia da área, devido o controle do relevo ser configurado pelas estruturas das cristas das serras alongadas onde as drenagens se alojam normalmente paralela as mesmas. Neste domínio também é possível identificar a superimposição das drenagens cortando as cristas das serras, resultando em alguns picos de cristas alinhados e descontínuos (Figura 24), os quais representam os lineamentos menores

com direção preferencial NW-SE observado no diagrama de roseta deste domínio.

Figura 23: Mapa de lineamentos extraídos manualmente da rede de drenagem com seus respectivos domínios. A direita os diagramas de roseta dos domínios com a direção preferencial dos lineamentos.

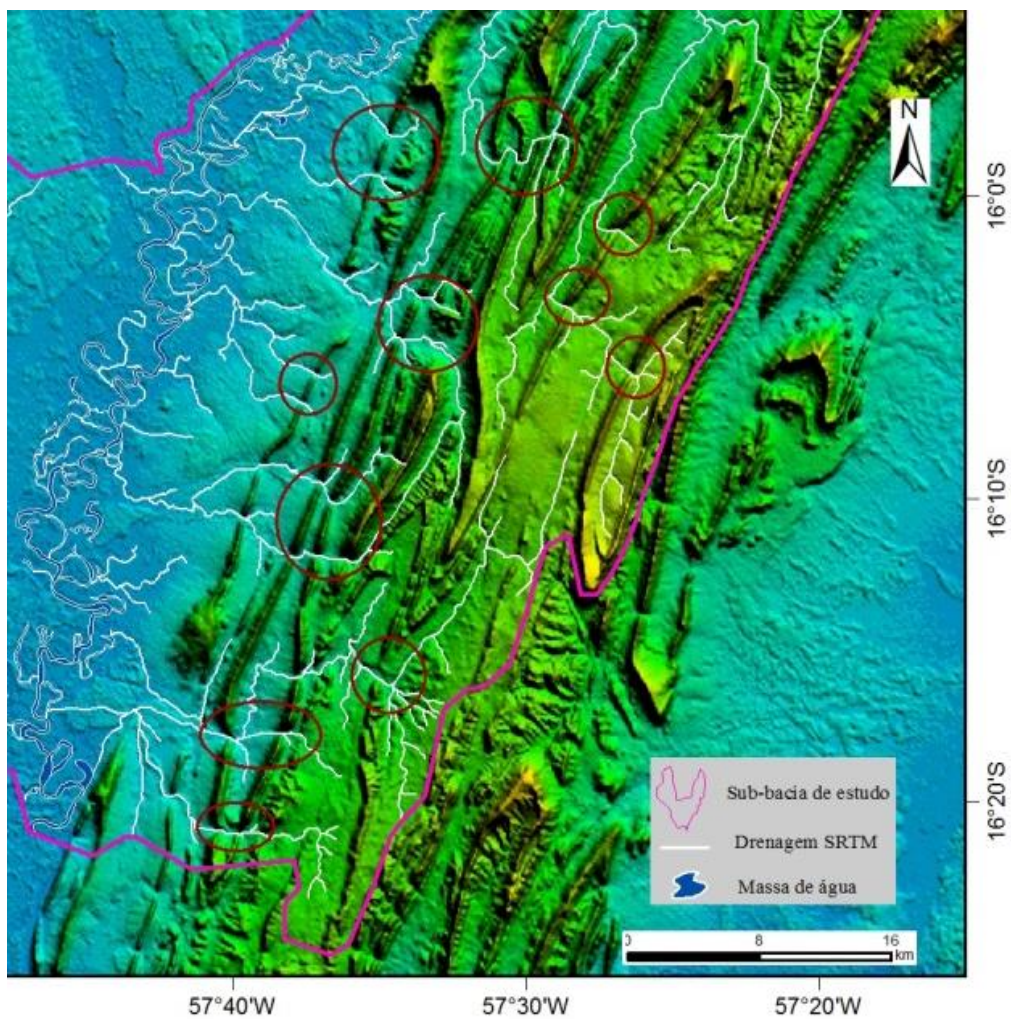


Fonte: Elaborado pelo autor

A tectônica recente é outro fator de influência ativa na evolução do relevo. O soerguimento pode ser geral ou local, lento ou rápido, modificando o gradiente da rede de drenagem ou estabelecendo os níveis de base locais. O soerguimento aumenta a energia potencial dos sistemas – tendendo a erosão, enquanto a subsidência a reduz – tendendo a sedimentação/assoreamento dos rios (SOARES; FIORI, 1976; IBGE, 2009).

A superimposição da rede de drenagem é uma forte evidência de ação tardia da tectônica na área de estudo devido ocorrer mudanças no curso dos canais em zonas de maior fraqueza, a exemplo das zonas de fraturas que cortam a serra da Faixa Paraguai do Domínio II (Figura 24).

Figura 24: Feições de superimposição de drenagem em cristas das serras na porção leste da área de estudo – domínio da Faixa Paraguaia (destacada pelos círculos vermelhos).

