



UFRR

UNIVERSIDADE FEDERAL DE RORAIMA

PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

FRANZMILLER ALMEIDA NASCIMENTO

**COMPARTIMENTAÇÃO GEOMORFOLÓGICA DA SERRA DO TEPEQUÉM –
RR, COM BASE EM PRODUTOS DE SENSORIAMENTO REMOTO**

BOA VISTA, RR

2013

FRANZMILLER ALMEIDA NASCIMENTO

**COMPARTIMENTAÇÃO GEOMORFOLÓGICA DA SERRA DO TEPEQUÉM –
RR, COM BASE EM PRODUTOS DE SENSORIAMENTO REMOTO**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia, da Universidade Federal de Roraima, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Geografia. Linha de Pesquisa: Dinâmica da Paisagem Amazônica.

Orientador: Prof. Dr. Stélio Soares Tavares Júnior

Co-orientador (a): Prof.^a Dr.^a Luíza Câmara Beserra Neta

BOA VISTA, RR

2013

Dados Internacionais de Catalogação na publicação (CIP)
Biblioteca Central da Universidade Federal de Roraima

N244c Nascimento, Franzmiller Almeida.
Compartimentação geomorfológica da Serra do Tepequém-RR, com base em produtos de sensoriamento remoto / Franzmiller Almeida Nascimento. – Boa Vista, 2013.
103 f. : il.

Orientador: Prof. Dr. Stélio Soares Tavares Júnior.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Roraima, Programa de Pós-Graduação em Geografia.

1 – Morfoestruturas. 2 – Compartimentação geomorfológica. 3 - Serra do Tepequém I Título. II – Tavares Júnior, Stélio Soares (Orientador).
CDU – 528.8 (811.4)

FRANZMILLER ALMEIDA NASCIMENTO

COMPARTIMENTAÇÃO GEOMORFOLÓGICA DA SERRA DO TEPEQUÉM-RR, COM
BASE EM PRODUTOS DE SENSORIAMENTO REMOTO

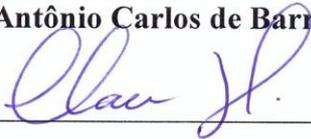
Dissertação apresentada como pré-requisito para conclusão do Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal de Roraima. Área de concentração: Dinâmica da Paisagem Amazônica. Defendida em 19 de março de 2013 e avaliada pela seguinte banca:



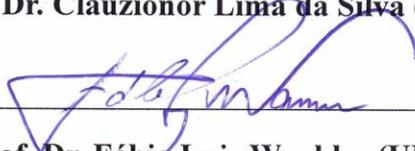
Prof. Dr. Stélio Soares Tavares Júnior – Orientador (UFRR)



Prof. Dr. Antônio Carlos de Barros Côrrea (UFPE)



Prof. Dr. Clauzionor Lima da Silva (UFAM)



Prof. Dr. Fábio Luiz Wankler (UFRR)

*A aqueles que me
apoiaram e me deram
força nesta fase de minha
vida. Deus e meus pais.*

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradeço a Deus por ter me ungido de força, sobriedade e coragem, durante todos os momentos que condicionaram esta caminhada nos últimos meses, confortando meu espírito e guiando meus passos para que esta pesquisa fosse concluída.

Agradeço a minha família que teve paciência e consideração durante a execução e finalização deste trabalho, meu pai José Tarcisio, minha mãe Maria das Neves e aos meus irmãos Fredrick e Franklin, meu muito obrigado.

Agradeço a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, via Pró-Reitora de Pesquisa e Pós-Graduação da UFRR, pela concessão de bolsa REUNI de docência assistida, durante o período de desenvolvimento do Curso de Mestrado. Além de um agradecimento ao Núcleo Integrado de Pesquisa e Educação Ambiental – Projeto Hydros, pelo apoio logístico e laboratorial.

Um forte agradecimento aos meus orientadores, Prof. Dr. Stélio Soares Tavares Júnior e Prof.^a Dr.^a Luíza Câmara Beserra Neta, que na medida do possível, foram fundamentais durante a construção desta pesquisa e graças a suas indicações, pude concluir este estudo. Também agradeço a estes professores pelas oportunidades concedidas durante minha graduação, que contribuí para a minha formação acadêmica.

Um agradecimento aos Professores do Programa de Pós-Graduação em Geografia da UFRR, pelos ensinamentos repassados durante as atividades presenciais e em especial aos alunos da 1ª turma do Curso de Mestrado em Geografia, pela convivência e troca de experiências.

Por fim, um agradecimento aos companheiros do Grupo de Pesquisa da Paisagem de Roraima – GRUPPARR, em especial a mestrande Luciana Diniz Cunha, amiga de todos os momentos, pelas contribuições durante a elaboração desta pesquisa

RESUMO

O estado de Roraima é marcado por uma diversificação de paisagens diferenciadas em relação a outras porções da Amazônia brasileira. Neste cenário destaca-se a paisagem da porção norte do estado, constituída por unidades de relevo que podem atingir cerca de 2.800 metros de altitude. Dentre estas elevações destacam-se os relevos tabulares, com morfologias de grandes mesas com topo plano, conhecidos regionalmente por *tepuis*. Neste panorama, apresenta-se com grande importância a serra do Tepequém, localizada na porção norte do estado, classificada pela literatura atual como um relevo tabular, porém em seu interior, notam-se rugosidades que propiciam um desnível altimétrico de mais de 600 metros em seu topo. Com o avanço de pesquisas atuais e de novas tecnologias para o mapeamento, utilizando técnicas de geoprocessamento em ambiente de Sistema de Informação Geográfica (SIG), e imagens de sensores remotos, pode-se identificar formas de relevo diversificadas no topo da serra. Em função da complexidade morfológica da área, este estudo visa classificar as formas de relevo que compõe a paisagem da serra do Tepequém, através do mapeamento de unidades morfoestruturais, utilizando técnicas fotointerpretativas e de geoprocessamento com uso de imagens de sensores remotos, dados altimétricos e de campo. Os procedimentos aplicados seguiram metodologias desenvolvidas a partir de análises para o reconhecimento de elementos naturais da paisagem (drenagem e relevo), através da caracterização das propriedades texturais, em imagens ópticas dos sensores TM, LISS-III e PRISM e SAR/SIPAM, e interpretação de áreas delimitadas por linhas isomorfoestruturais, gerando produtos como mapas temáticos específicos e imagens integradas digitalmente. A análise morfoestrutural identificou uma estrutura elaborada em um sinclínório assimétrico com eixo preferencial NE-SW, com dobras de menor expressão em seu interflanco (sinformes e antifforme) e blocos basculados gerados a partir de falhas normais e transcorrentes, condicionando variadas formas de relevo no topo da serra. Entre estas destacam-se: a) escarpas de recuo de falha; b) encostas íngremes; c) morros residuais alinhados, orientados nas direções NE-SW e E-W; d) vales encaixados e f) planícies intermontanas. Essas diversas formas desqualificam o relevo do tipo tabular para a serra do Tepequém. A compreensão dos processos morfoestruturais atuantes na construção e sustentação dessas formas de relevo, constitui-se em um passo importante para o entendimento da evolução da paisagem.

Palavras-chave: morfoestruturas, compartimentação geomorfológica, serra do Tepequém.

ABSTRACT

The state of Roraima is marked by a diversity of landscapes differentiated relative to other portions of the Brazilian Amazon. In this scenario stands out the landscape of the northern portion of the state, consists of units which relief can reach about 2,800 feet. Among these elevations stand out reliefs tabular morphologies with large tables with flat top, known regionally for tepuis. In this scenario, is presented with a mountain of great importance Tepequém, located in the northern portion of the state, classified by current literature as a table relief, But inside are noticeable roughness altimeter that provide a gap of over 600 feet at its top. With the advancement of current research and new technologies for mapping using GIS techniques and remote sensing images, can identify diverse landforms diversified on top of the mountain. Due to the morphological complexity of the area, this study aims to classify the landforms that make up the landscape of the Tepequém mountain by mapping units morphostructural using geoprocessing techniques and photointerpretative and with use of remote sensing images, altimetry data and field. The following procedures apply methodologies developed from analysis for the recognition of natural elements of the landscape (drainage and relief), by characterizing textural properties in optical imaging TM, LISS-III and PRISM and SAR / SIPAM sensor and interpretation of areas bounded by lines isomorfostructural, generating specific products such as thematic maps and images digitally integrated. The analysis identified morphostructural an elaborate structure in an asymmetric synclorium with preferential NE-SW axis, with fold lower expression in his side (sinformes and antiform) and tilted fault blocks generated from normal and transcurrent faults, conditioning varied landforms on top the mountain. Among these are: a) fault scarps retreat b) steep slopes, c) residual hills NE-SW and E-W aligned d) valleys f) intermontains plains. These various forms disqualify relief tabular type to the Tepequém mountain. Understanding the processes morphostructural active in building and sustaining these landforms, it constitutes an important step in understanding the evolution of the landscape.

Keywords: morphostructures, geomorphological compartmentation, Tepequém mountains.

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 – Esquema representativo da definição teórica de Geossistema.....	20
Figura 02 – Quadro representando à concepção geral da classificação do relevo da Terra.....	24
Figura 03 – Mapa de localização da serra do Tepequém e sua situação regional. Em detalhe a rede de drenagem no topo da serra.....	31
Figura 04 – Mapa Geológico apresentando as principais litologias e estruturas da serra do Tepequém.....	34
Figura 05 – Panorama da Serra do Tepequém e entorno ao fundo, bordejada por serras, morros e colinas, precedidas de uma extensa área aplainada.....	36
Figura 06 – Carta imagem SAR/SIPAM da rede de drenagem da serra do Tepequém, com detalhe adaptação das drenagens às linhas de fraqueza crustal (falhas e fraturas).....	38
Figura 07 – Quadro representativo das principais características dos dados de sensoriamento remoto utilizados.....	41
Figura 08 – Procedimentos de coleta de medidas em trabalho prático de campo. A) Utilização de Bússola para a medição da declividade ao longo da vertente; B) Aferição de atitudes e orientação de estruturas geológicas utilizando Bússola e marreta para coleta de amostras.....	44
Figura 09 – Quadro representativo com o número de pontos de controle coletados e os seus respectivos erros médios quadráticos (RMS).....	46
Figura 10 – Fluxograma metodológico da fase de processamento e fotointerpretação de dados de sensoriamento remoto.....	49
Figura 11 – Linhas isomorfoestruturais, cotadas com valores arbitrários, para representação das unidades morfoestruturais na serra do Tepequém.....	53
Figura 12 – Fluxograma metodológico da fase de processamento e mapeamento morfoestrutural.....	54
Figura 13 – Fluxograma metodológico da fase de processamento e mapeamento geomorfológico.....	56

Figura 14 –	Mapa hipsométrico da serra do Tepequém, apresentando a variação altimétrica para o topo da serra de cerca de 670 metros entre as áreas rebaixadas a as cristas de cimeira.....	59
Figura 15 –	Mapa de declividade da serra do Tepequém, mostrando a variação da rugosidade do relevo e o grau de inclinação das morfologias.....	61
Figura 16 –	A) Mapa hipsométrico da serra do Tepequém integrado a imagem sombreada de relevo, evidenciando a textura e rugosidade topográfica na serra; B) Modelo tridimensional (3D) referente à altimetria da serra refletindo os diferentes níveis topográficos no topo da serra.....	63
Figura 17 –	Modelos tridimensionais integrados com imagens ópticas. A) Modelo tridimensional (3D) em imagem TM, apresentando a textura e estrutura das feições de relevo no topo e dissecação deste; B) Modelo tridimensional (3D) em imagem LISS-III, refletindo o as características das feições de relevo locais.....	64
Figura 18 –	Produtos de sensoriamento remoto multifontes. A) Imagem do MDE representando o relevo sombreado, evidenciando a textura e estrutura do relevo da serra. B) Produto integrado via técnica IHS entre as imagens de relevo sombreado e a LISS-III, refletindo o arranjo das feições de relevo e rede de drenagem com a estrutura da serra.....	66
Figura 19 –	Perfis topográficos da serra do Tepequém, representando a variação morfológica no topo da serra. A) Perfil topográfico A-A' (NW-SE), evidenciando o arranjo e variação das morfologias de relevo no topo da serra. B) Perfil topográfico B-B' (N-S), apresentando a variação do relevo.....	68
Figura 20 –	Carta imagem SAR/SIPAM representando o arranjo dos lineamentos estruturais do topo da serra do Tepequém e sua cinemática preferencial.....	70
Figura 21 –	Mapa dos lineamentos estruturais da serra do Tepequém, apresentando os principais feixes de direções e a cinemática correlacionada, além de evidenciar as direções dos lineamentos por meio do diagrama de roseta.....	73
Figura 22 –	Carta imagem SAR/SIPAM da rede de drenagem da serra do Tepequém, com detalhe para o padrão de drenagem local e a adaptação à linhas de fraqueza crustal (falhas e fraturas).....	75
Figura 23 –	Seção geológica: corte NW-SE no topo da serra do Tepequém, evidenciando o arranjo estrutural com o basculamento dos blocos por sistemas de falhas. Destaca-se as atitude dos acamamentos mostrados na projeção ciclográfica Schmidt-Lamber.....	78

Figura 24 –	Mapa morfoestrutural da serra do Tepequém que evidencia o arranjo de altos morfoestruturais (positivas) e baixos morfoestruturais (negativas), condicionadas pelos lineamentos estruturais.....	80
Figura 25 –	A) afloramento em crista de morro com sistema de falhas normais que seguem direção preferencial NE-SW apresentando basculamento de blocos. B) afloramento em base de morro onde ocorrem falhas normais de direção preferencial NE-SW.....	82
Figura 26 –	A) Porção noroeste, norte e nordeste da serra do Tepequém destacando o basculamento de blocos; B) Esquema da encosta sudeste da serra apresentando falhas normais com basculamento dos blocos.....	84
Figura 27 –	Esquema representando a porção central da serra do Tepequém, onde se encontra os morros residuais, resultantes do basculamento de blocos por falhas normais.....	85
Figura 28 –	Esquema apresentando área de baixo morfoestrutural na serra do Tepequém, com estrutura tipo graben, constituindo a porção da superfície aplainada, evidenciando o basculamento de blocos por falhas com direção preferencial NE-SW.....	86
Figura 29 –	Mapa geomorfológico da serra do Tepequém apresentando os modelados que constituem as forma de relevo na serra.....	88
Figura 30 –	Morfologia de relevo referente à Escarpa de Recuo de Falha, com destaque para o nível de dissecação e estrutura correlacionadas, como zonas de cisalhamentos que condicionam a escarpa.....	90
Figura 31 –	Panorama da escarpa de recuo de falha da serra do Tepequém (porção sudeste). No primeiro plano, se observa a vertente abrupta e no segundo plano, a escarpa da face sul.....	91
Figura 32 –	Encostas íngremes que bordejam a serra do Tepequém, constituindo os setores mais elevados da serra. A) Encosta noroeste; B) Encosta nordeste; C) Encosta sudeste, a mais representativa destas, com cerca de 1.120 metros.....	93
Figura 33 –	Panorama de morros e colinas alinhados nas proximidades do igarapé Cabo Sobral, setor norte da serra. A) Orientação preferencial dos morros em direção NE-SW e em destaque morfologia das vertentes. B) Detalhe para o topo côncavos em cristas alinhadas dos morros e depósitos de colúvios na base destes.....	95
Figura 34 –	A) Panorama de morros residuais apresentando topo convexo com cristas retilíneas; B) no destaque o alinhamento destes morros na direção ENE-WSW.....	96

Figura 35 –	Esquema referente ao arranjo estrutural dos morros residuais alinhados na serra do Tepequém, com detalhe para as morfologias orientadas com direção preferencial NE-SW.....	97
Figura 36 –	A) Morros residuais com orientação NE-SW, vertentes côncavo-convexas e depósito de pedimentos na baixa encosta, no detalhe a presença de voçoroca; B) exemplos de morros com as mesmas características (morro da Antena) e C) morro do Entorno, com topo convexo com cristas alinhadas.....	98
Figura 37 –	Panorama dos vales encaixados das drenagens no topo da serra do Tepequém, constituindo um grande vale em forma de “U”. No detalhe, leito do igarapé Cabo Sobral.....	99
Figura 38 –	Morfologia da planície intermontana, no topo da serra do Tepequém, com detalhe para o arranjo estrutural que condiciona o relevo. Em detalhe, evidencia-se a planície entre os morros residuais e as encostas íngremes.....	100
Figura 39 –	Panorama das planícies intermontanas no topo da serra do Tepequém, a exemplo da localizada nas proximidades do igarapé Cabo Sobral (A) e Igarapé Paiva (B).....	101
Figura 40 –	Detalhe de uma feição erosiva linear (voçorocas), no topo da serra do Tepequém, evidenciando o controle estrutural marcando a paisagem da planície intermontana.....	102
Figura 41 –	A) Inversão da bacia sedimentar, por meio de esforço transpressivo dextral gerando suaves dobras; B) Esforço distensivo promovendo falhas normais e basculamento de blocos e C) Superfície erosiva representando a serra do Tepequém, evidenciando os processos atuantes no modelado atual.....	105
Figura 42 –	A) Escarpa de Recuo de Falha; B) Encosta íngreme, bordejada pela escarpa de falha, fortemente abrupta; C) Morros Residuais Alinhados; D) Cadeia de morros orientados em direção NE-SW e E-W; E) Vales encaixados e D) Planície Intermontana, destacando a grande área aplainada encaixada entre as encosta e os morros residuais.....	107

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	REFERÊNCIAL TEÓRICO.....	17
1.1.1	Abordagem Geossistêmica na Análise da Paisagem	17
1.1.2	O Conceito de Morfoestrutura	21
1.1.3	Aplicação de Geotecnologias para a Análise Geomorfológica e Morfoestrutural	24
2	OBJETIVOS	29
2.1	OBJETIVO GERAL.....	29
2.1	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	29
3	MATERIAIS E MÉTODOS	30
3.1	LOCALIZAÇÃO E ACESSO.....	30
3.2	FISIOGRAFIA DA ÁREA DE ESTUDO.....	32
3.2.1	Geologia	32
3.2.2	Geomorfologia	35
3.2.3	Vegetação	37
3.2.4	Hidrografia e Clima	37
3.2.5	Solos	39
3.3	MATERIAIS UTILIZADOS.....	40
3.4	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	43
3.4.1	Coleta de Dados em Campo	43
3.4.2	Processamento e Fotointerpretação de Imagens de Sensores Remotos	44
3.4.3	Análise Morfoestrutural	50
3.4.4	Mapeamento Geomorfológico	55
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	57
4.1	PROCESSAMENTO E FOTOINTERPRETAÇÃO EM PRODUTOS DE SENSORIAMENTO REMOTO.....	57
4.1.1	Dados Altimétricos e de Declividade	57
4.1.2	Produtos Integrados Tridimensionais	62
4.1.3	Produtos Integrados Multifontes	65

4.1.4	Perfis Topográficos.....	67
4.2	ANÁLISE MORFOESTRUTURAL.....	69
4.2.1	Análise Estrutural.....	69
4.2.2	Mapeamento e Compartimentos Morfoestruturais.....	79
4.3	COMPARTIMENTAÇÃO GEOMORFOLÓGICA.....	87
4.3.1	Escarpa de Recuo de Falha.....	90
4.3.2	Encostas Íngremes.....	92
4.3.3	Morros Residuais Alinhados.....	94
4.3.4	Vales Encaixados.....	99
4.3.5	Planície Intermontana.....	100
4.4	ORIGEM E EVOLUÇÃO DA PAISAGEM DA SERRA DO TEPEQUÉM.....	103
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	108
	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	110

1 INTRODUÇÃO

A região Amazônica é considerada como uma importante área de estudo que engloba uma gama de pesquisas relacionadas a várias ciências. Em um contexto geográfico, esta região se destaca pelo seu esplêndido mosaico de paisagens. A porção setentrional desta região apresenta em especial, uma riqueza de paisagens singulares, como a região da Gran Savanna, onde ocorrem morfologias de relevo caracterizadas por um extenso planalto, que formam um grande divisor de águas entre as bacias dos rios Orenoco e Amazonas. Dentre estas elevações destacam-se os relevos tabulares, caracterizados por montanhas em forma de grandes mesas escarpadas com topo aplainado, conhecidos regionalmente por *tepuis* (BRICEÑO e SCHUBERT, 1990; PICCINI, 1995), como o Monte Roraima, serra do Tepequém e serra Uafaranda.