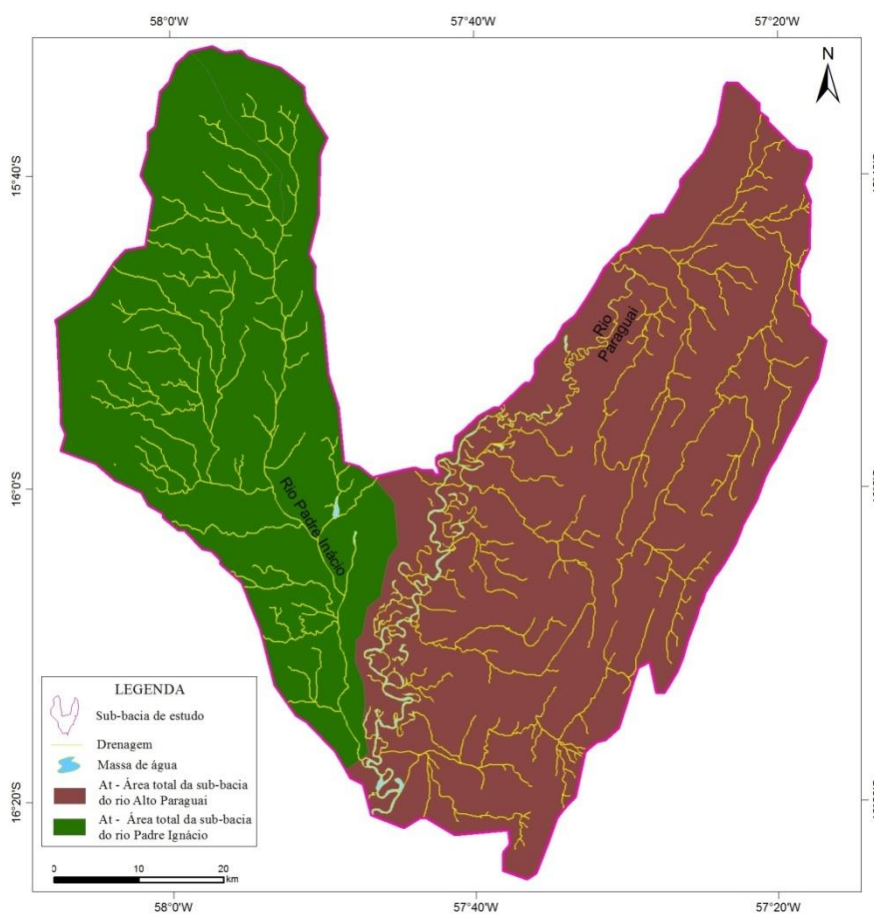


Fonte: Elaborado pelo autor.

4.3 ANÁLISE MORFOMÉTRICA DA DRENAGEM

Os índices morfométricos aplicados nas sub-bacias do rio Padre Ignácio e no trecho do rio Paraguai foram: Fator de Assimetria de Bacias (FAB), Fator de Simetria Topográfica Transversal (FSTT) e Índice Relação Declividade-Extensão (RDE) (Figura 25).

Figura 25: Sub-bacias estudadas: do rio Padre Ignácio, área de cor verde e, do trecho do rio Alto Paraguai, de cor vinho.



Fonte: Elaborado pelo autor.

4.3.1 Fator de Assimetria de Bacias (FAB)

A análise do Fator de Assimetria de Bacias (FAB) indica o caimento do terreno e geralmente relaciona-se à existência de blocos basculados, pois a assimetria da bacia reflete o componente de deslocamento lateral do seu rio principal, perpendicularmente à direção de seu eixo, sendo que essa migração

pode ser resposta de processos fluviais internos e/ou de forças deformacionais tectônicas (ANDRADES FILHO, 2010; COUTO, 2011; IBGE, 2009; SALAMUNI; EBERT; HASUI, 2004).

Os valores do índice FAB muito altos ou muito baixos podem indicar, respectivamente, basculamento à esquerda ou a direita da bacia hidrográfica e, valores iguais ou próximos a 50 indicam pouco ou nenhuma influência de atividade ou deformação tectônica na bacia, estando a mesma em equilíbrio. A intensidade da assimetria da bacia hidrográfica pode ser classificada a partir do módulo $|Af-50|$, em baixa se o módulo estiver no intervalo $0 < |Af - 50| \leq 7$, média se $7 < |Af - 50| \leq 15$ e alta se $|Af - 50| > 15$ (COX, 1994; ANDRADES FILHO, 2010; COUTO, 2011).

Os valores de FAB variaram consideradamente nas duas sub-bacias hidrográficas em estudo, onde na sub-bacia do rio Paraguai o valor obtido foi de 9,7 e para a sub-bacia do rio Padre Ignácio o valor obtido foi 71,2 indicando um possível basculamento à direita e à esquerda da sub-bacia hidrográfica, respectivamente e, nas duas sub-bacias a intensidade da assimetria foi superior a 15, classificadas como de alta assimetria (Tabela 3) e (Figura 26).

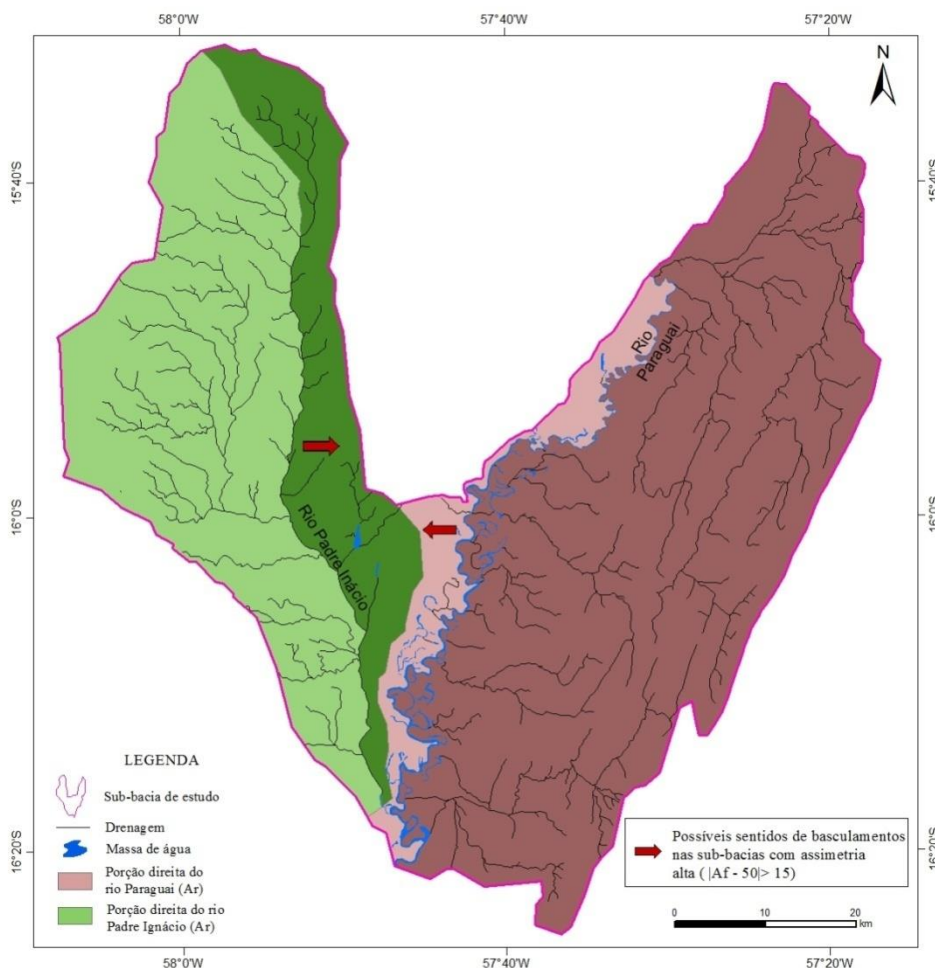
Sendo assim, na sub-bacia do rio Padre Ignácio o basculamento tem sentido leste e na sub-bacia do rio Paraguai o basculamento tem caimento para oeste-noroeste. Esta análise permite inferir que possivelmente ocorre na parte central da área de estudo, no contato das duas sub-bacias, um setor em processo de subsidência que pode estar condicionado por um sistema de falha na direção quase N-S que controlam a direção das grandes drenagens da região, como pode ser verificado no mapa de lineamentos de drenagem e nos diagramas de roseta para o domínio I (Figura 23) e também no mapa da geologia regional (Figura 9).

Tabela 3: Índice FAB e as variáveis necessárias para o seu cálculo nas sub-bacias hidrográficas de estudo.

Sub-bacia hidrográfica	Área total da bacia (At) km ²	Área da porção direita da bacia (Ar) km ²	FAB	FAB-50	Sentido do Basculamento	Assimetria
Trecho do rio Paraguai	2556,05	248,27	9,7	40,3	À direita	Alta
Rio Padre Ignácio	1748,86	1245,50	71,2	21,2	À esquerda	Alta

Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 26: Análise do Índice FAB para as sub-bacias estudadas. A sub-bacia do rio Padre Ignácio e do trecho do rio Paraguai revelam um possível sentido de basculamento para leste e para oeste-noroeste, respectivamente, e ambas apresentam forte assimetria.



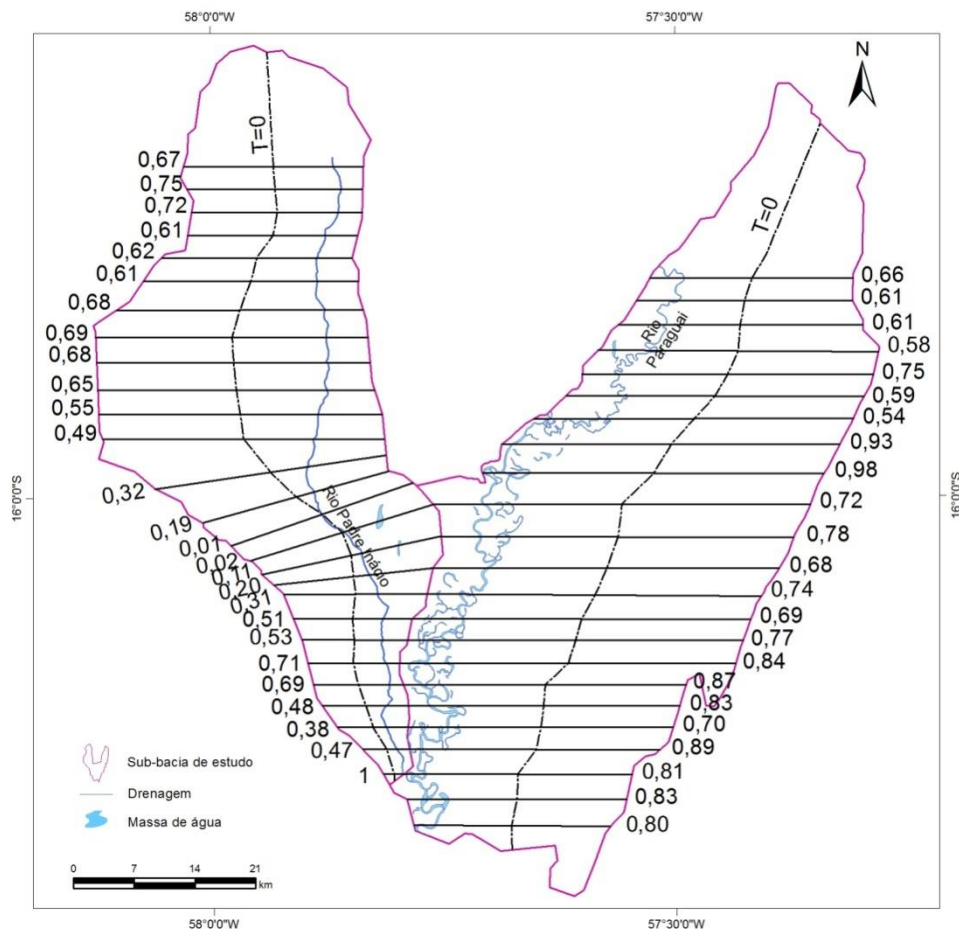
Fonte: Elaborado pelo autor.