Neste contexto, o estado de Roraima é marcado por uma diversificação de paisagens que se destaca em relação a outras regiões da Amazônia brasileira. Áreas planas, serras, florestas e savanas, se destacam formando um panorama característico da região. Neste cenário se destaca a paisagem da porção norte do estado, constituída por unidades de relevo que podem atingir cerca de 2.700 metros de altitude. Estes relevos, que segundo Franco, Del'arco e Rivetti (1975); IBGE (2005) estão inseridos na unidade morfoestrutural Planalto Sedimentar Roraima, e segundo Costa (2008), estão estruturados em rochas sedimentares do Supergrupo Roraima, sendo compostos essencialmente, por arenitos e conglomerados de idade Paleoproterozóica (SANTOS *et al.* 2000).

Dentro deste panorama constituído por variadas paisagem em Roraima, apresenta-se com grande importância a serra do Tepequém, localizada na porção norte do Estado, no município de Amajari. Atualmente, o local é considerado um dos principais atrativos turísticos de Roraima, devido a características únicas em sua paisagem, que ressaltam sua beleza cênica, como mirantes em encostas íngremes, onde se pode observar várias morfologias

regionais, cachoeiras e corredeiras além de morros e colinas que se destacam nesta paisagem. Porém, o uso desta paisagem vem ocorrendo desde os anos de 1930, pois nesta época iniciou-se a exploração do garimpo diamantífero, provocando mudanças na paisagem local, como o desmatamento e assoreamento da drenagem local.

No caso específico da serra do Tepequém, estudos de caráter geológico e geomorfológico, evidenciam a origem e evolução do modelado de seu relevo, dada sua importância no cenário regional (GUERRA, 1957; BORGES e D'ANTONA, 1988; FRAGA, REIS e PINHEIRO, 1994; BESERRA NETA, 2008; FERNANDES FILHO, 2010; ALMEIDA, BESERRA NETA e TAVARES JÚNIOR, 2011). Na literatura atual, a serra é considerada como um relevo tabular, cujas altitudes máximas alcançam 1.100 metros. Porém em seu topo, a paisagem predominante é constituída por áreas aplainadas, formato alongado e limitadas por morros residuais e encostas íngremes, o que diferencia seu modelado em relação aos demais relevos regionais (BESERRA NETA, COSTA e BORGES, 2007; BESERRA NETA; NASCIMENTO e TAVARES JÚNIOR, 2012).

Com o avanço de pesquisas atuais e de novas tecnologias para o mapeamento, através de um conjunto significativo de técnicas de geoprocessamento em ambiente de Sistema de Informação Geográfica (SIG) e utilização de imagens de sensores remotos orbitais, identifica-se no topo da serra do Tepequém uma diversificação nas formas de relevo. As técnicas de sensoriamento remoto e de geoprocessamento se fazem essenciais para a composição de diversos mapas temáticos e facilitam a compreensão dos estudos de morfogênese, variação de relevo e de uma forma geral, estudos espaciais e ambientais de uma região.

Diante destas impressões, julga-se relevante um estudo mais específico para o mapeamento morfoestrutural e geomorfológico, no caso da serra do Tepequém, a fim de melhor caracterizar as morfologias de relevo, diferenciadas das feições geomorfológicas tabulares regionais, importantes na configuração regional do relevo do norte de Roraima, propondo uma nova classificação

morfológica para o Tepequém, levando em consideração à história tectônica regional.

Portanto, este estudo tem como finalidade a interpretação e o mapeamento de feições morfoestruturais na serra do Tepequém, através de técnicas fotointerpretativas em imagens de sensores remotos e produtos integrados multifontes, a fim de caracterizar as feições geomorfológicas, que formam esta paisagem. A compreensão dos processos morfoestruturais atuantes na construção e sustentação dessas formas de relevo, constitui-se em um passo importante para o entendimento da evolução da paisagem local.

A análise morfoestrutural é um parâmetro na identificação das principais estruturas geológicas que constituem o esqueleto das formas de relevo atuais. De acordo com Araújo, Yamamoto e Madrucci (2003), o mapeamento morfoestrutural procura, através de padrões de drenagem e dos lineamentos estruturais (drenagem e relevo), traçar flexuras do terreno derivadas de processos geológicos, principalmente os tectônicos e de acordo com García-Palomo *et al.* (2008), a análise e o mapeamento morfoestrutural é importante para interpretar todo o arranjo do relevo pelas estruturas geológicas (falhas, fraturas e dobras), que condicionam a modelagem da paisagem atual.

Neste contexto, a interpretação geomorfológica e morfoestrutural ganha com o incremento de outras metodologias e produtos tecnológicos, que segundo Valeriano (2008), são os modelos analíticos com planos de informações sobrepostos em ambientes de SIG's, que demandam a preparação de imagens digitais georreferenciadas.

Com o avanço das pesquisas atuais e a aquisição de dados espaciais, como a utilização de imagens de sensores remotos, são aplicadas técnicas fotointerpretativas para a identificação de fenômenos espaciais, neste caso o estudo de elementos geológicos e das formas de relevo através da utilização de técnicas de geoprocessamento em ambiente SIG's são de grande importância para o refinamento de estudos ambientais.

1.1 REFERÊNCIAL TEÓRICO

O conceito de paisagem vem permeado por várias linhas do conhecimento, e na ciência geográfica constitui um dos paradigmas que corroboram a natureza da geografia. Tendo em vista o entendimento da dinâmica da paisagem que constitui o relevo da serra do Tepequém, a abordagem geossistêmica inserida na discussão das concepções do conceito de paisagem na ciência geográfica faz-se necessária, auxiliando o desenvolvimento da pesquisa.

Em conjunto com estas concepções do conceito de paisagem, este estudo aborda um pressuposto teórico para a interpretação e compartimentação geomorfológica, sendo este o conceito de morfoestruturas, auxiliando do entendimento da evolução do relevo da serra do Tepequém, por meio de análise dos compartimentos morfoestruturais e processos associados, através da aplicação de geotecnologias.

1.1.1 Abordagem Geossistêmica na Análise da Paisagem

A paisagem se configura como um elemento conceitual formador dos paradigmas epistemológicos da ciência geográfica. Importante conceito-chave, a paisagem se configura como a junção dos demais conceitos desta ciência, como uma unidade espacial, englobando os aspectos físicos, socioeconômicos e ambientais que interagem entre si, constituindo a dinâmica dos elementos no espaço geográfico (TRICART, 1977; SCHIER, 2003; BERTRAND, 2004) .

Para Name (2010), o significado do termo paisagem pode ser interpretado de forma diferenciada, revelando não apenas a condição estática de um espaço observado por um sujeito (individual ou coletivo), que tem seus valores e crenças, mas também evidencia que a produção do espaço e a representação deste por estes sujeitos condiciona a produção de uma paisagem.

Neste contexto, as paisagens são temporais e espaciais, pois sempre resultam da observação e das ações das pessoas sobre o ambiente ao longo do tempo. Desta forma, Ferreira (2010), comenta que a paisagem é portadora de significados, expressando os valores, crenças, mitos, e utopias dos seres que habitam, assumindo uma dimensão cultural.

De acordo com esta perspectiva, o conceito de paisagem tem uma evolução no decorrer do aprimoramento da ciência geográfica. Desde as escolas geográficas, alemã e francesa, até à escola americana, tendo um consenso sobre a organização do conceito de paisagem.

A partir do século XIX, o cientista alemão Alexander Von Humboldt interessado na compreensão da natureza, deu início ao processo de sistematização da ciência geográfica, com os estudos do também cientista alemão Karl Ritter. Nestes estudos, associavam elementos diversos da natureza e da ação antrópica que contribuíram de certa forma para o entendimento da paisagem (*landschaft*) considerando suas relações entre os elementos modificadores (ação antrópica) e o meio modificado (SCHIER, 2003).

Seguindo esta temática, Schier (2003), comenta que o conceito de paisagem foi originalmente ligado ao positivismo, na escola alemã, e de uma forma mais estática, onde se focalizam os fatores geográficos agrupados em unidades espaciais. Já na escola francesa, o conceito foi trabalhado de uma forma mais dinâmica, levando em consideração o caráter processual. Segundo este autor, há uma conjunção de várias escolas de pensamento sobre a temática do conceito de paisagem. Neste contexto ele comenta que:

“A paisagem é uma determinada porção do espaço, resultado da combinação dinâmica dos elementos que o compõe, elementos físicos, biológicos e antrópicos que, reagindo dialeticamente uns sobre os outros, fazem da paisagem um conjunto único e indissociável que estão dispostos em perpetua evolução dentro de uma delimitação natural que se configura pelo espaço geográfico.” (SCHIER, 2003 p. 80)

A partir do século XX, os estudos realizados por Carl Sauer, deram impulso à interpretação da paisagem na visão da então criada escola americana. Este elege a paisagem como objeto único da geografia. Sauer (1998) comenta que a paisagem é dividida em dois grupos: as paisagens naturais seriam aquelas “virgens”, supostamente intocadas ou com pouca ação humana, enquanto as paisagens culturais, que seriam as que possuem a presença do homem como agente da paisagem natural.

Ainda segundo Name (2010), a paisagem guardou ao longo do tempo relativa estabilidade, que contraditoriamente reside em sua própria ambiguidade, sendo discutidas internamente diversas dicotomias, sendo estas física/humana, morfologia/cultura, trabalho/ideia, materialidade/imaterialidade, representações coletivas e valores individuais.

A paisagem pode ser identificada de acordo com estruturas bem definidas que ressaltam no meio físico. Para Rodriguez, Silva e Cavalcanti (2010), a paisagem é definida como um conjunto inter-relacionado de formações naturais e antroponaturais, podendo-se considerá-la como um sistema que contém e reproduz recursos, distribuídos em um meio onde há uma interação com o homem.

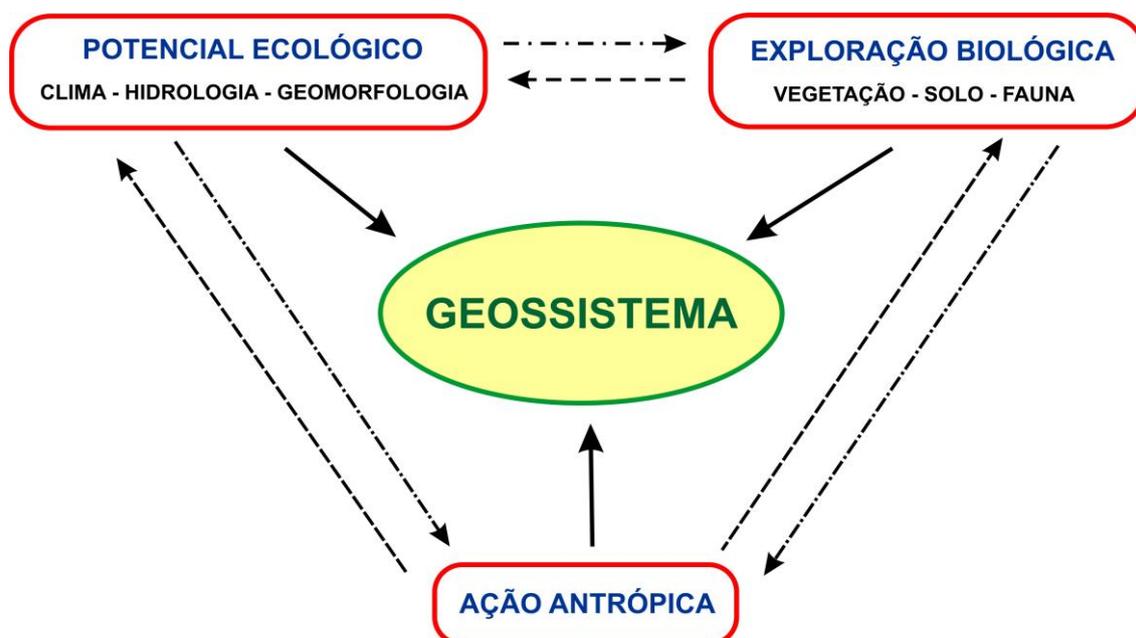
Dentro da perspectiva de análise integrada da paisagem, surge a abordagem geossistêmica, onde elementos estão integrados constituindo sistemas ambientais. A visão geossistêmica para o estudo da paisagem vem tendo grande influência para o entendimento da dinâmica dos processos que ocorrem neste espaço. Para Ferreira (2010), a perspectiva geossistêmica surge como uma importante alternativa para a orientação de pesquisas científicas acerca da dinâmica do meio físico contribuindo para o estudo de suas subdivisões e sua conexão entre natureza e homem.

Nessa linha, o autor comenta a importância da escola russa no entendimento sobre a interpretação da paisagem, através dos estudos do pesquisador da antiga União Soviética Victor Sotchava:

“A concepção de paisagem como uma totalidade dialética de base natural, foi desenvolvida principalmente na União Soviética, e posteriormente em outros países do mundo socialista (...) as interações dos fenômenos e a necessidade da construção socialista sustentada no planejamento centralizado, que precisava do conhecimento das unidades naturais integradas, para serem transformadas e dominadas”. (FERREIRA, 2010, p. 192)

Segundo nesta abordagem, Bertrand (2004), comenta sobre a relação entre a paisagem e a teoria geossistêmica (Figura 01). Segundo o autor, um geossistema é uma unidade dimensional compreendida entre alguns a centenas de quilômetros quadrados onde se situa a maior parte dos fenômenos de interferência entre os elementos da paisagem. Segundo este autor, a paisagem se insere em um contexto em que as interações entre os fenômenos e o meio são como um sistema de trocas de energia, constituindo um geossistema.

Figura 01 - Esquema representativo da definição teórica de Geossistema.



Fonte: Modificado de Bertrand (2004).

Nesta abordagem teórica, Schier (2003); Bertrand (2004); Maximiano (2004); Rosolém e Archela (2010); Rodriguez, Silva e Cavalcanti (2010); comentam que o geossistema está em estado de clímax quando há um equilíbrio entre o potencial ecológico e a exploração biológica e, com efeito, todos os fenômenos que nele ocorre, acabam constituindo um espaço geográfico que reflete estas interações, formando a paisagem.

Evoluindo nesta abordagem, surge a teoria da geoecologia da paisagem, onde se aborda as questões da paisagem ecológica integrada com os preceitos dos fenômenos que ocorrem no espaço geográfico. Segundo Rodriguez, Silva e Cavalcanti (2010), a geoecologia das paisagens é entendida como um sistema de métodos, procedimentos e técnicas de investigação, cujo propósito consiste na obtenção de um conhecimento sobre o meio natural, com os quais pode-se estabelecer um diagnóstico operacional.

Assim, Christofolletti (2010 p.39), comenta que dessa maneira, a paisagem, incluindo todos os seus fenômenos e processos, pode ser também considerada como um ecossistema. Desta forma, a geoecologia da paisagem, direciona-se para o estudo das relações entre indivíduos ou grupos de organismos em uma determinada área da superfície da terra, investigando as relações entre estes organismos e o espaço geográfico, formando uma paisagem.

1.1.2 O Conceito de Morfoestrutura

Na geomorfologia, a interpretação das atuais formas de relevo se baseia em uma abordagem que correlaciona os fatores endógenos, correlacionado zonas de cisalhamento crustais (falhas e fraturas) e exógenos correspondente aos processos geomorfológicos atuantes, contribuindo para o modelado atual da paisagem. Estes processos tem grande influência no arranjo do modelado da paisagem atual (THOMAS, 2001; BURBANK e ANDERSON, 2012).

Neste contexto, uma nova corrente de pensamento introduziu metodologias de estudo geomorfológico abordando não só os fatores externos, mas também os fatores internos como elementos chave na interpretação geomorfológica. Partindo deste princípio surge o estudo morfoestrutural e o termo morfoestruturas (HOWARD, 1967; DEMEK et al. 2007).

O conceito de morfoestrutura é trabalhado como um importante instrumento de identificação dos processos que constituíram a evolução das morfologias atuais na paisagem. Para Ollier (1988), as morfoestruturas são representadas pelas estruturas geológicas que sustentam a paisagem atual, constituída por corpos rochosos e estruturas associadas como falhas, fraturas e dobras, que constituem o esqueleto da paisagem.

Seguindo esta abordagem, de acordo com Corrêa et al. (2010), esta metodologia e nomenclatura desenvolvida por geomorfólogos russos e da Europa oriental, que a partir da década de 1940, passaram a designar como morfoestrutural os compartimentos de relevo definidos com base na interação entre distintos litotipos e modos tectônicos vigentes.

A introdução do termo morfoestrutura foi fundamental para um estudo mais detalhado dos elementos que condicionam o relevo. A partir de metodologias de análise geomorfológica, estudiosos russos e da Europa oriental, nos anos 1940, implementaram o termo morfoestrutura e a metodologia de análise morfoestrutural (MESCIERJAKOV, 1968; ROSS, 1992; CORRÊA et al. 2010). Desta forma foram elaboradas novas abordagens para estudos de origem e evolução da paisagem e seus constituintes.

Os geomorfólogos russos I. P. Guerassimov e J. A. Mescerjakov foram os principais precursores dos estudos morfoestruturais e morfoesculturais para a análise da origem e evolução da paisagem. Para estes autores, todo o relevo terrestre pertence a uma determinada estrutura que sustenta e mostra um aspecto escultural na constituição da paisagem atual.

Esta escultura é decorrente da ação do tipo climático atual e pretérito, atuantes do modelado da paisagem. A morfoestrutura e a morfoescultura definem situações estáticas, sendo considerados produtos da ação dinâmica dos processos endógenos e exógenos (ROSS, 1992).

Neste contexto, Guerassimov (1946), argumenta que as morfoestruturas são os elementos de ordem superior que constituem a morfologia de grandes áreas da superfície terrestre. Sendo estas condicionadas por forças tectônicas que modelam este esqueleto da paisagem. Este modelado é resultado da interação dos processos endógenos e exógenos, sendo os movimentos tectônicos (forças endógenas), predominantes.

Para Mescerjakov (1968), as morfoestruturas são consideradas as grandes unidades estruturais que constituem um esqueleto do modelado da paisagem atual, elaboradas a partir dos movimentos tectônicos. Para o autor, as principais formas de relevo e suas principais morfoestruturas são pré-determinadas pela heterogeneidade de forças tectônicas em que o relevo terrestre reflete os movimentos morfogenéticos que modelam o relevo atual (Figura 02).

Dentro desta análise, pode-se concluir que as morfoestruturas representam grandes unidades de relevo constituindo um esqueleto da paisagem atual, através de processos tectônicos pretéritos (tectônica) em conjunto com os processos exógenos que elaboram a paisagem atual.

Figura 02 – Quadro representado à concepção geral da classificação do relevo da Terra.

SUPERFÍCIE EM Km ²	ELEMENTOS MORFOESTRUTURAIS (MORFOTECTÔNICOS) DO RELEVO DOS CONTINENTES E FUNDO DOS OCEANOS	CATEGORIAS MORFOESCULTURAS DO RELEVO	
		CROSTA TERRESTRE	CROSTA OCEÂNICA
10,0 mi a 1,0 mi	Morfoestruturas: Morfoestruturas de 1ª ordem - massas continentais (incluindo a plataforma continental) e as depressões oceânicas	Zonas morfoesculturais (morfoclimáticas) : zona de morfoescultura ergogêna, glaciares, fluviais, áridas, etc.	Zonas morfoesculturais: zonas circumpolares e glaciares, zonas de latitudes temperadas, zonas tropicais e equatoriais...
1,0 mi a 100 mil	Morfoestruturas de 2ª ordem - regiões de planícies de base e zonas montanhosas (orogênese)		
100 mil a 1 mil	Morfoestruturas: Morfoestruturas de 1ª ordem - planaltos, regiões aplainadas, cadeias montanhosas, depressões de zonas montanhosas	Províncias morfoesculturais: províncias fluviais do mediterrâneo, províncias de erosão glacial, de acumulação...	
1 mil a 100	Morfoestruturas de 2ª ordem - marcas de movimentos tectônicos no relevo, depressões...	Regiões morfoesculturais: região de morros frontais, região de formas de relevo carstico	
100 a 10	Morfoestruturas de 3ª ordem - relevos elaborados em anticlinais, cúpulas, fossas tectônicas	Formas de relevo particulares, determinadas pelos fatores exógenos Vales fluviais, formas carsticas e outros.	Vales submarinos, formas de acumulação, formas de icebergs, e outros.
10 a 0,1	Microrelevo de origem tectônica, marcas de aóvio, diques, fraturas...	Pequenas formas de relevo de origem exógena Solos poligonais, pequenas marcas de minerais	

Fonte: Modificado de Mescerjakov (1968).

Para Leite e Brito (2012), todo o relevo pertence a uma morfoestrutura, que é a sua base de sustentação. Sobre as morfoestruturas encontram-se as morfoesculturas que são o resultado da ação climática atual e pretérita, que apresentaram diferentes resistências às ações climáticas, como por exemplo, diferente constituição litológica, arranjo estrutural, entre outros.

As morfoesculturas são unidades da paisagem específicas que estão correlacionadas com as características das forças exógenas atuantes na paisagem, que são o resultado da variação climática regional. Para Mescerjakov (1968), a definição das zonas morfoesculturais é atribuída aos fatores exógenos atuais, constituindo as variações climáticas ao longo da

superfície terrestre. A delimitação destas regiões morfoesculturais, segundo o autor, é determinada pela a variação das formas de relevo em conjunto com a variação das climáticas, pedológicas e geobotânicas.

Raj (2012) correlaciona a análise morfoestrutural como uma metodologia eficiente para o estudo da paisagem, onde pode-se identificar, através dos elementos de drenagem e relevo, o arranjo tectônico que condiciona as morfologias de relevo. Nesta temática, Araújo, Yamamoto e Madrucci (2003), comenta que a análise e o mapeamento morfoestrutural procura, através de padrões de drenagem e dos lineamentos estruturais (drenagem e relevo), traçar as flexuras do terreno derivadas de processos geológicos

1.1.3 Aplicação de Geotecnologias para a Análise Geomorfológica e Morfoestrutural

As geotecnologias surgem nos dias atuais como uma das principais ferramentas no estudo e análise de fenômenos ambientais. A produção e a reprodução do espaço geográfico e seus fenômenos envolvem um conjunto de processos técnicos e epistemológicos ainda mais articulados. A inserção das relações da sociedade com o ambiente onde vive, torna a procura por novos instrumentos conceituais e técnicos uma constante, em todas as áreas do conhecimento.

Neste sentido o avanço tecnológico vem se concretizando como uma influência positiva na pesquisa geográfica e está relacionado ao advento das geotecnologias, com especial destaque para extensos avanços na área do sensoriamento remoto.

Nesta discussão, Fitz (2008), comenta que as geotecnologias podem ser entendidas como as novas tecnologias ligadas às geociências e correlatas, as quais trazem avanços significativos no desenvolvimento de pesquisas, em ações de planejamento, em processos de gestão, manejo e em tantos outros aspectos relacionados à estrutura do espaço geográfico.

Dentro deste contexto, destaca-se o termo geoprocessamento, que denota a disciplina do conhecimento que utiliza técnicas matemáticas e computacionais para o tratamento da informação geográfica (ROSA, 2005) que vem influenciando de maneira crescente as áreas de cartografia, análise de recursos naturais, transportes, comunicações, energia e planejamento urbano e regional.

As ferramentas computacionais para geoprocessamento, chamadas de SIG's, permitem realizar análises complexas, ao integrar dados de diversas fontes e ao criar bancos de dados georreferenciados e esses recursos geotecnológicos essenciais para os estudos ambientais.

Nessa temática, o sensoriamento remoto é uma dessas novas geotecnologias que segundo Florenzano (2008), é a tecnologia de aquisição, à distância, de dados da superfície terrestre, isto é, por meio de sensores instalados em plataformas terrestres, aéreas ou orbitais (satélites) que auxilia estudos e análises mais detalhadas dos fenômenos identificados na superfície terrestre. Em qualquer ciência, o surgimento de novas técnicas não é importante em si mesmo, mas porque estimula o progresso científico.

A geomorfologia que é a ciência que estuda as formas de relevo, através de sua gênese, composição (materiais) e os processos atuantes no desenvolvimento do relevo e da paisagem atual, utiliza as geotecnologias como uma grande ferramenta para este estudo mais detalhado.

Florenzano (2008), afirma que pelo fato do relevo ser geralmente bem destacado em fotografias aéreas e imagens de satélite, bem como pela disponibilidade de dados multitemporais que possibilitam o estudo de processos morfodinâmicos atuantes no modelamento da paisagem e complementa que a ciência geomorfológica é uma das mais bem sucedidas pela tecnologia de sensoriamento remoto, expandindo seus horizontes à medida que essa tecnologia avança.

A fotointerpretação, que esta inserida dentro das categorias de análise do sensoriamento remoto é de grande valia para a análise geomorfológica, pois segundo Santos *et al.* (2000), a necessidade de se considerar o sistema sensor

mais adequado, as melhores bandas espectrais entre as disponíveis, os mais adequados ângulos do azimute e de elevação (ou de incidência) da iluminação, a melhor época do ano em termos de, por exemplo, teor de umidade do solo, vigor de vegetação e cobertura de nuvens, a decisão entre as análises estereoscópicas ou monoscópicas e por fim, a organização de um conjunto de conhecimentos que permitem a análise lógica das imagens digitais, apresentando procedimentos fotointerpretativos voltados para as geociências, no caso a geomorfologia.

Atualmente, a geomorfologia dispõe de uma variedade de dados e técnicas de sensoriamento remoto que fornecem níveis de informação sem precedentes.

Os avanços tecnológicos dos novos sensores remotos, segundo Florenzano (2008), produzem imagens com melhor resolução espacial, espectral, radiométrica e temporal, além do recurso estereoscópico, permitem ao geomorfólogo mapear, medir e estudar uma variedade de fenômenos geomorfológicos. Esses dados permitem visualizar o espaço geográfico em três dimensões e, com o uso de SIG, obter, de forma automática, variáveis morfométricas (altitude, declividade, orientação de vertentes etc.) que são essenciais nos estudos geomorfológicos (VALERIANO, 2008).

No campo da fotointerpretação, Santos *et al.* (2000), comenta que as novas metodologias de fotointerpretação geológica, neste caso sendo incorporada a geomorfologia e análise morfoestrutural, que levam em consideração as características dos conjuntos de dados obtidos, integrados digitalmente em um imagens de sensores remotos, constituindo produtos, como mapas temáticos específicos.

A interpretação geomorfológica e morfoestrutural ganha com o incremento de outras metodologias e produtos tecnológicos, que segundo Valeriano (2008), são constituídas por operação e modelos analíticos com planos de informações integrados em SIG, o que demanda a preparação de imagens digitais georreferenciadas referente as áreas estudadas.

Na geomorfologia, o uso conjugado dos atributos da forma, composição e origem na identificação de entidades tende a minimizar a possibilidade de geração de erros de inclusão e exclusão na criação de classificações geomorfológicas, não sendo razoável, entretanto, afirmar que suas ocorrências sejam impossíveis ou mesmo improváveis, desta forma, utiliza o campo do geoprocessamento para suas atribuições.

Seguindo este raciocínio, Silva (2000) comenta que para o geoprocessamento e para a modelagem ambiental em geral, a possibilidade de uma descrição eficiente do espaço geográfico é de importância capital, propiciando, em princípio, validade para correlações e classificações destas unidades, pela sua baixa ou inexistente variância interna.

Este apoio tecnológico/metodológico oferecido pelo geoprocessamento é o fator que o qualifica como um poderoso agente de criação de pontes entre as concepções teóricas, como é a visão sistêmica, e que para Silva (2000):

“O estudo do geoprocessamento é remetido como um ramo do conhecimento intensamente aplicável às investigações ambientais, em geral, e geomorfológicas. O crescimento dos conhecimentos geomorfológicos pode advir de investigações de processos atuantes ou de suas evidências de atuação anterior, e pode também originar-se de estudos idiográficos, matriz de muitos avanços da ciência geomorfológica. O conhecimento não deve ser ignorado.”

O fato de que o progresso da geomorfologia pode também advir de investigações que sejam projetadas com o uso de modelos sistêmicos traduzíveis em modelos digitais do ambiente, a serem trabalhados por geoprocessamento. Conseqüentemente pode-se afirmar que o geoprocessamento, operando sobre SIG's, constitui uma base das mais adequadas para a moderna investigação geomorfológica.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Analisar e classificar as formas de relevo que compõe a paisagem da serra do Tepequém e sua história evolutiva, através da identificação e mapeamento de unidades morfoestruturais, utilizando técnicas fotointerpretativas e de geoprocessamento com uso de imagens de sensores remotos, dados altimétricos e de campo.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Para que a proposta seja alcançada se fará necessário o desenvolvimento dos seguintes objetivos específicos:

- Realizar e aplicar técnicas de geoprocessamento para a obtenção de mapas temáticos específicos para análise morfoestrutural e geomorfológica, importantes produtos para a classificação das formas de relevo local.
- Realizar o tratamento de imagens de sensores remotos, como operações que atenuem os efeitos atmosféricos e as distorções geométricas, além de operações de realce, a fim de se obter uma imagem de qualidade visual, adequada às aplicações de técnicas de integração digital entre dados multifontes em ambientes de Sistemas de Análises de Imagens Digitais;
- Desenvolver etapas para a fotointerpretação do meio físico, em imagens de sensores remotos, através do método lógico sistemático, estudando os elementos texturais da paisagem (relevo e drenagem), a fim de interpretar o arranjo tectônico estrutural que condiciona os compartimentos geomorfológicos;
- Analisar, através de trabalhos práticos de campo e em laboratório, diferenciações da paisagem local a fim de compreender sua evolução, destacando suas características diferenciadas na paisagem regional.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

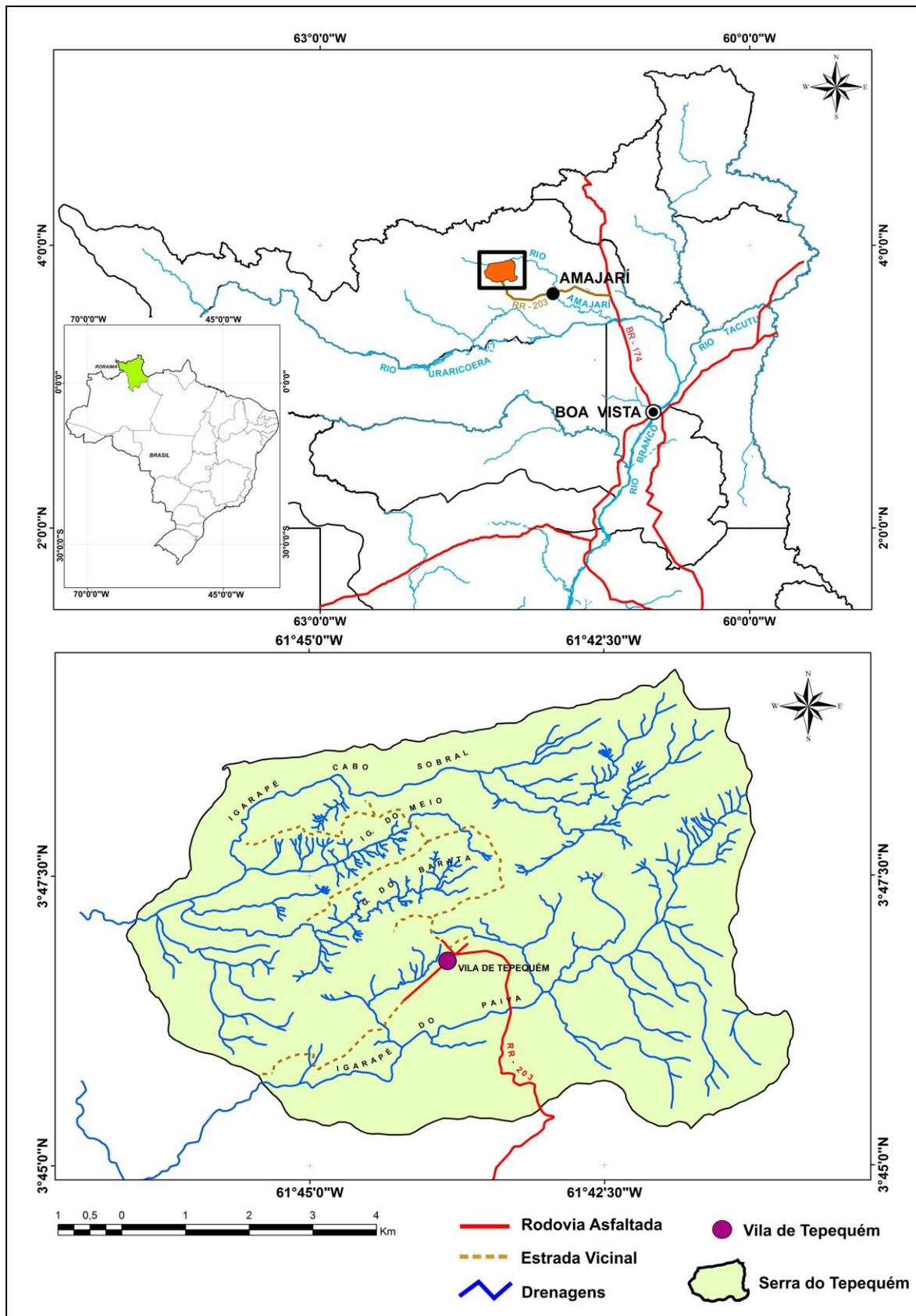
A partir desta seção, serão abordadas as características fisiográficas da área estudada e sua localização e posteriormente, os materiais utilizados, tais como dados bibliográficos, cartográficos, imagens de sensoriamento remoto e dos procedimentos metodológicos adotados, na intenção de facilitar a compreensão e interpretação dos resultados.

3.1 LOCALIZAÇÃO E ACESSO

A serra do Tepequém, objeto de estudo desta pesquisa, está localizada na porção norte do estado de Roraima, mais precisamente, na região centro-norte do município de Amajari, no interior do quadrante limitado pelas coordenadas $03^{\circ}50'14''\text{N}$ e $61^{\circ}41'48''\text{W}$ e $03^{\circ}43'34''\text{N}$ e $61^{\circ}39'21''\text{W}$ (Figura 03), ocupando uma área equivalente a 70 km^2 .

O acesso para serra do Tepequém é feito pelas rodovias BR-174 e RR-203, totalizando um percurso cerca de 220 km, a partir da cidade de Boa Vista, capital do estado, sentido norte.

Figura 03 - Mapa de localização e sua situação regional da serra do Tepequém, com destaque para a rede de drenagem no topo da serra.



Fonte: O autor.

3.2 FISIOGRAFIA DA ÁREA DE ESTUDO

A seguir serão discutidos os aspectos fisiográficos da paisagem que compõe a serra do Tepequém tais como geologia, geomorfologia, hidrografia, clima e solos.

3.2.1 Geologia

Grande parte do conhecimento litoestratigráfico da serra do Tepequém deve-se, inicialmente, a Borges e D'Antona (1988), que realizaram um estudo mais acurado de sua estratigrafia e mineralização associada. Todo o pacote litológico do maciço do Tepequém foi correlacionado à Formação Arai do Supergrupo Roraima (bloco Pacaraima), tendo sido subdividido nos membros Paiva (basal), Funil e Cabo Sobral, em que suas principais litologias são constituídas por conglomerados, arenitos, siltitos e argilitos.

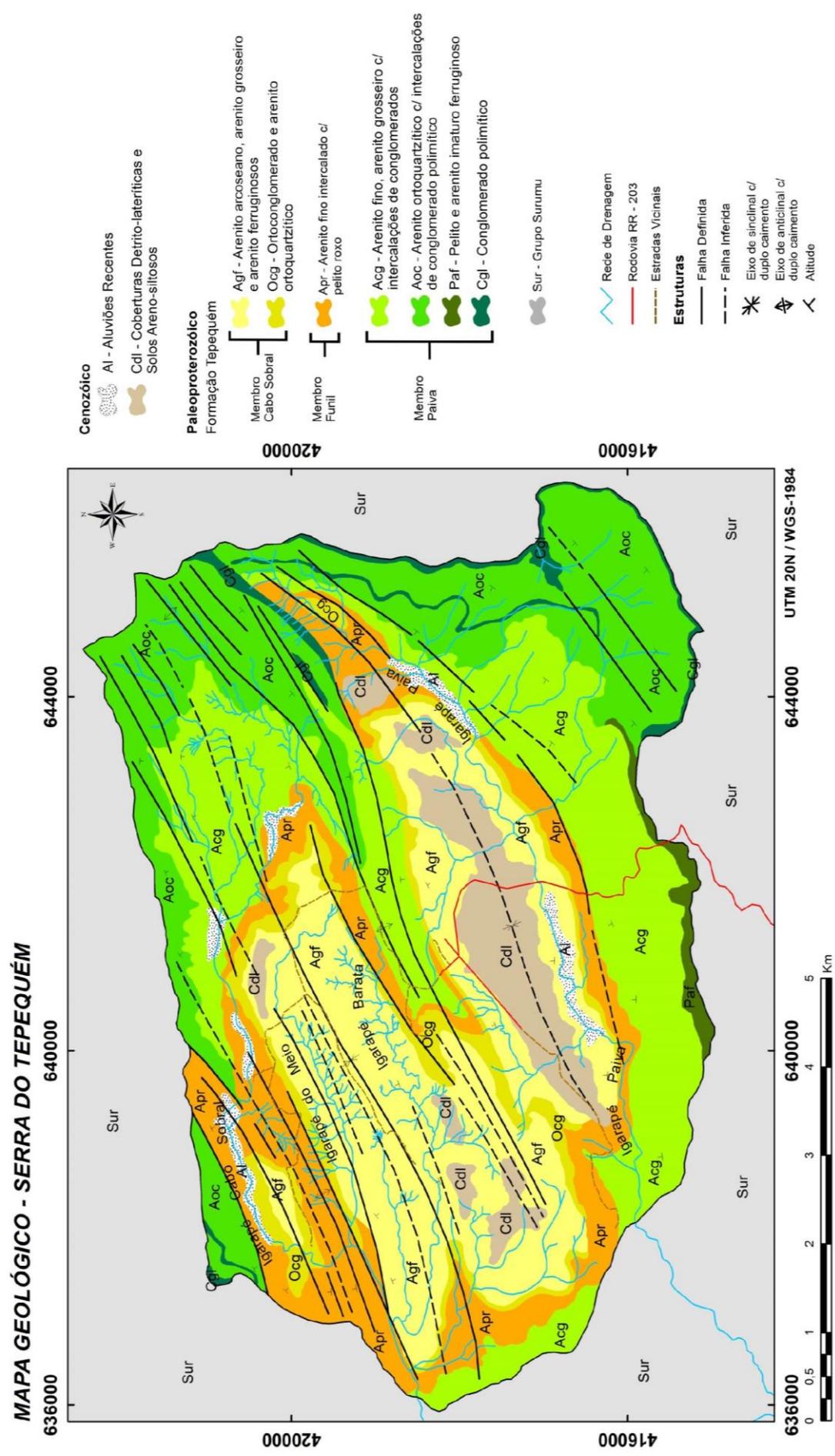
CPRM (1999) designou o termo Formação Tepequém para representar esta sequência sedimentar, mantendo-se as subdivisões propostas por Borges e D'Antona (1988), as quais encontram-se sobrejacentes ao substrato rochoso, representado por vulcânicas ácidas (riólitos, riodacitos, ignimbritos e piroclásticas) e intermediárias (andesitos e latitos) do Grupo Surumu. O mapa geológico (Figura 04) mostra a distribuição geográfica dos litotipos e das principais estruturas.

Fraga, Reis e Pinheiro (1994); CPRM (1999); Beserra Neta (2008) e Fernandes Filho (2010) apresentaram estudos referentes aos processos de origem e evolução da bacia sedimentar do Tepequém. Contudo, é admitida uma idade paleoproterozóica para esta bacia, em razão do valor de 1.875 Ma obtido pelo método SHRIMP (Santos et al.2000) em ignimbritos intercalados no Supergrupo Roraima.

Estudos mais recentes correlacionam à deposição do pacote sedimentar que constitui a serra do Tepequém, como remanescente de estrutura em forma de caldeira vulcânica. Segundo Reis et al. (2009), a partir de análises preliminares, a deposição dos sedimentos esta associada a vulcanismo félsico explosivo, constituindo caldeiras vulcânicas basais.