4.3.2 Fator de Simetria Topográfica Transversal (FSTT)

A análise do Fator de Simetria Topográfica Transversal (FSTT) reflete a migração preferencial do canal, sendo que o perfil topográfico não apresenta alteração se o valor de T for próximo de zero e à medida que os valores de T se aproximam de 1 a assimetria cresce do canal (SALAMUNI; EBERT; HASUI, 2004; COUTO, 2011).

No perfil topográfico do trecho do rio Paraguai foi calculado o índice FSTT para 23 trechos e no rio Padre Ignácio para 27 trechos, onde posteriormente foi calculado a média FSTT para cada rio. Os valores obtidos para a sub-bacia do trecho do rio Paraguai indicam um possível basculamento forte (média FSTT igual a 0,75) e que possivelmente pode ser associado a um maior controle tectônico, e para a sub-bacia do rio Padre Ignácio o valor médio de 0,51 para o FSTT indica um possível basculamento intermediário (Figura 27). Nestas sub-bacias ocorrem localmente valores mais elevados do índice FSTT, ou anômalos, que coincidem normalmente com áreas de maior orientação preferencial, quase E-W, da drenagem. Esta orientação possivelmente pode estar relacionada com as direções preferenciais de fraturas e falhas descritas na geologia regional da área (Figura 9) e identificadas nos lineamentos de drenagem do domínio II desta sub-bacia (Figura 23).

Figura 27: Análise do Índice FSTT indica para as sub-bacias do rio Padre Ignácio e do trecho do rio Paraguai um possível basculamento intermediário e mais forte, respectivamente ($T=0$ é a linha média da sub-bacia).



Fonte: Elaborado pelo autor.

4.3.3 Relação Declividade Extensão (RDE)

A utilização desse índice permite detectar, no perfil longitudinal de um rio, alterações no seu curso, uma vez que relaciona a declividade do canal com a extensão do respectivo trecho, fornecendo assim, um índice para comparação de trechos fluviais de diferentes magnitudes (MARTINEZ, 2004).

O Índice RDE foi aplicado nos dois principais rios das sub-bacias em estudo. A extensão do rio Padre Ignácio é de aproximadamente 77 km que foi dividido em 11 trechos de mesmo tamanho. A variação de altitude ao longo do curso desse rio está entre as cotas topográficas 145 m, a montante, e 114 m, a jusante. A extensão do curso do trecho do rio Paraguai na área estudada é de aproximadamente 144 km. Este trecho foi dividido em 16 intervalos de mesmo

tamanho, com variação da altitude compreendida entre 129 m, a montante, e 110 m, a jusante (Tabela 4). De acordo com o Índice de Gradiente RDE cerca de 63,7% dos trechos do rio Padre Ignácio e 50% dos trechos do rio Paraguai apresentam indícios de anomalias e predominantemente ocorrem nos baixo e médio curso dos rios, respectivamente (Figura 30).

No rio Padre Ignácio os trechos anômalos localizam-se mais a jusante como pode ser verificado na Figura 28 em que os maiores valores do parâmetro RDE são encontrados nos trechos finais do rio (Figura 30). Nos trechos mais a montante o índice RDE não revela anomalias e na curva da Figura 28 é definido por menor distância da linha do perfil topográfica do rio e a linha de melhor ajuste do mesmo. Possivelmente os trechos anômalos identificados podem estar refletindo algum controle estrutural. Considerando o quadro tectônico regional mostrado na Figura 9 associado aos *trend* estruturais derivados da análise dos lineamentos observados na fotointerpretação, pode-se inferir que grandes estruturas com direção preferencial NW-SE podem estar condicionadas as anomalias detectadas pelo índice RDE ao longo do rio Padre Ignácio.

No trecho do rio Paraguai tem-se uma maior alternância dos trechos anômalos e não anômalos, o que pode estar relacionado com uma maior influência das zonas de fraturas e falhas das rochas do embasamento da Faixa Paraguai que possivelmente tenham sofrido reativação (Figura 9). No entanto, estas não foram identificadas na fotointerpretação devido a presença de extensas coberturas de sedimentos Aluvionares (Figura 29). Na Figura 29 é possível identificar que o último trecho do rio apresenta um aumento brusco do Gradiente RDE o qual pode ser provavelmente correlacionável as mudanças nos tipos de canais em um mesmo rio. Neste caso ocorre mudança no tipo de canal passando a jusante de meandrante para trechos mais retilíneos (Figura 18) sendo mais uma evidência de possíveis reativações de falhas do embasamento.

Tabela 4: Dados morfométricos referentes aos perfis longitudinais dos rios Padre Ignácio e Paraguai. Índice de Gradiente RDE: valores <2 indicam trechos não anômalos e são representados pela cor verde; os trechos anômalos apresentam valores do índice RDE >2, representado pela cor amarela.