A morfoestrutura da serra é caracterizada por um sinclínório assimétrico com eixo na direção NE-SW e caimento para SW, cortado por fraturas NW-SE e NE-SW, e subordinamente NNE-SSW, NNW-SSE e E-W, e as dobras, cujos eixos se dispõem paralelos e coincidentes às falhas são subdivididas em braquissinclinais e braquianticlinais assimétricos, abertos, de direção geral N75°E, cuja origem foi atribuída à compactação diferencial (FERNANDES FILHO, 2010).

Figura 04 – Mapa geológico apresentando as principais litologias e estruturas da serra do Tepequém



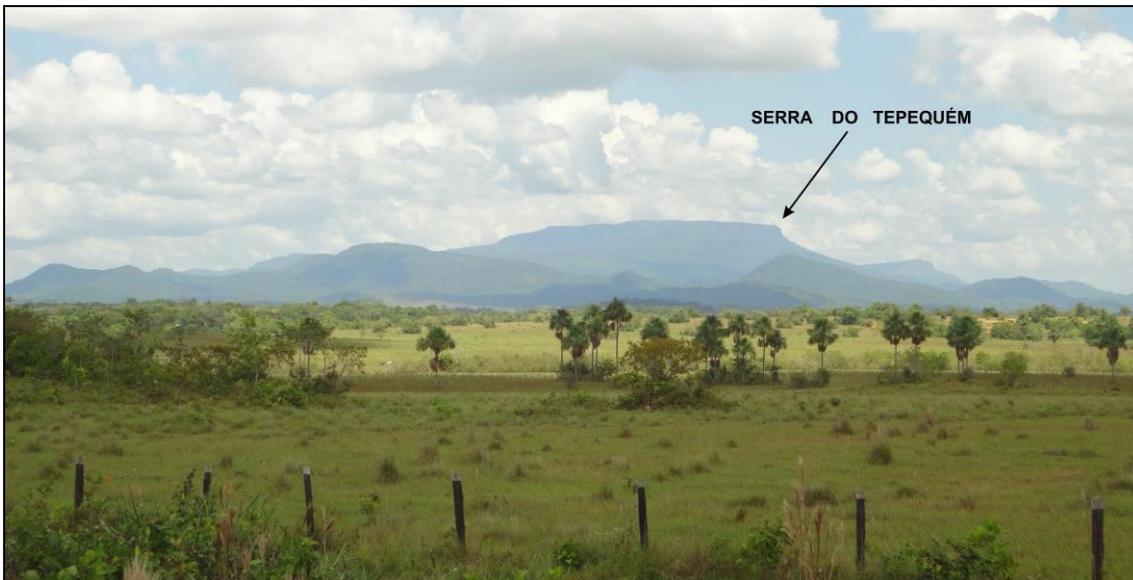
Fonte: Modificado de Borges e D'Antona (1988); Beserra Neta (2008); CPRM (2010); Fernandes Filho (2010)

3.2.2 Geomorfologia

A paisagem regional que compõe as áreas de entorno da serra do Tepequém é caracterizada por uma diversificação de formas de relevo (Figura 05). Ao norte é evidenciado um conjunto de relevos que compõem o Planalto do Interflúvio Amazonas-Orenoco (FRANCO, DEL'ARCO e RIVETTI, 1975) , que de acordo com Beserra Neta e Tavares Júnior (2008), caracterizam-se por formas dissecadas em cristas e colinas com vertentes ravinadas de forte declividade. Ao sul e a oeste, a serra é bordejada por relevos fortemente ondulados, formado por morros e colinas que compreendem o Planalto Dissecado Norte da Amazônia (FRANCO, DEL'ARCO e RIVETTI, 1975), apresentando cristas com encostas ravinadas e vales encaixados.

A extensa área aplainada, que antecede a serra, compõe o Pediplano Rio Branco-Rio Negro, descrita por Franco Del'Arco e Rivetti (1975), o qual compreende uma grande superfície de aplainamento com ondulações pouco acentuadas, que segundo Guerra (1957), é interrompida por inselbergs. As áreas onduladas são conhecidas como "tesos" e intercalam-se com áreas abaciadas, formando lagos que juntamente com os brejos e igarapés constituem o conjunto de corpos hídricos da região (MENESES, COSTA e COSTA, 2007; SILVA et al. 2009).

Figura 05 - Panorama da Serra do Tepequém e entorno ao fundo, bordejada por serras, morros e colinas, precedidas de uma extensa área aplainada.



Fonte: O autor.

O modelado que compõe a paisagem atual da serra do Tepequém apresenta uma variação de formas de relevo distintas que a difere dos relevos regionais. A serra caracteriza-se por morfologias diferenciadas que apresentam um desnível altimétrico entre 575 e 1.100 metros e escarpa erosiva de entorno elaborada predominantemente nas rochas da Formação Tepequém. Em seu topo, rugosidades destacam-se por serem constituídas por morros e colinas alinhados em direção preferencial NE-SW, com altitudes em torno de 760 metros e áreas aplainadas em relação a estes morros, apresentando altimetria entre 560 a 620 metros, sendo pertencente ao Planalto Sedimentar Roraima (FRANCO et. al. 1975; BESERRA NETA; COSTA; BORGES, 2007; NASCIMENTO; TAVARES JÚNIOR; BESERRA NETA, 2012).

3.2.3 Vegetação

A vegetação na região é caracterizada pela presença da floresta ombrófila densa, constituída de árvores de grande porte com copas frondosas que se estende pelas escarpas e encostas da serra. Em seu topo, se destaca as formações vegetais compostas por gramíneas intercaladas com formações arbustivas características da savana estépica aberta, nas áreas mais planas e savana estépica arbórea nas encostas e vales. Nas áreas de vales encaixados, ocorre a presença de uma floresta ombrófila densa, formando matas de galeria, devido à alta concentração de umidade das drenagens que cortam a serra (SILVA, 1997; IBGE, 2012).

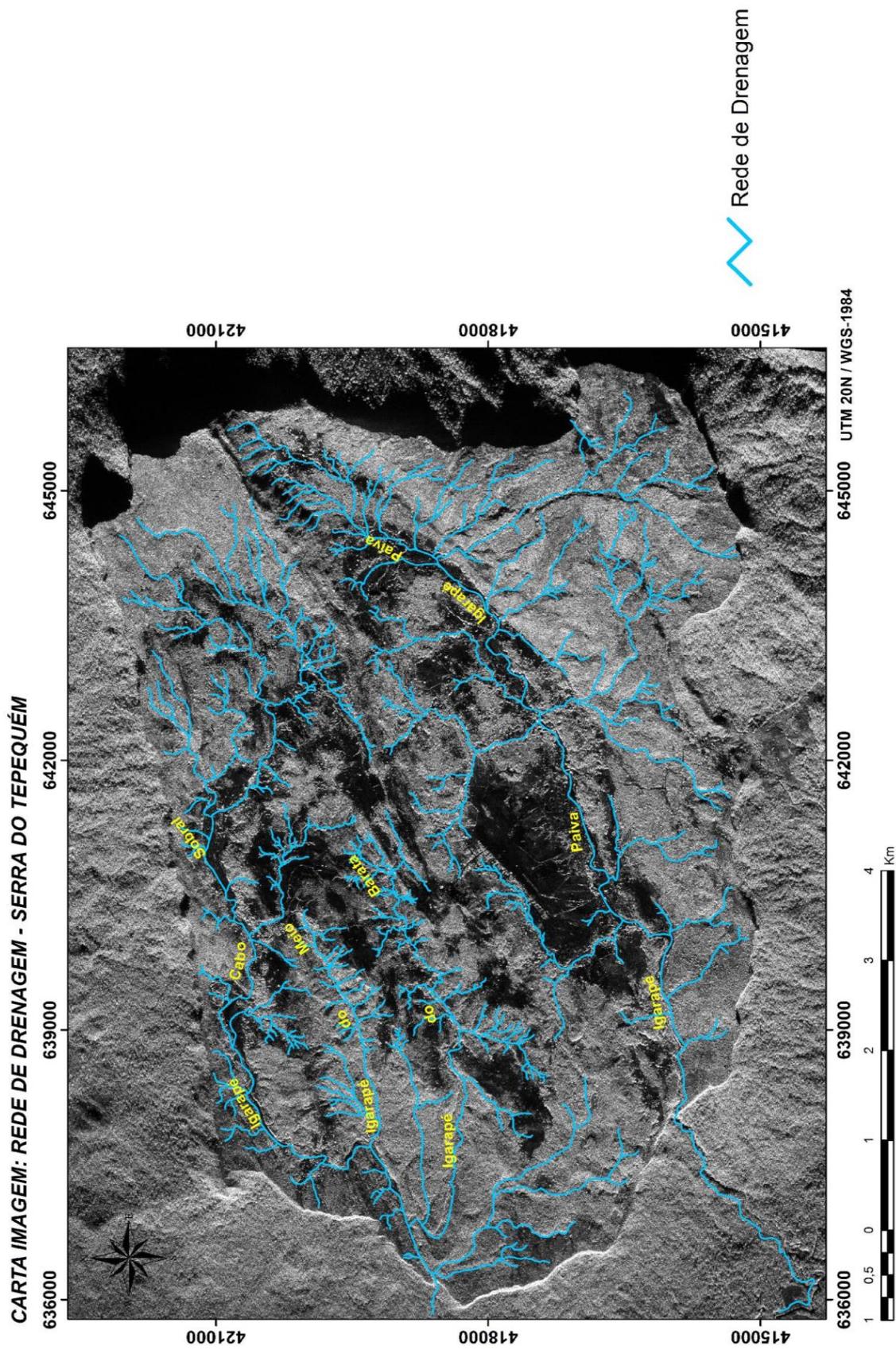
3.2.4 Hidrografia e Clima

A hidrografia na serra do Tepequém mostra forte adaptação ao arranjo estrutural. No topo, os igarapés (termo regional para pequenos rios e córregos) que cortam a serra apresentam-se encaixados em linhas de fraqueza crustal (falhas e fraturas).

Estas drenagens pertencem a bacia hidrográfica do rio Amajari, rio tributário da margem esquerda do rio Uraricoera, uns dos principais tributários do rio Branco.

As principais drenagens igarapés no topo da serra são constituídas pelos igarapés Paiva, Cabo Sobral, do Meio e Barata (Figura 06). As nascentes dos Igarapés Paiva e Cabo Sobral situam-se no setor E/NE. Ambas as drenagens atravessam a serra sobre as áreas de planície no sentido oposto a suas nascentes, adaptados a linhas de falhas e fraturas e seguem a direção ENE-WSW e projetam-se em quedas d' água nas escarpas W e SW, sendo estas formando cachoeiras imponentes de denominações homônimas (BESERRA NETA, 2008).

Figura 06 – Carta imagem SAR/SIPAM da rede de drenagem da serra do Tepequém, com detalhe adaptação das drenagens às linhas de fraqueza crustal (falhas e fraturas)



Fonte: O autor

Ao longo dos leitos dos igarapés Cabo Sobral e Paiva, ocorre a formação de aluviões, resultantes do intenso trabalho de erosão e deposição de material oriundo das encostas e morros residuais.

O clima que compreende a região da serra do Tepequém é caracterizado por ser quente e úmido, do tipo climático “Am”, segundo a classificação de Köppen, com precipitação média anual variando de 1700 à 2000 mm e temperaturas distribuídas entre 21°C a 24°C (BARBOSA, 1997; BESERRA NETA, 2008). Este tipo climático, segundo Evangelista, Sander e Wankler (2008), tem uma estação seca bem definida e chuvas freqüentes e bem distribuídas ao longo ano.

3.2.5 Solos

Os solos característicos na serra do Tepequém estão correlacionados com o processo de alteração das rochas sedimentares da Formação Tepequém. Caracteristicamente predominam solos rasos e incoesos, classificados como Neossolos litólicos distróficos, Neossolos quartzarênicos e Argissolos vermelho amarelo (BESERRA NETA, 2008; COSTA e BESERRA NETA, 2011; VALE JÚNIOR et al. 2011).

3.3 MATERIAIS UTILIZADOS

Para a realização desta pesquisa foi necessário à utilização de materiais distintos, que serviram como apoio as aplicações dos procedimentos metodológicos, tanto em campo como em laboratório.

Os materiais de cunho bibliográfico foram oriundos de artigos científicos e capítulos de livros referentes aos conceitos abordados tanto no referencial teórico, como para a construção dos procedimentos metodológicos aplicados.

Para auxiliar nos trabalhos práticos de campo e para a elaboração dos mapas temáticos foi utilizada a carta topográfica planialtimétrica na escala 1:100.000, referente a folha NA 20 X-A-III, MI-25, Vila de Tepequém, elaborada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (1983). Os dados geológicos foram obtidos a partir do mapa geológico na escala de 1:25.000 elaborado por Fernandes Filho (2010).

Em conjunto a estes dados, utilizou-se como suporte na confecção dos produtos cartográficos o Modelo de Elevação Digital – MDE, elaborados a partir de dados altimétricos da Missão Topográfica do Radar Shuttle – SRTM (Shuttler Radar Topography Mission), realizada pela NASA no ano de 2000 (RABUS et. al, 2003), e refinados com resolução espacial de 30 x 30 metros, fornecido pelo Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil – TOPODATA/INPE (VALERIANO, 2008), na escala de 1:250.000.

Os dados de sensoriamento remoto utilizados consistiram nas imagens ópticas dos satélites LANDSAT-5, sensor TM nas bandas 5, 4 e 3, órbita/ponto 233/57, e RESOURCESAT-1, sensor LISS-III, nas bandas 5, 4 e 3, órbita/ponto 311/72. Estas imagens foram fornecidas, sem custo, através da Divisão de Geração de Imagens do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – DGI/INPE. Em conjunto a estas, utilizou-se ainda a imagem óptica do satélite ALOS, sensor PRISM, sendo composta por uma única banda pancromática, adquirida com custo subsidiado do banco de dados do IBGE.

Em sinergia com as imagens ópticas, utilizou-se a imagem SAR (Synthetic Aperture Radar), modo de imageamento Quad L+X, banda L, obtidas pela plataforma aerotransportada a bordo da aeronave R-99B, fornecidas via solicitação ao Centro Gestor e Operacional do Sistema de Proteção da Amazônia/CENSIPAM. As imagens multipolarizadas estão divididas nas polarizações HH, HV, VH e VV.

As principais características dos dados de sensoriamento remoto podem ser identificados no quadro abaixo (Figura 07).

Figura 07 – Quadro representativo das principais características dos dados de sensoriamento remoto utilizados

Plataforma	Sensor	Data de Aquisição	Resolução Espacial	Ângulo de Elevação Solar/Incidência	Azimute de Iluminação
LANDSAT-5	TM	30/01/2010	30 x 30 m	52,01°	126°
REOURCESA T-1	LISS-III	29/03/2010	23 x 23 m	67,95°	89,54°
ALOS	PRISM	2009	2,5 x 2,5 m	–	–
R-99B	SAR/SIPAM	05/09/2004	3 x 3 m	45°- 80,5°	W – E

Fonte: O autor.

Para a aplicação dos procedimentos metodológicos tanto em campo como em laboratório, foram utilizados aplicativos computacionais e equipamentos específicos, a seguir descritos.

Para a obtenção das coordenadas geográficas dos pontos das feições geológicas e geomorfológica utilizou-se o aparelho GPS (Global Position System) Garmin, modelo GPSTMap 76CSx.

Para a medição de feições geológicas e geomorfológicas como direção e atitude das estruturas locais e declividade do terreno utilizou-se a Bússola de geólogo Brunton. Todos estes equipamentos foram cedidos pelo Instituto de Geociências – IGeo/UFRR.

Para os procedimentos de processamento de imagens de sensores remotos foi utilizado o aplicativo PCI Geomatics, versão 10.2. Na criação e manipulação do banco de dados georreferenciados e aplicação de técnicas de geoprocessamento utilizou-se os Sistemas de Informação Geográfica (SIG's) no ambiente dos aplicativos SPRING, versão 5.2 e ArcGis Desktop, versão 10. Estes aplicativos foram utilizados por meio do Laboratório de Geotecnologias do Núcleo Hydros/UFRR.

3.4 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Os procedimentos metodológicos aplicados a este estudo, visam realizar o entendimento do arranjo morfoestrutural e compartimentação geomorfológica na serra do Tepequém. Estes procedimentos estão subdivididos em dois níveis: trabalho prático e coleta de dados em campo e análise laboratoriais.

A análise dos dados coletados em campo em conjunto com os textos de referência dos conceitos teóricos e metodológicos, além da manipulação dos dados de sensoriamento remoto se desenvolveu em laboratório. Nesta etapa foram realizadas as operações de processamento e de técnicas de fotointerpretação das imagens digitais, que serviram como base para o referido mapeamento. A aplicação destes procedimentos metodológicos auxiliou a identificação das unidades morfoestruturais e compartimentação geomorfológica, sendo estes, objetos de estudo desta pesquisa.

3.4.1 Coleta de Dados em Campo

O trabalho prático de campo foi desenvolvido em duas campanhas distintas, sendo a primeira realizada no mês de setembro de 2011 e a segunda realizada em outubro de 2012. Na primeira campanha realizou-se a visualização das feições na paisagem a serem estudados, acesso a estas e localização dos principais pontos de estudo.

A segunda campanha de campo resultou na coleta de pontos cotados, com a descrição dos dados morfológicos e morfométricos da paisagem. Foram obtidas medidas de orientação de feições geológicas (falhas, fraturas) e aferição de atitude de camadas, em escala de afloramento (Figura 08).

A descrição morfológica da paisagem foi realizada por meio da identificação dos modelados constituintes do relevo local (vales, áreas aplainadas, morros e encostas e escarpa). Na descrição morfométrica, foram

coletados dados referentes à declividade das vertentes e orientação destas utilizando Bússola.

Figura 08 – Procedimentos de coleta de medidas em trabalho prático de campo. A) Utilização de Bússola para a medição da declividade ao longo da vertente; B) Aferição de atitudes e orientação de estruturas geológicas utilizando Bússola e marreta para coleta de amostras.



Fonte: O autor.

3.4.2 Processamento e Fotointerpretação de Imagens de Sensores Remotos

O procedimento metodológico para a interpretação dos dados referentes as morfoestruturas e dos compartimentos geomorfológicos da serra do Tepequém foi iniciado através dos procedimentos de fotointerpretação de

imagens digitais de sensores remotos óptico e SAR, além de modelagem do MDE.

O pré-processamento nas imagens de sensoriamento remoto ocorreu com a criação do banco de imagens. Neste procedimento as imagens TM e LISS-III foram agrupadas e recompostas seguindo a composição das bandas em pseudocolor, em conjunto com a imagem PRISM, em ambiente do software PCI Gematics. As imagens ópticas passaram por um rigoroso processo de tratamento que depende da correta aplicação de operações de processamento destinadas a atenuar os efeitos da interferência atmosférica e das distorções geométricas.

As imagens SAR/SIPAM passaram pelo mesmo processo, cujas polarizações HH, VV, VH e HV, foram incorporadas ao banco de imagens. Para as imagens SAR, foram utilizadas as polarizações HH e VV, pois obtiveram melhor resultado na visualização das feições estudadas, sendo mais adequadas para a área de estudo.

As técnicas de correção atmosférica têm como principal objetivo a implementação de métodos para a atenuação dos efeitos de espalhamento e absorção atmosférica. Seguindo este pressuposto, optou-se neste trabalho pela utilização do método de subtração do pixel escuro (CHAVEZ, 1988; TAVARES JÚNIOR, 2004), que consiste em uma técnica mais prática em que considera a média dos valores digitais (ND – Número Digital) de alvos selecionados, sendo estes corpos d'água limpa, sombras topográficas e de nuvens, que teoricamente teriam níveis de cinza igual à zero, mas em razão da interferência atmosférica, os referidos alvos possuem valor do ND diferenciado.

Posteriormente, foram avaliados os histogramas das imagens para que estas apresentassem valores de pixel nulos. Em seguida subtrai-se os NDs médios, obtidos para cada banda, dos níveis de cinza de todos os pixels da imagem da respectiva banda, obtendo-se assim as imagens com efeito atmosférico atenuado.