Rio	Trecho	Cota Superior (h1) - m	Cota Inferior (h2) - m	Diferença Altimétrica (Δh) - m	Extensão Trecho (Δl) - m	Extensão Total (L) - m	RDE Trecho	RDE Total	RDE trecho/ RDE total
Padre Ignácio	01	145	135	10	7000	77000	10	6,26	1,5969
	02	135	131	04	7000		8		1,2775
	03	131	130	01	7000		3		0,4791
	04	130	124	06	7000		24		3,8325
	05	124	121	03	7000		15		2,3953
	06	121	123	02	7000		12		1,9163
	07	123	119	04	7000		28		4,4713
	08	119	123	04	7000		32		5,1101
	09	123	117,4	5,6	7000		50		8,0483
	10	117,4	116	1,4	7000		14		2,2356
	11	116	114,4	1,6	7000		18		2,8105
Paraguai	01	129	125	04	9000	144000	4	3,68	1,0860
	02	125	130	05	9000		10		2,7149
	03	130	128,5	1,5	9000		5		1,2217
	04	128,5	125	3,5	9000		14		3,8009
	05	125	125	00	9000		0		0,0000
	06	125	119	06	9000		36		9,7737
	07	119	119	00	9000		0		0,0000
	08	119	118	01	9000		8		2,1719
	09	118	115	03	9000		27		7,3303
	10	115	114	01	9000		10		2,7149
	11	114	112	02	9000		22		5,9728
	12	112	112	00	9000		0		0,0000
	13	112	112	00	9000		0		0,0000
	14	112	112,5	0,5	9000		7		1,9004
	15	112,5	112,3	0,2	9000		3		0,8145
	16	112,3	110	2,3	9000		37		9,9909

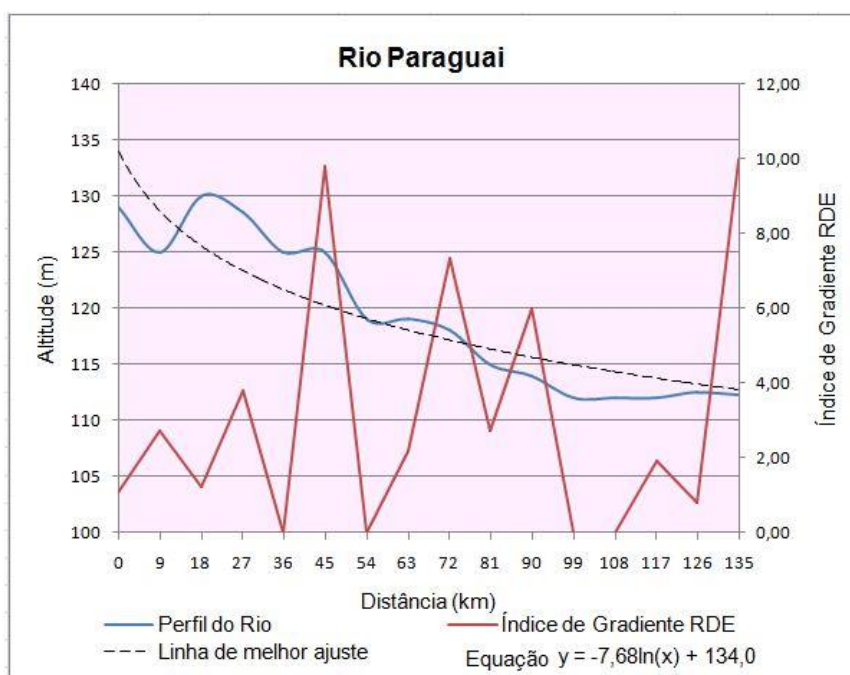
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 28: Perfil longitudinal do rio Padre Ignácio e o Índice de Gradiente RDE.



Fonte: Elaborado pelo autor.