Para que seja realizada a atenuação das distorções geométricas nas imagens de sensoriamento remoto (ópticas e radar) foi executado o

georreferenciamento. Este método consiste na aplicação de um modelo matemático polinomial, calculados a partir da coleta de pontos de controle. O procedimento de georreferenciamento tem como base a aquisição de 15 pontos coletados, distribuídos de forma homogênea em toda a área estudada, através de imagens georreferenciadas do aplicativo Google Earth, com coordenadas UTM, Datum mundial WGS 1984. Os elementos usados como referencia para a correção geométrica nas imagens foram pontos de fácil visualização como cruzamentos de estradas, confluência de rios entre outros, bem como pontos coletados em campo.

Em seguida, a coleção de pontos foi organizada em pares de coordenadas na imagem através do emprego do polinômio de 3° de ordem, utilizando o programa Orthoengni, presente na plataforma PCI Geomatics. Posteriormente, utilizando o mesmo programa, com base no erro médio quadrático nas imagens (RMS) que foi considerado dentro da resolução espacial das imagens (Figura 09), foi aplicada o método de reamostragem por convolução cúbica, gerando um produto final que são as imagens georreferenciadas.

Figura 09 – Quadro representativo com o numero de pontos de controle coletados e os seus respectivos erros médios quadráticos (RMS).

PLATAFORMA/SENSOR	DATA DA PASSAGEM	PONTOS DE CONTROLE	ERRO MÉDIO QUADRÁTICO - PIXEL (RMS)
LANDSAT-5/TM	31/01/2010	15	0,21
RESOURCESAT-1/LISS III	29/03/2010	15	0,55
ALOS/PRISM	2009	15	0,90
R-99B/SAR-SIPAM	05/09/2004	15	1,0

Fonte: O autor.

Em conjunto com as imagens de sensoriamento remoto, foi utilizado como suporte nesta pesquisa o MDE-SRTM, reamostrado com resolução espacial de 30 x 30, fornecido pelo banco de dados geomorfométricos TOPODATA/INPE (VALERIANO, 2008). Os dados obtidos através da manipulação do MDE foram importantes para a construção dos produtos, pois proporcionou dados altimétricos e de declividade de excelente qualidade.

A metodologia de manipulação dos dados do MDE baseou-se nas propostas de Rabus et al. (2003); Carvalho e Latrubesse (2004); Silva e Rodrigues (2009), que realizaram a compilação de dados geomorfológicos e geomorfométricos. Seguindo esta premissa, a imagem representativa do MDE foi compilada e tratada em ambiente de SIG. Utilizando o pacote *Spatial Analyst*, da plataforma ArcGis, o modelo de elevação passou por ferramentas que extraíram dados referentes aos produtos utilizados como suporte a pesquisa, tais como o mapa altimétrico, mapa de declividade e imagens de texturas (sombreada).

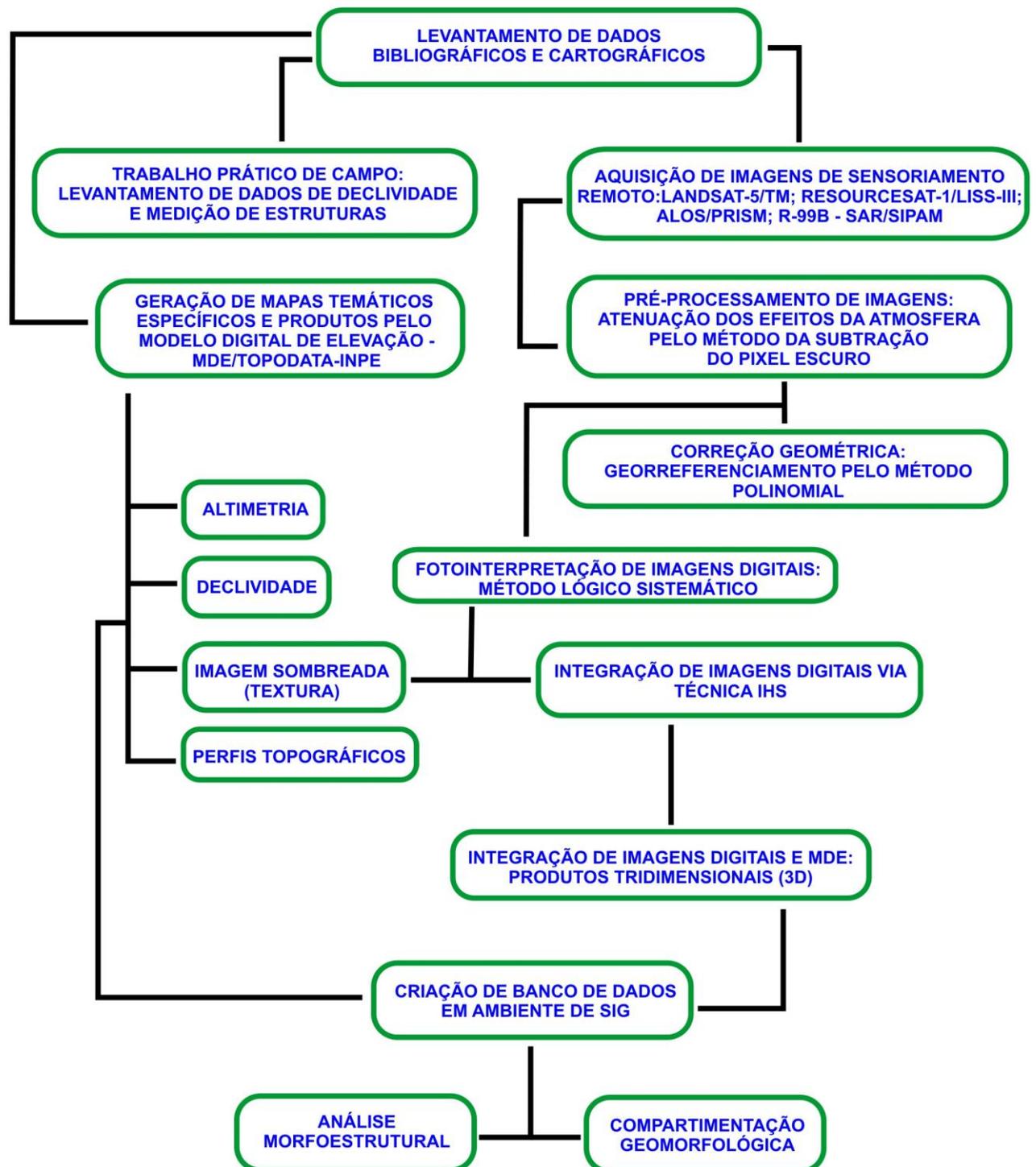
As imagens sombreadas são representações da rugosidade das morfologias da paisagem através do cálculo da variação altimétrica do terreno por meio de fator de realce deste (exagero). Portanto, foi gerada uma imagem sombreada, com um azimute de 135° (SE) e ângulo de iluminação de 30°, com exagero vertical de 3 vezes, sendo este o melhor produto para análise. O MDE também foi utilizado para a criação de perfis topográficos que são importantes para a compreensão das variações topográficas e determinação das unidades estruturais e compartimentos geomorfológicos.

Outra utilização do produto neste trabalho foi à manipulação deste em modelagem tridimensional (3D). Os modelos tridimensionais deram suporte para o entendimento da estrutura e morfologia da serra, sendo integrado com imagens TM e LISS-III, além do mapa altimétrico, através do programa ArcScene da plataforma ArcGis.

Posteriormente, a imagem sombreada foi integrada digitalmente com as imagens ópticas do LISS-III, através da fusão de imagem pela técnica de integração digital via IHS, para auxiliar na fotointerpretação de estruturas evidenciadas no local. A integração digital via IHS, segundo Madrucci, Veneziani e Paradella (2002); Tavares Júnior (2004), vem se tornando uma prática comum na análise de imagens digitais para fins de interpretação do modelado do relevo, proporcionando um produto que ressalta as variações da rugosidade da superfície na imagem sombreada, juntamente com as variações espectrais interpretadas nas imagens ópticas. Todos estes procedimentos fotointerpretativos em imagens digitais foram realizados utilizando os aplicativos PCI Geomatics, versão 10.2 e ArcGis, versão 10, no laboratório de Geotecnologias do Núcleo Hydros/UFRR.

Dentro do ambiente de SIG's, as imagens previamente tratadas foram integradas ao conjunto com dados obtidos em campo, formando um banco de dados que serviu de matriz para a elaboração de mapas e produtos específicos. Todo este procedimento metodológico pode se visualizado no fluxograma abaixo (Figura 10).

Figura 10 – Fluxograma metodológico da fase de processamento e fotointerpretação de dados de sensoriamento remoto.



Fonte: O autor.

3.4.3 Análise Morfoestrutural

A análise morfoestrutural realizada na serra do Tepequém tem como principal objetivo a identificação das feições tectono-estruturais que compõe a paisagem da serra, constituindo a sustentação das feições geomorfológicas atuais. As morfoestruturas são caracterizadas por estruturas pré-existentes identificadas a partir da análise e interpretação de informações básicas e propriedades texturais, como padrões de drenagem e feições de relevo.

As metodologias utilizadas como instrumento para a interpretação morfoestrutural baseiam-se em dois níveis: análise sistemática das propriedades texturais de drenagem e relevo (padrão de drenagem, arranjo estrutural) e identificação das unidades morfoestruturais por meio do traçado de linhas isomorfoestruturas. Tais procedimentos são descritos a seguir:

a) Análise sistemática das propriedades texturais – Neste procedimento é realizada a análise de forma sistemática das propriedades texturais que estão concordantes ao arranjo tectônico da paisagem com o auxílio das imagens das imagens de sensoriamento remoto, pode-se realizar a fotointerpretação destes e geração dos produtos. *A priori*, foi realizado o mapeamento da rede de drenagem local, no maior detalhe possível.

Neste contexto, a análise da rede de drenagem seguiu a metodologia proposta por Howard (1967); Defontaine e Chorowicz (1988), que considera padrões de drenagem, textura e anomalias de drenagem como ferramenta importante na fotointerpretação geológica, pois evidencia o arranjo desta e reflete as estruturas tectônicas que condicionam as morfologias de relevo. Neste caso, para o mapeamento da rede de drenagem utilizou-se a imagem óptica PRISM, que apresenta uma resolução espacial de 2,5 x 2,5 m e a imagem SAR/SIPAM, com resolução de 3 x 3 m.

A interpretação da rede de drenagem constituiu os dados iniciais para a aplicação da metodologia de lógica e sistemática de análise textural dos elementos da paisagem. Neste caso, a metodologia adaptada a este trabalho foi elaborada por Veneziani e Anjos (1982), para imagens ópticas e Santos et al. (2000), para imagens SAR. Estes autores abordam esta metodologia

introduzida no Brasil no final dos anos de 1960 e início dos anos 1970. Esta técnica, resulta na organização de conhecimentos que permite a análise lógica das imagens fotográficas e adaptadas as imagens digitais, apresentando procedimentos fotointerpretativos desenvolvidos de forma sistemática, codificada e lógica (SANTOS et al., 2000).

Seguindo este princípio, foi aplicado o procedimento de retirada do traçado das feições lineares de drenagem, que correspondem à interseção de planos estruturais (falhas, fraturas, foliações, dobras, acamamentos), com a superfície do terreno. Posteriormente, foram interpretadas as feições lineares de relevo representando os elementos texturais fortemente estruturados, retilíneos ou curvos, devido aos planos de falhas e fraturas. A extração das feições lineares de relevo, foi realizada sobre as imagens SAR e sombreada, delineando as quebras positivas e negativas do relevo.

A partir das feições lineares de drenagem e relevo, foram extraídos os lineamentos estruturais, que correspondem aos principais indicadores das estruturas planares de maior grandeza tais como zonas de cisalhamento dúcteis e rúpteis. Os indicadores cinemáticos foram obtidos através dos modelos propostos por Tavares Júnior (2004); Fernandes Filho (2010); Almeida (2012), para a interpretação do arranjo estrutural. Como ferramenta para o auxílio da interpretação destes lineamentos estruturais, foi elaborado o diagrama de roseta, representando a frequência absoluta das estruturas planares. Todos estes procedimentos fotointerpretativos e mapeamento destas estruturas foram realizados em ambiente de SIG's.

b) Unidades morfoestruturais por meio de isomorfoestruturas – Nesta fase de análise, o produto fotointerpretado com os lineamentos estruturais obtidos através das propriedades texturais de drenagem e relevo é incorporado a metodologia de delimitação das unidades morfoestruturais, condicionantes da paisagem local, através do traçado de isomorfoestruturas.

Esta metodologia de análise baseou-se nos estudos de Madrucci, Veneziani e Paradella (2002); Araújo, Yamamoto e Madrucci (2003), onde o mapeamento morfoestrutural procura, através de padrões de drenagem e dos lineamentos estruturais (drenagem e relevo), traçar as flexuras do terreno derivadas de processos geológicos. Prosseguindo por esta abordagem, o mapeamento morfoestrutural procurou a partir dos padrões de drenagem (assimetria e tropia) e dos lineamentos estruturais, traçar as flexuras do terreno derivadas de processos geológicos – linhas isomorfoestruturais.

O traçado das isomorfoestruturas, se deu a partir da geometria de drenagem, formas de relevo e dos lineamentos estruturais. Com base nestes elementos, levando em consideração a assimetria e tropia da rede de drenagem e das formas de relevo foram traçadas as linhas isomorfoestruturais, cujos valores foram postos de forma arbitrária (variando entre 10 – baixo morfoestrutural e 50 – alto morfoestrutural) que permitiu visualizar a conformação estrutural da área e indicar as regiões de alto e baixo morfoestrutural (Figura 11).

As linhas traçadas constituíram uma malha, gerando um Modelo Numérico de Terreno (MNT), e posteriormente, as informações constituíram um MDE usado para construir o produto com o arranjo morfoestrutural (ARAÚJO; YAMAMOTO e MADRUCCI, 2003), o qual permite uma melhor visualização da conformação estrutural interpretada. A geração do MNT e mapeamento morfoestrutural foi realizado em ambiente de SIG's.

Em conjunto com a interpretação do mapa morfoestrutural, foram construídos bloco diagramas representativos das morfoestruturas presentes no topo da serra do Tepequém. O procedimento metodológico abordado pode ser analisado no fluxograma esquemático da Figura 12.

Figura 11 - Linhas isomorfoestruturais, cotadas com valores arbitrários, para representação das unidades morfoestruturais na serra do Tepequém.

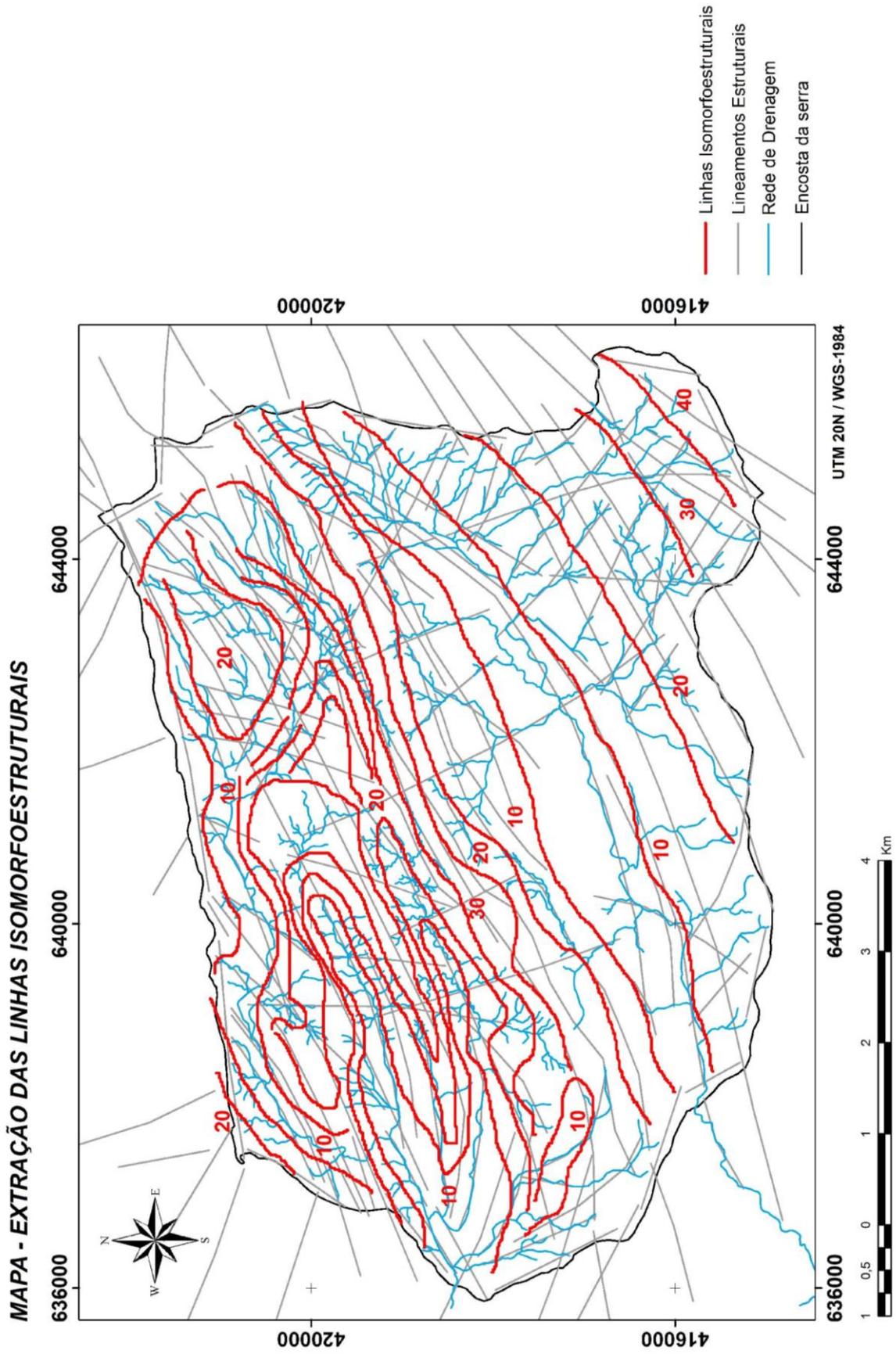
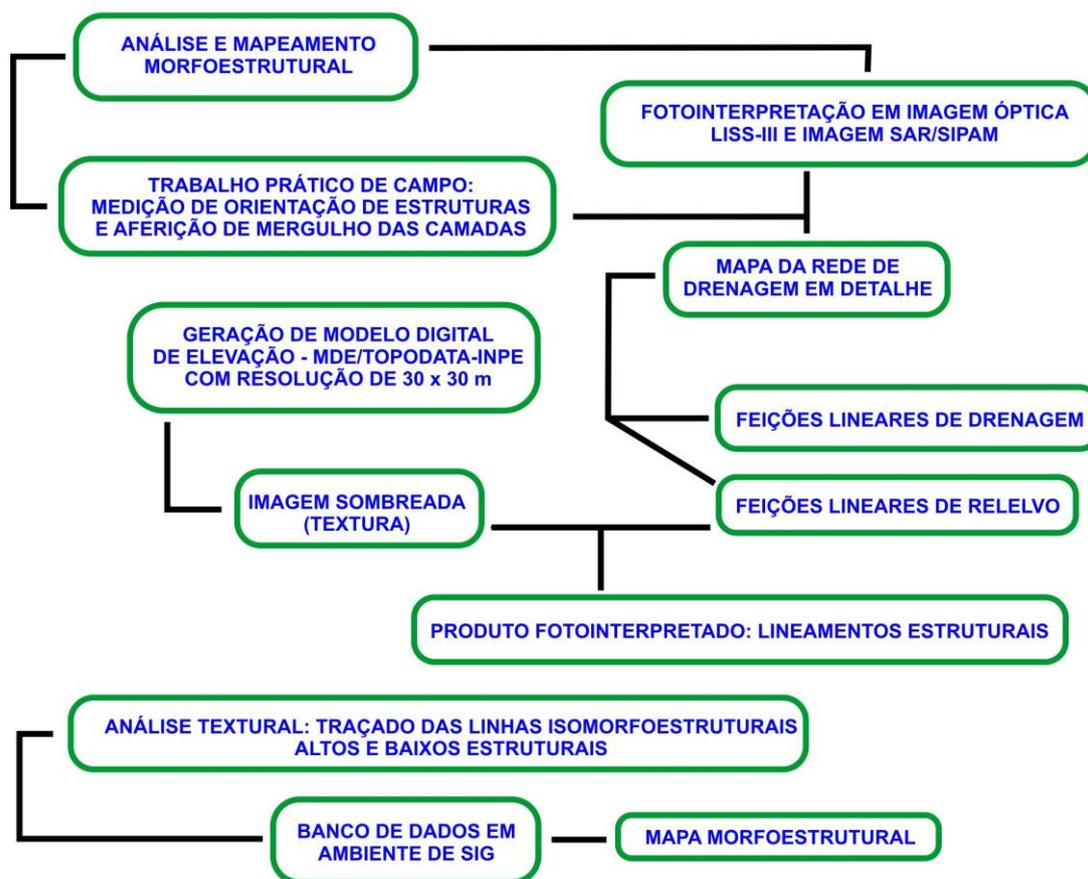


Figura 12 – Fluxograma metodológico da fase de processamento e mapeamento morfoestrutural



Fonte: O autor

3.4.4 Mapeamento Geomorfológico

A interpretação dos compartimentos geomorfológicos na serra do Tepequém tem como base a identificação e análise das unidades morfoestruturais em conjunto com metodologia proposta para o mapeamento geomorfológico.