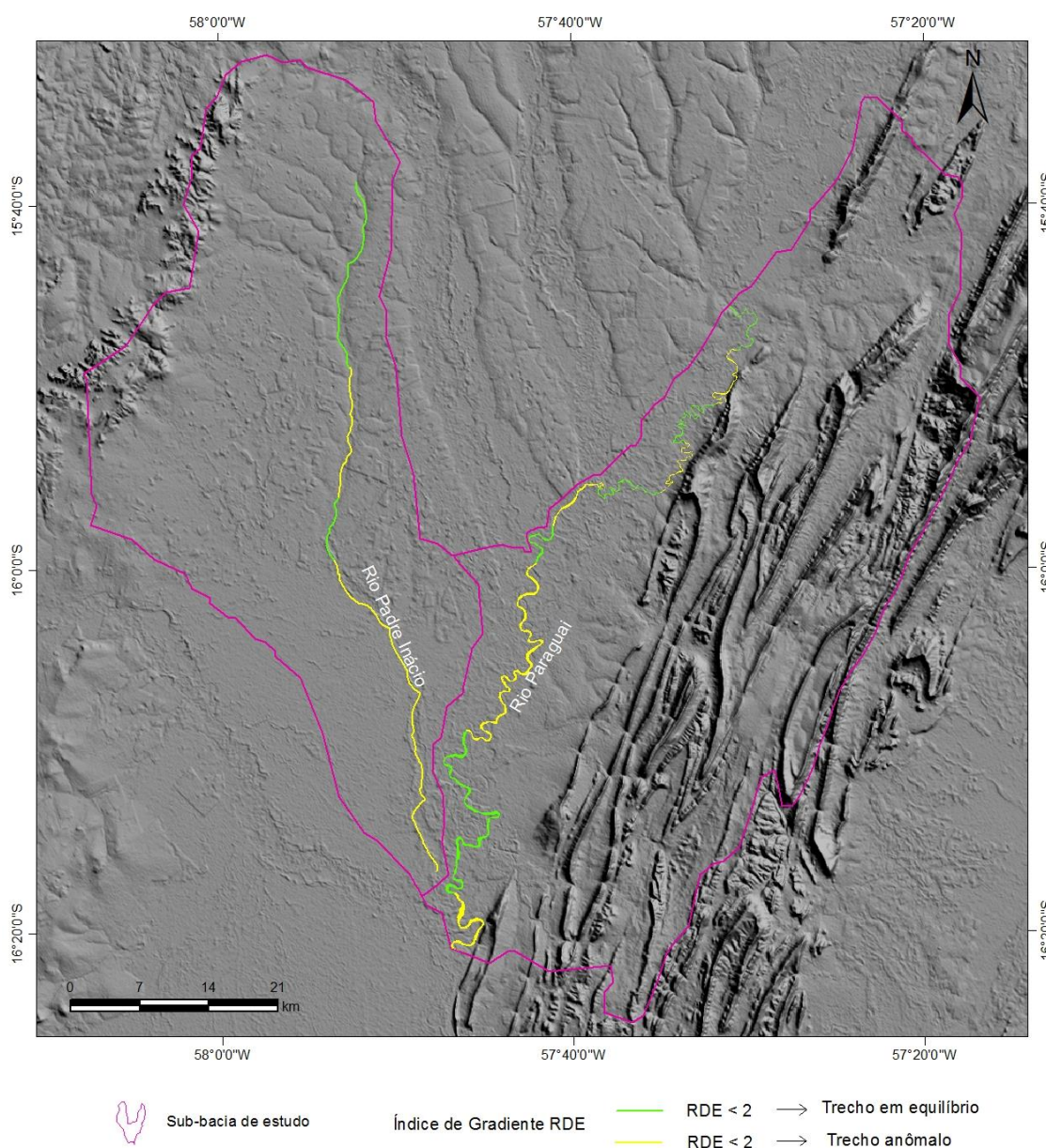
Figura 29: Perfil longitudinal do trecho do rio Paraguai e o Índice de Gradiente RDE.



Fonte: Elaborado pelo autor.

A Figura 30 apresenta a classificação dos trechos dos rios Padre Ignácio e Paraguai segundo os valores obtidos para o Índice de Gradiente RDE (RDE trecho/RDE total). Os trechos representados pela cor verde obtiveram índice RDE < 2 , sendo considerados não anômalos, ou seja, estão em equilíbrio; os trechos representados pela cor amarela obtiveram o índice RDE > 2 e são considerados como trechos anômalos, e relacionam-se a possível influência tectônica em sua formação.

Figura 30: Segmentos dos rios Padre Ignácio e Paraguai anômalos (linhas de cores amarelo) e não anômalos (linhas de cor verde) segundo o Índice de Gradiente RDE sobre a imagem do relevo sombreado da área de estudo.



Fonte: Elaborado pelo autor.

5 CONCLUSÕES

Os resultados deste estudo evidenciam a influência da atividade tectônica na área de estudo através da interpretação de dados extraídos do MDE/SRTM, como os lineamentos morfoestruturais do relevo e drenagem, a análise qualitativa dos padrões da rede de drenagem e pelo cálculo dos índices morfométricos.

A seguir são enumeradas as principais conclusões obtidas neste trabalho:

a) Os dados TOPODATA apresentam limitações na extração automática tanto dos lineamentos do relevo como da drenagem, possivelmente relacionado a criação de artefatos no processo de interpolação para reamostragem da imagem para 30 m de resolução;

b) Os dados MDE-SRTM foram satisfatórios na extração automática dos lineamentos utilizando o algoritmo LINE, pois cerca de 80% dos lineamentos identificados automaticamente coincidem com o mapa de referência, porém os traçados extraídos automaticamente tendem a ser mais retilíneos, normalmente não incorporam a sinuosidade das feições de relevo;

c) Os dados MDE-SRTM foram satisfatório na extração automática da drenagem, pois cerca de 95% dos vetores gerados coincidem com drenagens observadas (ou extraídas) de imagens LANDSAT e somente nas áreas onde apresentam meandros abandonados estas feições não foram vetorizadas;

d) A imagem LANDSAT em composição de falsa cor (R-5, G-4, B-3) mostrou-se eficiente para correção e suavização dos traços da drenagem;

e) Demonstração da eficiência da metodologia de análise lógica-sistemática de Soares e Fiori (1976), onde nas zonas homólogas I e II (padrões de drenagem subdendrítico e anastomosado, respectivamente) ocorrem preferencialmente nas coberturas sedimentares dos Depósitos Aluvionares e Formação Pantanal e, a zona homóloga III (padrão de drenagem subtreliça) ocorre preferencialmente nas rochas do embasamento da Faixa de Dobramento Paraguai (Formação Puga e, grupos Alto Paraguai e Araras);

f) As formas anômalas dos canais de drenagem, como arcos e cotovelo, a superimposição da drenagem em cristas de serras, mudanças dos tipos de canais em um mesmo rio associado aos valores dos índices morfométricos extraídos do MDE-SRTM, os mapas de lineamentos e diagramas de rosetas são indicativos de que possivelmente a área de estudo foi afetada por eventos tectônicos tardios.

g) Provavelmente antigas falhas estão sendo reativadas, porém, as mesmas não são visíveis devido a extensa cobertura de sedimentos aluvionares presentes nas sub-bacias estudadas. Isso demonstra que a análise morfoestrutural pode ser uma ferramenta interessante para revelar a presença de estruturas de subsuperfícies escondidas por coberturas sedimentares, usando para tanto dados de fácil acesso como o MDE/SRTM e uma metodologia de simples aplicação.

Como recomendação, sugerimos estudos mais detalhados e investigações mais precisas em campo para a comprovação das conclusões alcançadas nesta pesquisa. Acredita-se ainda que um MDE mais detalhado possa fornecer valores de parâmetros morfométricos mais precisos.

REFERÊNCIAS

ABREU FILHO, W.; BORGES, F. R.; ABRAM, M. B. org. 2011. Projeto Fosfato Brasil – Estado de Mato Grosso: Áreas Arara/Serra do Caeté e Planalto da Serra. *Informe de Recursos Minerais*. Goiânia: CPRM. 2011. (Série Insumos Minerais para Agricultura, nº 14).

ALENCAR, L. D. C. *Geometria e História Cinemática do Segmento Setentrional da Faixa Paraguai, na Região de Cáceres/MT*. 2011. 94f. Dissertação (Mestrado em Geologia) - Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará,. Belém, PA, 2011.

ALMEIDA, F.F.M. *Geologia do Centro-Oeste matogrossense*. Rio de Janeiro. Boletim da Divisão de Geologia e Mineralogia, Departamento Nacional de Produção Mineral. 1964 v. 219, p. 1–53.

ALMEIDA, F.F.M.;HASUI,Y.(Coord.).*O Pré-Cambriano do Brasil*. São Paulo. Editora BlücherLtda.1984. p. 265–281.

ALVARENGA, C.J.S. Evidências de fácies turbidíticas grosseiras no Grupo Cuiabá, MT. In: SIMP. GEOL. CENTRO-OESTE, 2.,1985, Goiânia. *Atas...* Goiânia: SBG, 1985.p. 256-266.

ALVARENGA, C.J.S.; TROMPETTE, R. Upper Proterozoic glacial environment of the border of Amazonian Craton and its evolution towardsthe adjacent Paraguay Belt. (MatoGrosso, Brazil).In: MEETING EARTH'SGLACIAL RECORD-PROJ. 260. Cuiabá, 1988. *Abstracts and Field Trip...*Cuiabá, IGCP-UNESCO/UFMT.1988 p. 31-44.

ALVARENGA, C. J. S.; DARDENNE, M. A.; SANTOS, R. V.; BROD, E. R.; GIOIA, S. M. C. L.; SIAL, A. N.; DANTAS, E. L.; FERREIRA, V. P. Isotope stratigraphy of Neoproterozoic cap carbonates in the Araras Group, Brazil.*GondwanaResearch*,V.13. p.469 – 479, 2007.

ANDRADES FILHO, C. O. *Análise Morfoestrutural da porção central da Bacia Paraíba (PB) a partir de dados MDE-SRTM e ALOS-PALSAR FBD*. 2010, 177 p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2010.

BANDEIRA J., C. S. J. 2011. *Sedimentação Siliciclástica e Proveniência do Grupo Alto Paraguai (Neoproterozoico-Cambriano), Borda Sul do Cratón Amazônico e Faixa Paraguai Norte, Estado do Mato Grosso*. 2011. 126f. Tese (Doutorado em Geologia). - Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, PA, 2011.

CONCEIÇÃO, R. A. C.; SILVA, A. Q. Extração automática de lineamentos utilizando imagens SRTM, Landsat ETM+ e ALOS PALSAR na região de Nobres, MT. In: *Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*. Foz do Iguaçu, PR, Brasil. Anais XVI SBSR. p. 3688-3695. 2013.

COUTO, E. V. *Influência Morfotectônica e Morfoestrutural na Evolução das Drenagens nas Bordas Planálticas do Alto Ivaí – Rio Alonzo – sul do Brasil*. 2011. 123f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Estadual de Maringá. Programa de Pós-Graduação em Geografia. Maringá, 2011.

COUTO, E. V.; MANIERI, D. D.; MANOSSO, F.C.; FORTES, E. Morfometria da rede de drenagem e análise morfoestrutural da borda planáltica, Faxinal, Paraná. In: *Anais... SIMPGEO - Simpósio paranaense de pós-graduação e pesquisa em geografia*, Curitiba. V SIMPGEO, 2010.

COX, R.T. Analysis of drainage and basin symmetry as a rapid technique to identify areas of possible Quaternary tilt-block tectonics: an example from the Mississippi Embayment. *Geol. Soc. Am. Bull.* v. 106 p. 571-581. 1994.

ETCHEBEHERE, M. L. C.; SAAD, A. R.; SANTONI, G. C.; CASADO, F. C.; FULFARO, V. J. Detecção de prováveis deformações neotectônicas no vale do Rio do Peixe, região ocidental paulista mediante aplicação de índices RDE (Relação Declividade-Extensão) em segmentos de drenagem. *Revista de Geociências USP*, v. 25, p. 271-289, 2006.

FIGUEIREDO, M. F., BABINSKI, M., ALVARENGA, C. J. S., PINHO, F. E. C. Nova Unidade Litoestratigráfica Registra Glaciação Edicarana em Mato Grosso: Formação Serra Azul. *Revista do Instituto de Geociências – USP. Sér. Cient.*, São Paulo. V. 8, n. 2, p. 65-75. 2008.

FORTES, E.; COUTO, E. V.; MANIERI, D. D.; MANOSSO, F. C. Correlação Morfoestrutural da Rede de Drenagem e Lineamentos da Borda Planáltica, Faxinal, Paraná. São Paulo. *UNESP - Geociências*, v. 30, n 3. p. 315-336, 2011.