Neste sentido, a metodologia utilizada baseia-se na classificação abordada por Ross (1985); (1992); Ross e Moroz (1996), que leva em consideração a formação do atual modelado do relevo através da interpretação do antagonismo entre os processos endógenos e exógenos, por meio dos estudos de Penck (1953), e utilizando os conceitos de morfoestruturas e morfoesculturas (GUERASIMOV, 1946; MESERJAKOV, 1968), por meio de imagens de sensoriamento remoto (ópticas e radar) para a subdivisão do relevo em seis táxons distintos – Unidade Morfoestrutural; Unidade Morfoescultural; Unidade Morfológicas ou de Padrões de Formas Semelhantes; Tipos de Formas de Relevo; Tipos de Vertentes e Formas Menores (processos atuais).

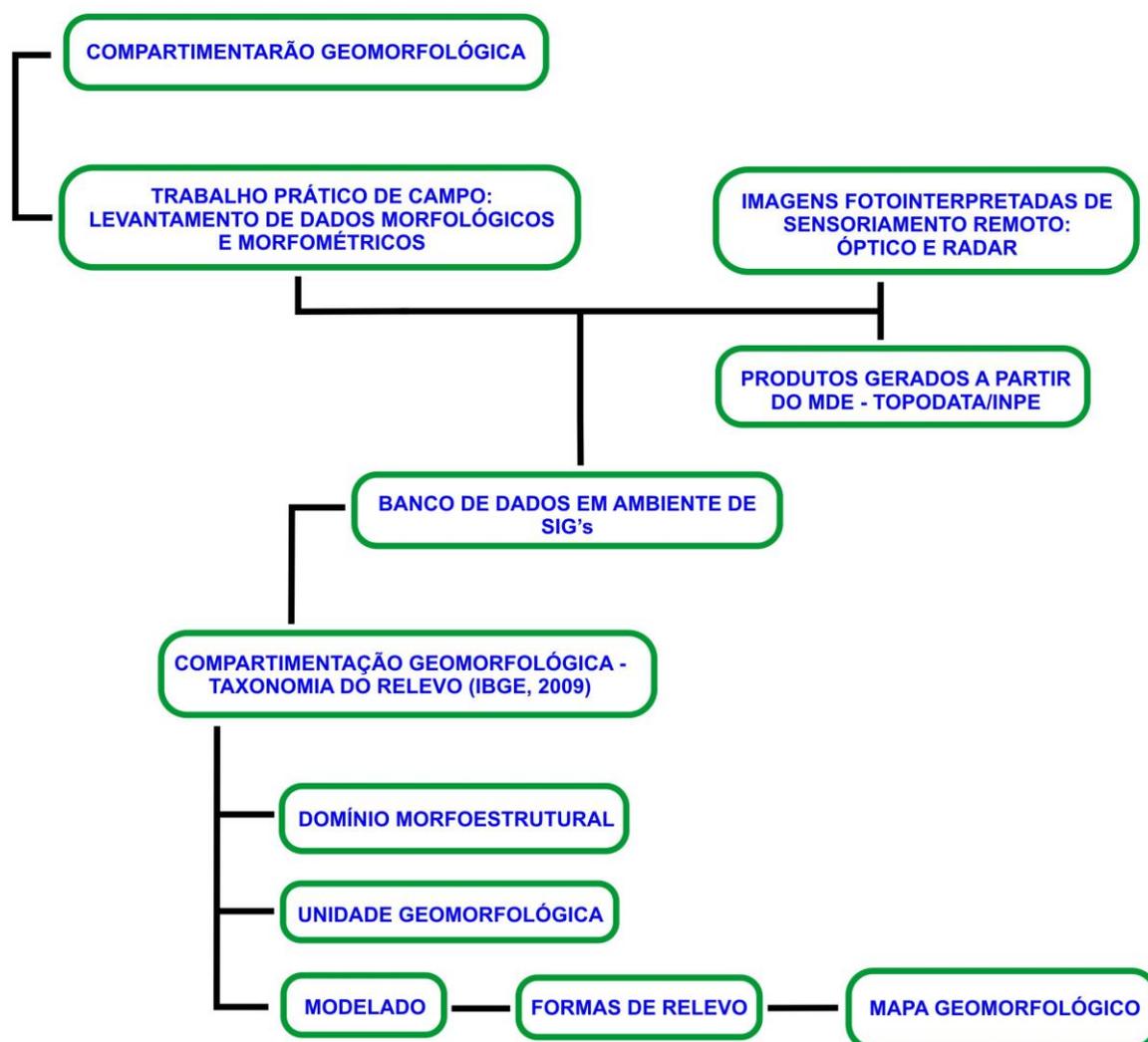
Atualmente, a metodologia mais utilizada como suporte para o mapeamento geomorfológico é baseada na proposta de IBGE (2009), que utiliza os pressupostos metodológicos de Ross (1992), cujo ordenamento dos fatos geomorfológicos se configura através do estudo dos modelados como unidade básica, subdividindo-se em quatro hierarquias de grandezas distintas – Domínios Morfoestruturais; Regiões Geomorfológicas; Unidades Geomorfológicas, Modelado e Formas de Relevos Simbolizados.

A metodologia utilizada neste estudo, baseou-se na proposta de IBGE (2009), porém adaptada de acordo com as características geomorfológicas da serra do Tepequém, tais como Domínios Morfoestruturais e Modelado já evidenciados em literaturas anteriores, a não abordagem da Região Geomorfológica, bem como a escala de trabalho, neste caso 1:50.000, para a geração do produto em ambiente de SIG's.

Desta forma, o mapeamento geomorfológico da serra do Tepequém levou em consideração o estudo do arranjo morfoestrutural, através da análise da rede de drenagem e interpretação dos lineamentos estruturais.

Os dados descritivos coletados em campo, morfometria e morfologia, da paisagem, serviram como referência no estudo do modelado do relevo, auxiliado pela coleta de pontos cotados, aferição de estruturas locais e declividade. A interpretação e subdivisão dos compartimentos geomorfológicos foram realizadas em ambiente de SIG's. O procedimento metodológico utilizado nesta etapa pode ser analisado no fluxograma esquemático (Figura 13).

Figura 13 – Fluxograma metodológico da fase de processamento e mapeamento geomorfológico.



Fonte: O autor.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 PROCESSAMENTO E FOTOINTERPRETAÇÃO EM PRODUTOS DE SENSORIAMENTO REMOTO

Por meio dos procedimentos de fotointerpretação em imagens de sensoriamento remoto e manipulação de MDE, para a interpretação inicial do modelado do relevo na serra do Tepequém, foram analisados produtos referentes aos dados de altimetria e declividade, além da integração de modelos tridimensionais (3D) com imagens ópticas. Em conjunto com estes dados, a interpretação de imagens digitais integradas, via técnica IHS, e a interpretação de perfis topográficos, evidenciam as características principais do modelado da paisagem da serra.

4.1.1 Dados Altimétricos e de Declividade

A partir dos procedimentos de manipulação de MDE, em ambiente de SIG's, obteve-se como produto inicial os dados referentes à hipsometria da serra do Tepequém, que reflete a variação das rugosidades da morfologia da serra.

O mapa altimétrico da serra do Tepequém (Figura 14) evidenciou características distintas que compõe a paisagem local. Em geral, a serra emerge em meio a patamares com altitudes apresentando em média de 200 a 350 metros de altitude, se destacando do entorno. As vertentes que bordejam a serra variam em altitudes entre 380 metros e próximo a 1.000.

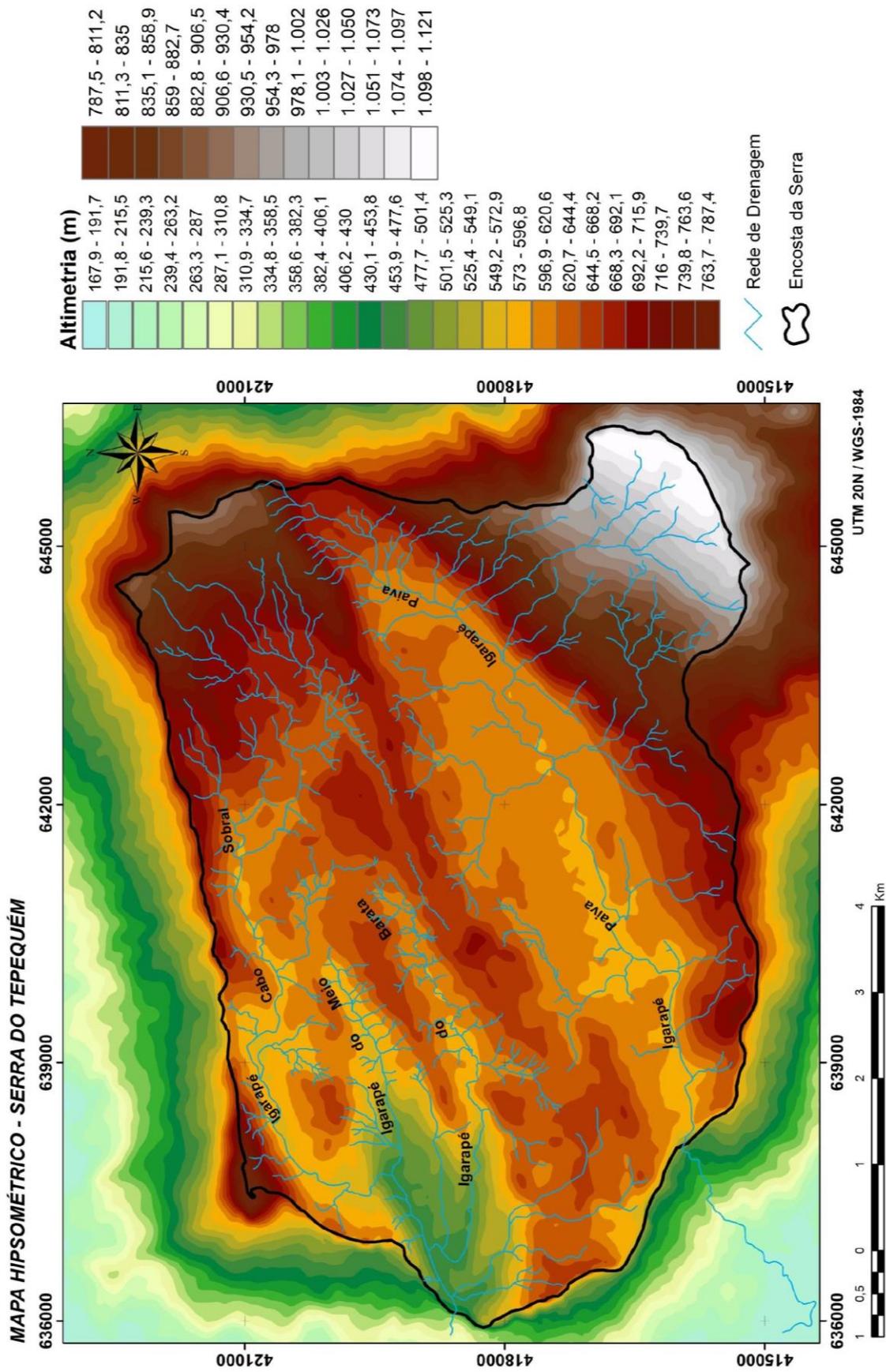
O topo da serra apresenta uma diferenciação altimétrica bastante relevante. A partir da análise do mapa altimétrico, identificou-se, próximo a encosta oeste, áreas rebaixadas apresentando uma variação entre 430 metros e 580 metros, resultante do entalhamento dos talwegues da rede de drenagem.

Na porção central da serra, ocorre à formação de resaltos, caracterizados pela formação de morros e colinas residuais, apresentando em média uma variação de altitude entre 590 e 780 metros, distribuídos ao longo da serra, estruturalmente orientados na direção ENE-WSW. Intercaladas com estes morros, ocorrem superfícies aplainadas, com altitude média de 590 metros, identificadas, sendo estas características nas áreas de entorno dos morros.

As feições mais representativas em relação à altimetria são as encostas que devido ao alto grau de dissecação, apresentam vertentes íngremes e bordejadas por escarpas abruptas. Na porção oeste e sudoeste apresentam uma variação altimétrica de 450 a 590 metros. As encostas noroeste, norte e nordeste caracterizam-se por ter uma altimetria entre 790 a 930 metros. A porção mais elevada da serra é representada pela encosta sudeste, que alcança 1.120 metros.

Neste contexto, evidencia-se uma amplitude altimétrica com cerca de 670 metros no topo da serra, desde as áreas mais rebaixadas com média entre 450 e 590 metros até as porções mais elevadas, como as encostas que atingem até 1.120 metros, o que resalta a variação das rugosidades constituintes nesta paisagem.

Figura 14 - Mapa hipsométrico da serra do Tepequém, apresentando a variação altimétrica para o topo da serra de cerca de 670 metros entre as áreas rebaixadas a as cristas de cimeira.



Fonte: O autor

A caracterização da declividade na serra do Tepequém foi obtida através de manipulação de MDE, em ambiente de SIG's, obtendo-se como produto o mapa de declividade da serra do Tepequém, refletindo a inclinação e rugosidade das feições de relevo para a serra, baseada na interpretação de Beserra Neta (2008); Almeida, Beserra Neta e Tavares Júnior (2011).

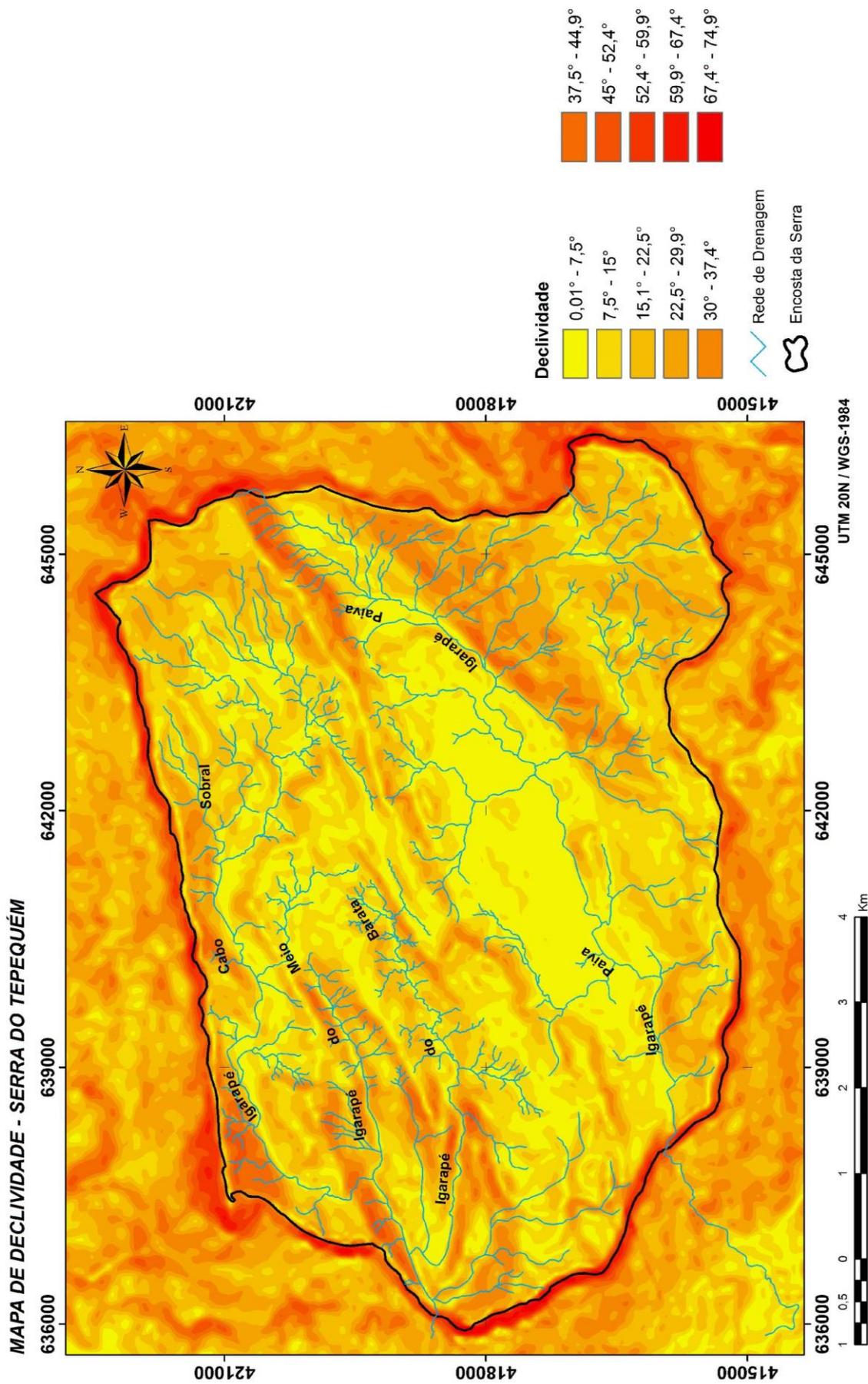
A interpretação do mapa de declividade (Figura 15) evidenciou que as rugosidades das feições de relevo condicionam a variação da declividade local. O setor que apresenta as declividades mais suavizadas representa as áreas aplainadas. Estas feições caracterizam-se por declividades superiores a 4°, podendo chegar até 7° de inclinação.

Os morros residuais consistem nas feições de relevo mais representativa apresentam, com declividades mais acentuadas. Na baixa e média vertente, apresentam inclinação média de 15° a 30°. Na alta vertente dos morros as declividades podem chegar a 40°, em determinados setores, chegam a serem superiores a 50°. A incisão da rede de drenagem em setores localizados contribui para declividades superiores a 40°, devido ao entalhamento do talvegue nestas drenagens.

As encostas, por serem feições de relevo mais elevadas, apresentam vertentes íngremes e declividade acentuada. Na baixa e média vertente, as declividades estão entre 35 a 40° de inclinação. Na encosta sudeste, a variação da declividade é diferenciada, pois esta é disposta em níveis distintos, em morfologia de patamares, evidenciando desníveis com declividade entre 25° e 40°, e setores com declividade inferior a 15° de inclinação.

As escarpas abruptas apresentam as maiores declividades, superiores a 70° de inclinação, pois estas determinam a quebra do relevo.

Figura 15 - Mapa de declividade da serra do Tepequém, mostrando a variação da rugosidade do relevo e o grau de inclinação das morfologias



Fonte: O autor

4.1.2 Produtos Integrados Tridimensionais

A manipulação do MDE proporcionou a integração de dados quantitativos referentes às irregularidades das formas de relevo que compõe a paisagem da serra do Tepequém. Dentre estas integrações destacam-se os produtos resultantes da integração digital entre as imagens de sensoriamento remoto com modelos tridimensionais (3D). Estas representações contribuíram com a caracterização das feições de relevo presentes.

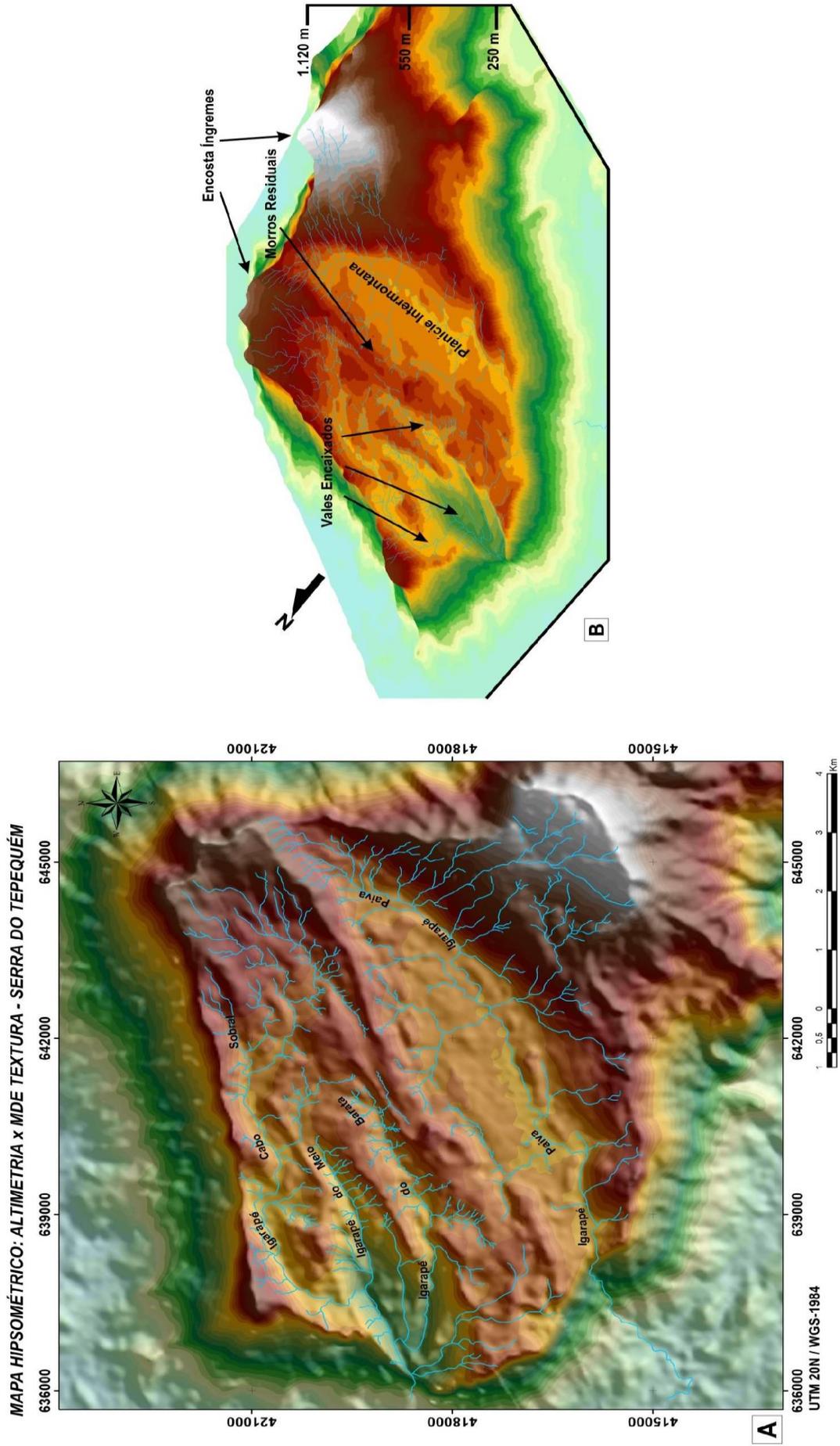
A imagem sombreada elaborada a partir do MDE evidencia a textura do relevo, com iluminação azimutal de 135° e ângulo de inclinação em 30°, integrado com o mapa hipsométrico, configurou-se em um excelente produto que mostra a correlação entre a variação altimétrica e a textura do relevo (Figura 16 A). A imagem apresenta o desníveis do relevo da serra do Tepequém em relação as áreas adjacentes.

A rugosidade no topo da serra é bastante nítida, pois se destaca as feições de relevo como áreas aplainadas intercaladas por morros e colinas residuais. Os diferentes níveis topográficos identificados podem ser analisados por meio do modelo tridimensional (3D), referente à altimetria da serra (Figura 16 B), destacando as principais feições de relevo distribuídas entre áreas aplainadas intercaladas por morros e colinas e vales encaixados, bordejados por encostas.

A integração entre as imagens do MDE e as do TM e LISS-III, representadas na forma de 3D mostraram também a notável rugosidade no topo da serra, resultante na evolução de variadas formas de relevo.

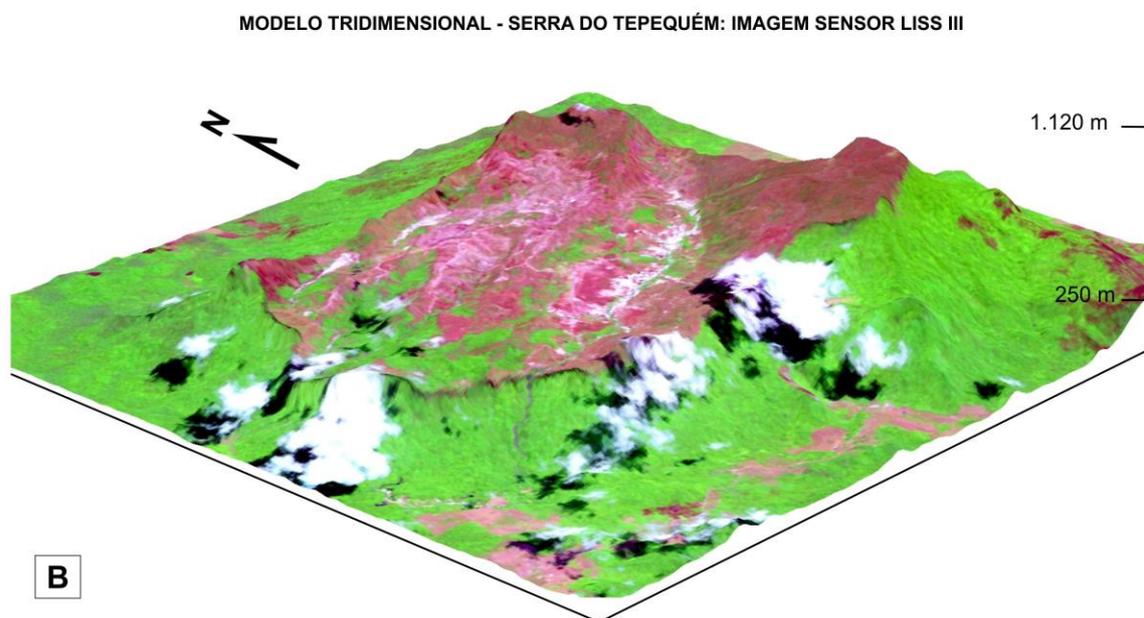
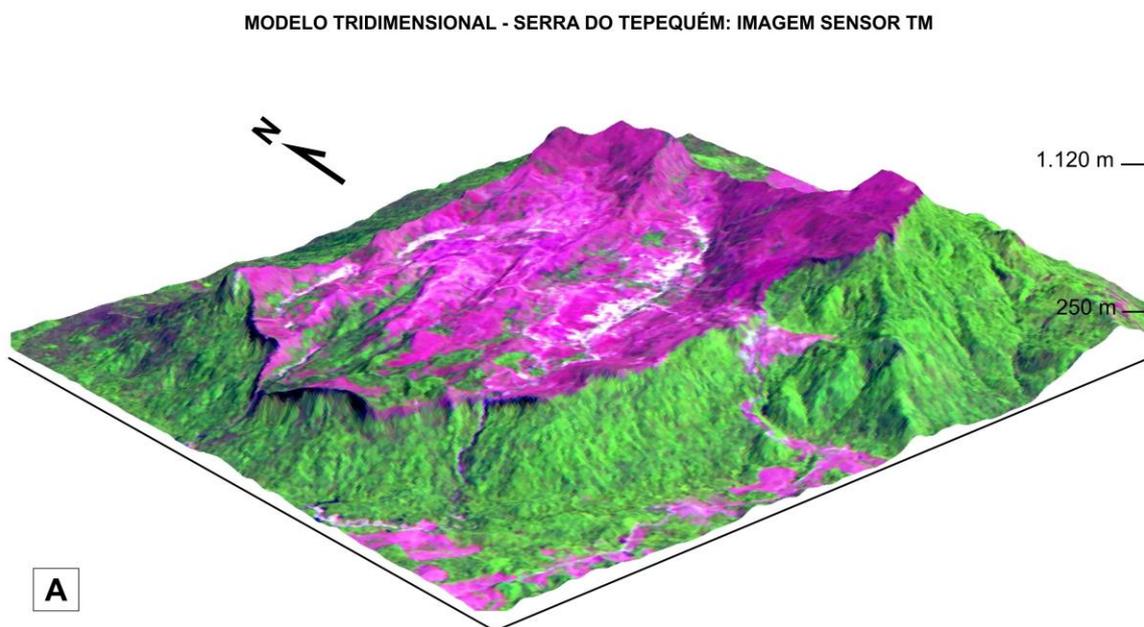
Os produtos fotointerpretados mostram a correlação espacial entre a textura e estrutura do relevo. O modelo tridimensional TM (Figura 17 A) denota a resposta referente ao nível de dissecação da paisagem e o arranjo das feições de relevo no topo da serra, enquanto o modelo tridimensional LISS-III (Figura 17 B) além de contribuir com a identificação destas feições de relevo, apresenta uma resposta da distribuição da morfologia.

Figura 16 - A) Mapa hipsométrico da serra do Tepequém integrado a imagem sombreada de relevo, evidenciando a textura e rugosidade topográfica na serra; B) Modelo tridimensional (3D) referente à altimetria da serra refletindo os diferentes níveis



Fonte: O autor

Figura 17 - Modelos tridimensionais integrados com imagens ópticas. A) Modelo tridimensional (3D) em imagem TM, apresentando a textura e estrutura das feições de relevo no topo e dissecação deste; B) Modelo tridimensional (3D) em imagem LISS-III, refletindo o as características das feições de relevo.



Fonte: O autor.

4.1.3 Produtos Integrados Multifontes

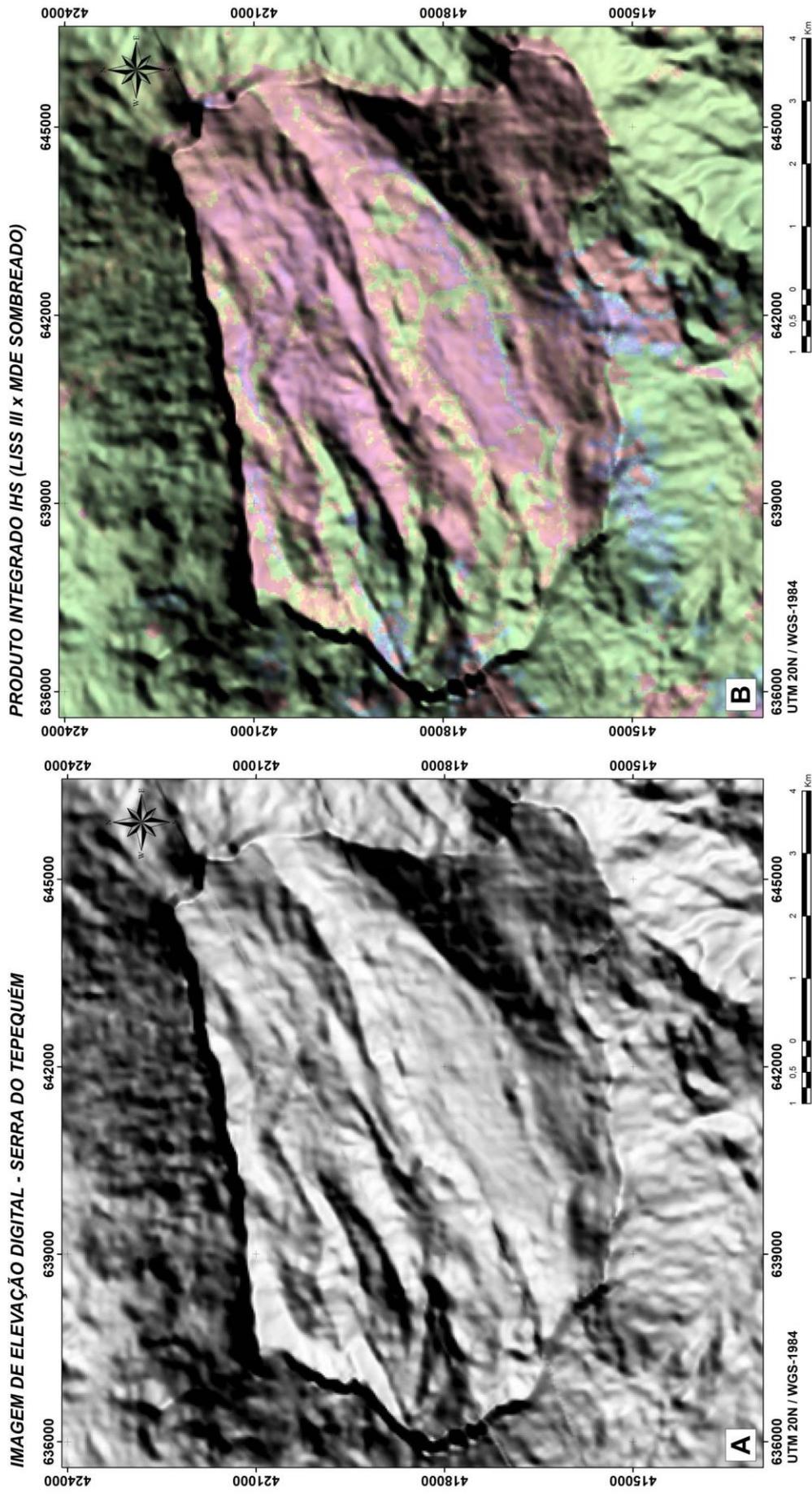
A interpretação da variação topográfica no topo da serra, utilizando produtos de sensoriamento remoto teve como auxílio a utilização de produtos multifontes, correspondentes as imagens digitais integradas via técnica IHS.

Neste contexto, a imagem sombreada de relevo, configurado com azimute de iluminação de 135° e ângulo de visada de 30° , foi importante para a identificação dos aspectos texturais, estruturais e topográficos do relevo (Figura 18 A).

O produto evidencia o arranjo da morfologia presente no topo da serra, tal como áreas rebaixadas, vales encaixados entre rugosidades, representada por morros e colinas e encostas representando escarpas abruptas. Em especial, os morros e colinas mostram notadamente o condicionamento ao arranjo estrutural e ao intenso processo de dissecação.

O produto digitalmente integrado entre as imagens LISS-III e sombreado de relevo (Figura 18 B), mostrou o condicionamento das rugosidades de relevo e drenagem com o arranjo estrutural (falhas e fraturas) de direção preferencial NE-SW.

Figura 18 - Produtos de sensoriamento remoto multifontes. A) Imagem do MDE representando o relevo sombreado, evidenciando a textura e estrutura do relevo da serra. B) Produto integrado via técnica IHS entre as imagens de relevo sombreado e a LISS-III, refletindo o arranjo das feições de relevo e rede de drenagem com a estrutura da serratopográficos no topo da serra.



Fonte: O autor

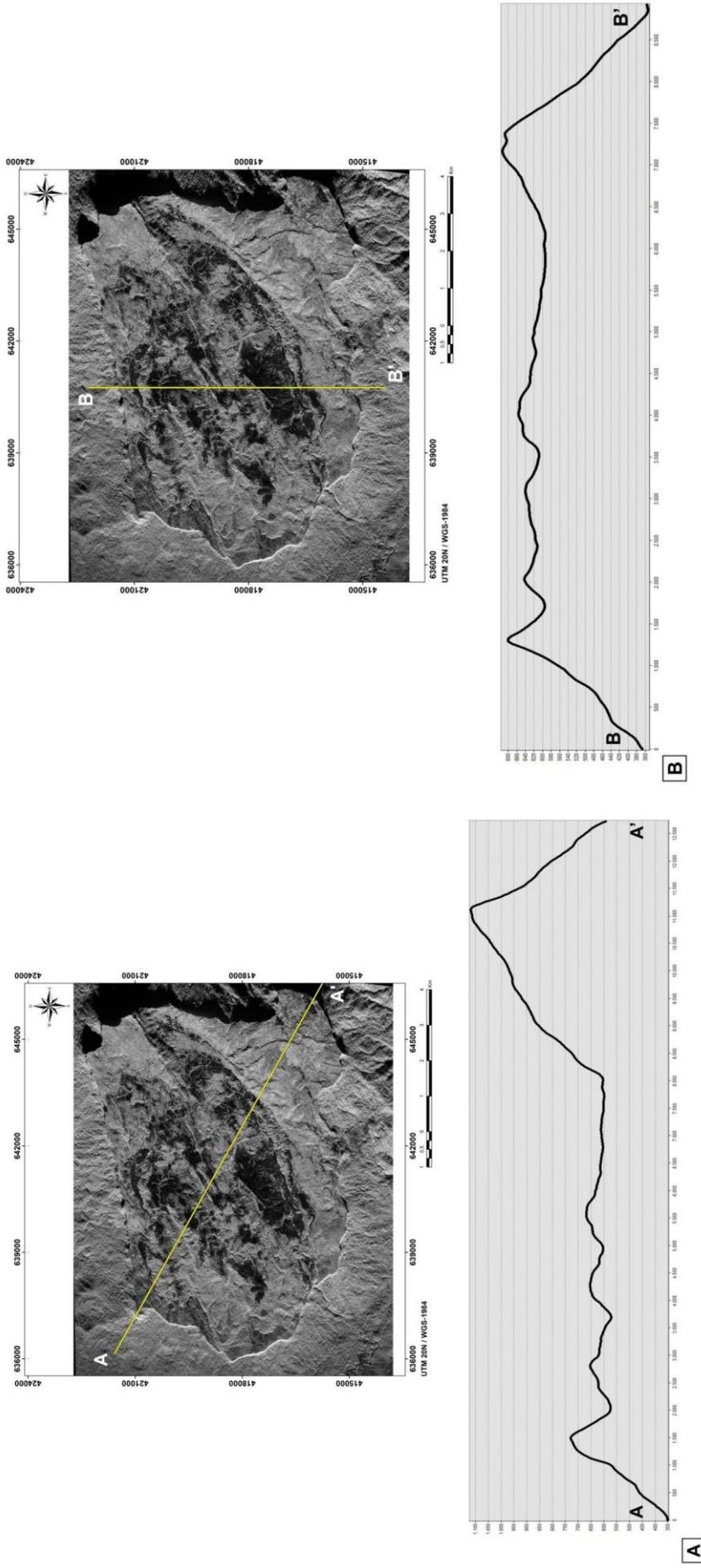
4.1.4 Perfis Topográficos

Inserido dentro da metodologia de trabalho, os perfis topográficos foram uteis para a avaliação da rugosidade de relevo no topo da serra. Estes foram elaborados a partir de interpretações dos produtos digitais de altimetria, declividade e do MDE.

Os perfis apresentados estão organizados em duas seções que apresentam de forma clara a distribuição das formas de relevo no topo da serra. No perfil topográfico A – A', tendo a direção NW-SE e exagero vertical de 3 vezes (Figura 19 A), observou-se um desnível altimétrico desde as encostas íngremes, até as áreas planas no interior do topo da serra. Destacam-se feições de relevo, caracterizadas por morros intercalados com vales onde se instala a rede de drenagem, todos estes bordejados pelas encostas, destacando a encosta sudeste, cujo topo alcança 1.120 metros de altitude.

Em outra perspectiva, analisando o perfil topográfico B – B', tendo como direção N-S exagero vertical de 3 vezes (Figura 19 B), são observadas as mesmas características do perfil A – A'. Isso pode ser compreendido como um contraponto em relação a literaturas atuais, que classificam a Serra do Tepequém como uma estrutura de relevo tabular característicos das regiões da Gran Savanna (*tepuis*), evidenciados por Briceño e Schubert (1990); Briceño, Schubert e Paolini (1990); Piccini (1995). Estas evidências descaracteriza-se a qualidade tabular e planar para o topo da serra do Tepequém, que apresenta morfologias diferenciadas.