FUJITA, R. H. *O Perfil Longitudinal do Rio Ivaí e sua Relação com a Dinâmica de Fluxos*. 2009, 98 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Estadual de Maringá. 2009.

GUEDES, I. C.; SANTONI, G. C.; ETCHEBEHERE, M, L. C.; STEVAUX, J. C.; MORALES; N. SAAD, A. R. Análise de Perfis Longitudinais de Drenagem da Bacia do Rio Santo Anastácio (SP) para detecção de possíveis Deformações Neotectônicas. *Revista UnG – Geociências* v. 5, n. 1. p. 75-102. 2006.

GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. (Org.). *Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos*. ed. 4, Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2001.

HACK, J, T. Stream-profile analysis and stream-gradient index. *Journal Research of the U. S. Geological Survey*, v. 1, n. 4, p. 421-429, 1973.

HARE P.W; GARDNER I.W. Geomorphic indicators of vertical neotectonics along converging plate margins. Nicoya Peninsula, Costa Rica. In: MORISAWA M.;HACK J.T (Eds.).*Tectonic Geomorphology*. Proceedings 15th. Annual Binghamton, 1985.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). *Índice de Mapas Interativos*.2013. Disponível em:<ftp://geoftp.ibge.gov.br/mapas_interativos/>. Acesso em 25 de julho de 2013.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). *Manual Técnico de Geomorfologia*. 2 ed. Rio de Janeiro. 2009. 182 p. – (Manuais técnicos em geociências; n.5).

KELLER, E.A.; PINTER, N. *Active Tectonics*, Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall. 2002.

MALIK, J. N.; MOHANTY, C. Active tectonic influence on the evolution of drainage and landscape: geomorphic signatures from frontal and hinterland areas along the northwestern Himalaya, India. *Journal of Asian Earth Sciences*. v. 29, p. 604–618, 2007.

MARTINEZ, M. *Aplicação de parâmetros morfométricos de drenagem na bacia do rio Pirapó: o perfil longitudinal*. Maringá, 2004. 146 p. Dissertação (Mestrado em Análise Regional e Ambiental) - Departamento de Geografia, Universidade Estadual de Maringá.

MORAES et al. *Geodiversidade do estado do Mato Grosso*. Goiânia: CPRM, 2010 (Programa Geologia do Brasil. Levantamento da Geodiversidade).

NOGUEIRA, A.C.R. A plataforma carbonática Araras no sudoeste do Cráton Amazônico, Mato Grosso: estratigrafia, contexto paleoambiental e correlação como eventos glaciais do Neoproterozoico. 2003.173f. Tese (Doutorado em Geologia). Universidade de São Paulo, São Paulo.2003.

NOGUEIRA, A.C.R.; RICCOMINI, C. O Grupo Araras (Neoproterozoico) na parte norte da Faixa Paraguai e sul do Cráton Amazônico, Brasil. *Rev. Bras. Geoc.*, 36: 623-640. 2006.

NOGUEIRA, A.C.R.; RICCOMINI, C.; SIAL, A.N.; MOURA, C.A.V.; FAIRCHILD, T.R. Soft-sediment deformation at the Neoproterozoic Puga cap carbonate (southwestern Amazon craton, Brazil): conformation of rapid icehouse to greenhouse transition in snowball Earth. *Geology* 31, p. 613 –616. 2003.

PENTEADO, M.M. Implicações tectônicas na gênese das Cuestas da Bacia de Rio Claro (SP). *Notícia Geomorfológica*, ano 8, n. 15, p. 19-41, 1978.

PIMENTEL, M.M.; FUCK, R.A. Neoproterozoic Crustal Accretion in Central Brazil. *Geology*, 20 (4): p.373-379. 1992.

RIBEIRO FILHO, W; LUZ, J.S.; ABREU FILHO, W. 1975. *Projeto Serra Azul*. Goiânia, DNPM/CPRM. v. I, 104 p. (Relatório Final). 1975.

RODRIGUES, J. B., *Geocronologia e Geoquímica da Sequência Vulcano-sedimentar de Iporá e Rochas Graníticas Associadas* 1996. Dissertação (Mestrado em Geologia) nº 108. UnB. Brasília. 1996.

SALAMUNI, E.; EBERT, H. D.; HASUI, Y. Morfotectônica da Bacia Sedimentar de Curitiba. 2004. *Revista Brasileira de Geociências*, v.34(4): p. 469-478. 2004.

SOARES, P.C.; FIORI, A.P. Lógica e sistemática na análise de fotografias aéreas em Geologia. 1976. São Paulo: *Notícia Geomorfológica*. 1976.

TROMPETTE, R. *Geology of Western Gondwana (2000 - 500 Ma)*. Balkema, Rotterdam, 1994. 350 p.

VALERIANO, M. M. Modelo digital de variáveis morfométricas com dados SRTM para o território nacional: o projeto TOPODATA. In: *XII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO*, 2005, Goiânia. Anais... São José dos Campos: INPE, 2005, p. 3595-3602. Disponível em: <<http://marte.dpi.inpe.br/col/ltid.inpe.br/sbsr/2004/10.29.11.41/doc/3595.pdf> >. Acesso em: 05 de março de 2013.

XAVIER, F. V. *Contribuição Metodológicas ao Estado da Produção e Distribuição Espacial de Sedimentos na Bacia Hidrográfica do rio Manso, Utilizando o Modelo AVSWAT*. 2009, 166p. Dissertação (Mestrado em Física Ambiental) – Universidade Federal de Mato Grosso, Instituto de Ciências Exatas e da Terra, Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental, 2009.