Figura 19 - Perfis topográficos da serra do Tepequém, representando a variação morfológica no topo da serra. A) Perfil topográfico A-A' (NW-SE), evidenciando o arranjo e variação das morfologias de relevo no topo da serra. B) Perfil topográfico B-B' (N-S), apresentando a variação do relevo.



Fonte: O autor

4.2 ANÁLISE MORFOESTRUTURAL

Nesta seção, serão abordadas as principais características referentes ao arranjo morfoestrutural da serra do Tepequém, analisadas por meio da fotointerpretação em produtos de sensoriamento remoto.

4.2.1 Análise Estrutural

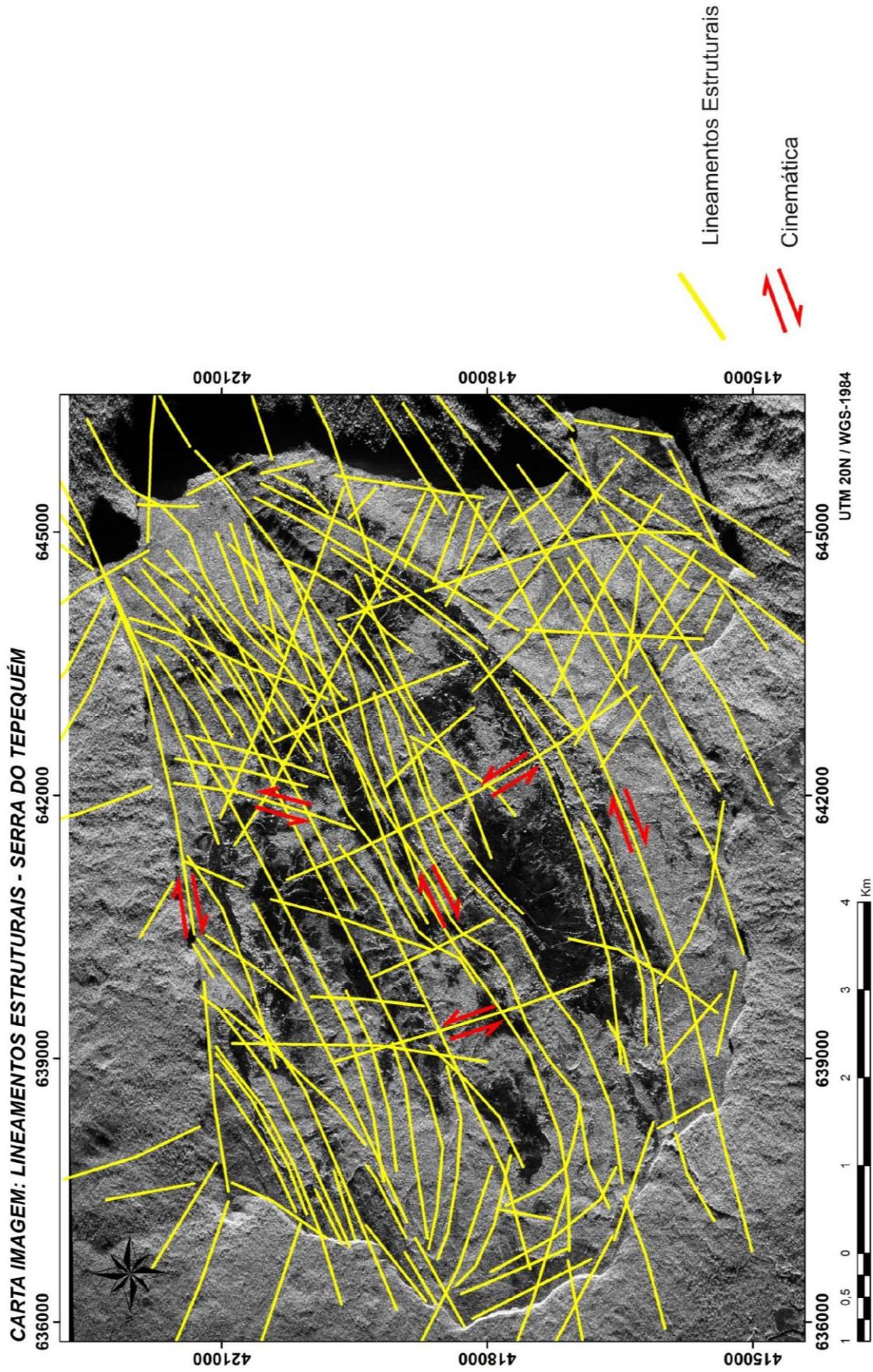
Através dos procedimentos de fotointerpretação em imagens de sensoriamento remoto pode-se obter o arranjo estrutural da serra do Tepequém, a partir da análise das feições texturais da paisagem (drenagem e relevo) e das estruturas geológicas.

As feições lineares de drenagem consistiram na análise em detalhe da rede de drenagem no topo da serra, extraída na imagem pancromática de alta resolução do sensor PRISM.

Para a realização da análise fotointerpretativa das feições lineares de relevo, a imagem SAR/SIPAM demonstrou-se mais adequada para a interpretação dos lineamentos estruturais.

O mapa representando os lineamentos estruturais no topo da serra do Tepequém (Figura 20) evidencia o arranjo estrutural refletido pelas feições lineares de drenagem e relevo. O mapa apresenta longos feixes com direção preferencial NE-SW demonstrando sistemas de falhas transcorrentes com cinemática dextral, sendo cortadas por falhas transcorrentes com cinemática sinistral, com direção preferencial NW-SE, sendo estes lineamentos similares ao estudo de Almeida (2012).

Figura 20 - Carta imagem SAR/SIPAM representando o arranjo dos lineamentos estruturais do topo da serra do Tepequém e sua cinemática preferencial.



Fonte: O autor

Perfazendo o perímetro da Serra do Tepequém, nota-se por meio dos lineamentos estruturais uma forma aproximadamente romboédrica com bordas fortemente orientadas, escarpas abruptas e um topo com uma superfície rugosa atribuído à morros comumente alinhados e áreas rebaixadas, o que descaracteriza o termo tabular para a serra do Tepequém.

O arranjo geométrico da serra, em geral, configura uma dobra sinclinal de escala quilométrica, cerca de 10 km, com eixo na direção preferencial ENE-WSW exibindo um leve caimento para WSW. O interflanco desta dobra é definida por dobras sinformes e antifforme de menor direção com eixos de direção NE-SW. Na porção central da serra, estruturas sigmoidais indicam um condicionamento com movimento cinemático dextral, sendo a interpretação desta estrutura concordante com os estudos de Fraga, Reis e Pinheiro (1994); Fernandes Filho (2010); Almeida (2012). O arranjo estrutural apresentado no mapa fotointerpretado dos lineamentos estruturais com direções apresentadas no diagrama de roseta (Figura 21), evidenciando este arranjo.

Os principais lineamentos são constituídos por feixes longos, retilíneos e por vezes curvos, ao norte da serra, com comprimento a cerca de 7 km, com direção preferencial NE-SW. Concordante com estes, lineamentos que seguem direções preferenciais ENE-WSW, variando para NE-SW, apresentam comprimentos que variam entre 2 e 4 km, controlando a borda norte da serra.

Na área central da serra, estendem-se feixes retilíneos e curvos, delineando estruturas em dobras, alongando-se por todo o topo da serra. Estes feixes apresentam direções preferenciais NE-SW, variando para ENE-WSW, com “trends” de direções N60°-70°E, tendo como feixe principal com comprimento de 10 km. Outro feixe fotointerpretado com trend de direção N75°-80°E, apresenta os mesmos padrões anteriores, apresentando comprimento de 7 km. Estes lineamentos são condicionantes da orientação de morros e colinas que, conseqüentemente, seguem este padrão de alinhamento preferencial.

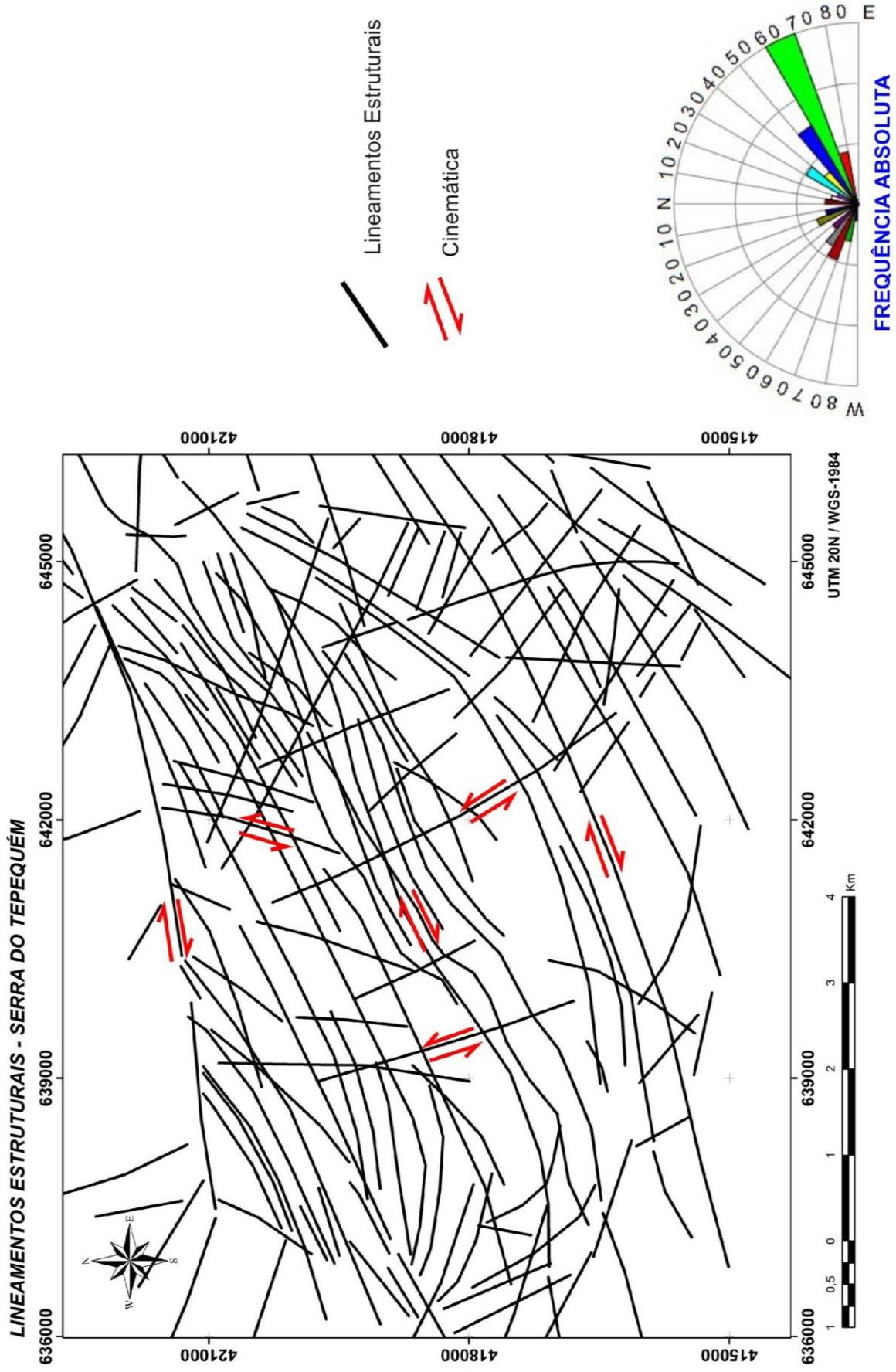
Nas porções sul e sudeste do topo da serra, feixes longos se estendem concordantes com os demais. Por vezes, estes feixes ultrapassam os limites do topo da serra e condiciona os relevos adjacentes, sendo concordantes com o arranjo estrutural regional. Estes feixes, cujas direções principais, apresentam “trends” N60°-70°E, com comprimentos de 10 km e 7 km. Estes lineamentos controlam o arranjo estrutural da encosta sudeste e condiciona a borda sul da serra.

Linhas de fraqueza fotointerpretadas são representadas por lineamentos que constituem feixes perpendiculares aos lineamentos de orientação principal. Estes feixes nas direções de N60°-70°W desenham estruturas retilíneas com comprimentos de aproximadamente 3 km, correspondente a lineamentos, aparentemente, de menor frequência no topo da serra. Na porção oeste da área, formam um feixe que condicionam as bordas sudoeste e oeste da serra.

Lineamentos com direções N30°-20°W, de densidade moderada, desenham estruturas retilíneas, com comprimentos que variam de 2 km a 4 km, encontram-se distribuídos principalmente nas porções leste e sudeste da serra, em determinados trechos. Ao longo da rede de drenagem, observa-se truncamento pronunciado dos lineamentos N10°W-10°E, configurando deslocamentos bruscos que desenham cotovelos com ângulos aparentemente retos.

O arcabouço estrutural identificado a partir da análise fotointerpretativa, evidenciou as principais estruturas que condicionam o maciço do Tepequém. As análises indicam uma estrutura decorrente de um sistema de falhas transcorrente dextral NE-SW, que condicionam a orientação do relevo e drenagem, com caráter compressivo com vergência NW-SE e apresenta uma tensão máxima, posicionada e orientada para a direção NW-SE, além da presença de planos de cisalhamento sinistrais com orientação oposta aos demais planos, sendo estas direções N30°-20°W e os mais frequentes N60°-70°W.

Figura 21 - Mapa dos lineamentos estruturais da serra do Tepequém, apresentando os principais feixes de direções e a cinemática correlacionada, além de evidenciar as direções dos lineamentos por meio do diagrama de roseta.



Fonte: O autor

O padrão de drenagem fotointerpretado mostrou um arranjo controlado pelas estruturas identificadas na imagem SAR/SIPAM. Este padrão caracteriza-se por ser paralelo a subparalelo, apresentando forte orientação pelas linhas de fraquezas crustais que seguem a direção preferencial NE-SW.

Os tributários são mais esparsos e estão concordantes com as linhas de fraqueza NW-SE. Os principais canais, igarapé Paiva, Cabo Sobral, do Meio e do Barata, estão encaixados em falhas transcorrentes NE-SW e intercalados por falhas NW-SE, sendo de fácil visualização nas imagens fotointerpretadas (Figura 22). Em geral, a rede de drenagem apresenta uma assimetria significativa devido às estruturas de blocos basculados que condiciona os elementos texturais da paisagem (drenagem e relevo).

O perfil esquemático NW-SE, mostra o arranjo das estruturas que condicionam as feições de relevo na área. Este perfil foi subdividido em 4 setores em função das características do arranjo destas feições estruturais (Figura 23).

O setor A que representa a porção noroeste da serra, apresenta uma estrutura de blocos basculados devido à cinemática de falhas normais de direção preferencial NE-SW. Estes blocos soergueram e rebaixaram devido a regimes distensivos onde a rede de drenagem está encaixada, a exemplo do igarapé Cabo Sobral. Esta estrutura sustenta as encostas sul e noroeste, além de que condicionam os relevos dos morros residuais. Pode-se identificar, por meio da projeção ciclográfica Schimidt-Lamber as atitudes das camadas, com suave mergulho de 41° para SE.

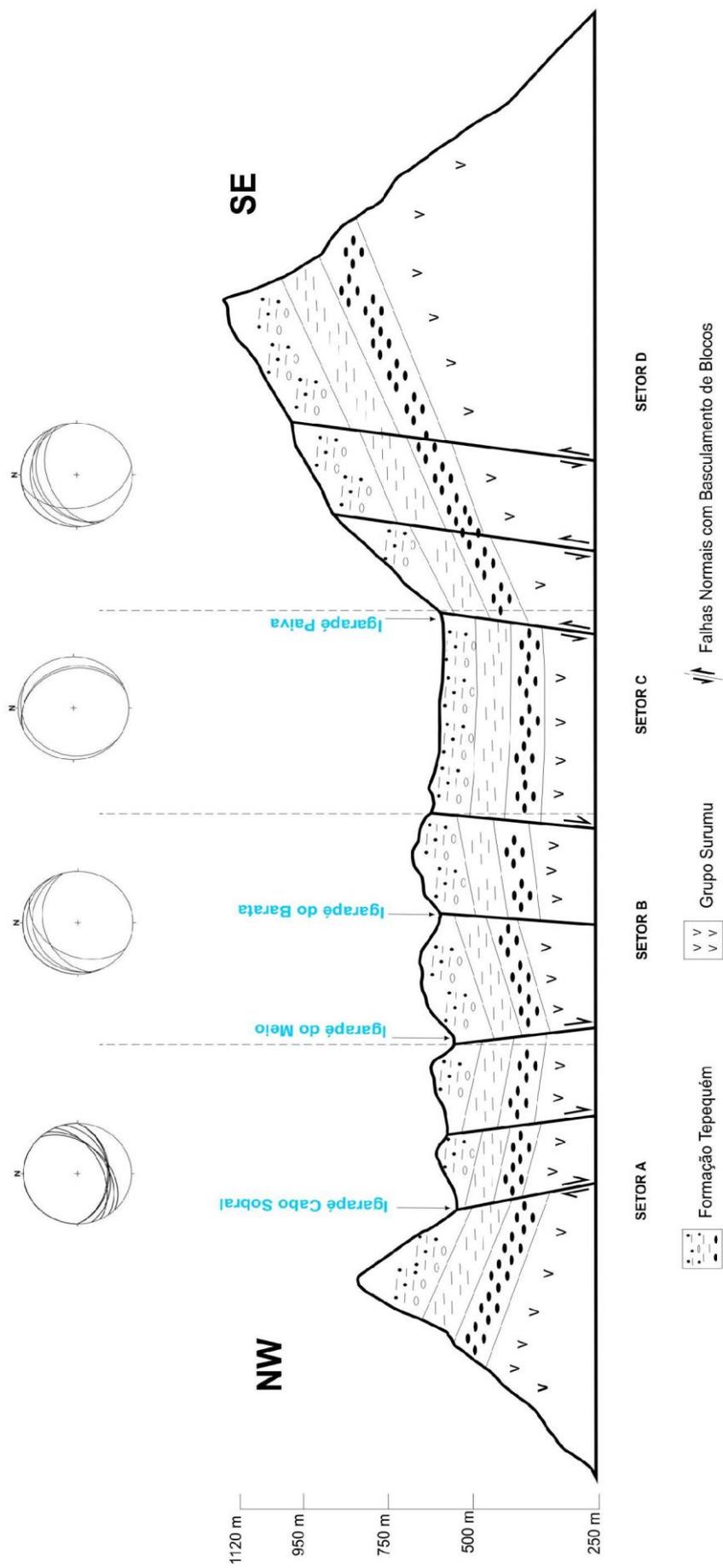
A interpretação do setor B, configurando a região entre os igarapés do Meio e Barata, é caracterizada por blocos basculados elaborados em dobras menores, anticlinais e sinclinais, e por zonas de cisalhamento transcorrentes dextral, com direção preferencial NE-SW. Estes blocos constituem o esqueleto dos morros residuais, cujos alinhamentos estão concordantes com essas zonas de cisalhamento. O acamamento possui atitudes aferidas em sua maioria com mergulhos suaves de 36° a 40° com direção NW.

O setor C representa a porção correspondente à superfície rebaixada caracterizada pela extensa área aplainada no vale do igarapé Paiva. A estrutura apresenta um bloco rebaixado devido a falhas normais direcionais zona de cisalhamento dextral, com direção preferencial NE-SW, que condiciona o igarapé Paiva. As atitudes das camadas apresentam suave mergulho, ora para W ora para E.

O setor D representa a porção sudeste da serra, apresenta uma estrutura de blocos basculados devidos a falhas normais direcionais em zona de cisalhamento dextral com direção preferencial NE-SW. Estes blocos soergueram e rebaixaram devido a regimes distensivos, cortadas por planos de fraturas com direção NW-SE. Esta estrutura sustenta as encostas sudeste, superfície de cimeira correspondente ao ponto mais elevado da serra.

Além da encosta sudeste, a encosta sul esta subordinada a estes planos de falhas. Por meio da projeção ciclográfica Schimidt-Lamber, observa-se atitudes das camadas, com suave mergulho, entre 18° a 32° , predominantemente para NW e com menos frequência para W.

Figura 23 - Seção geológica: corte NW-SE no topo da serra do Tepequém, evidenciando o arranjo estrutural com o basculamento dos blocos por sistemas de falhas. Destaca-se as atitudes dos acamamentos mostrados na projeção ciclográfica Schmidt-Lamber.



Fonte: O autor

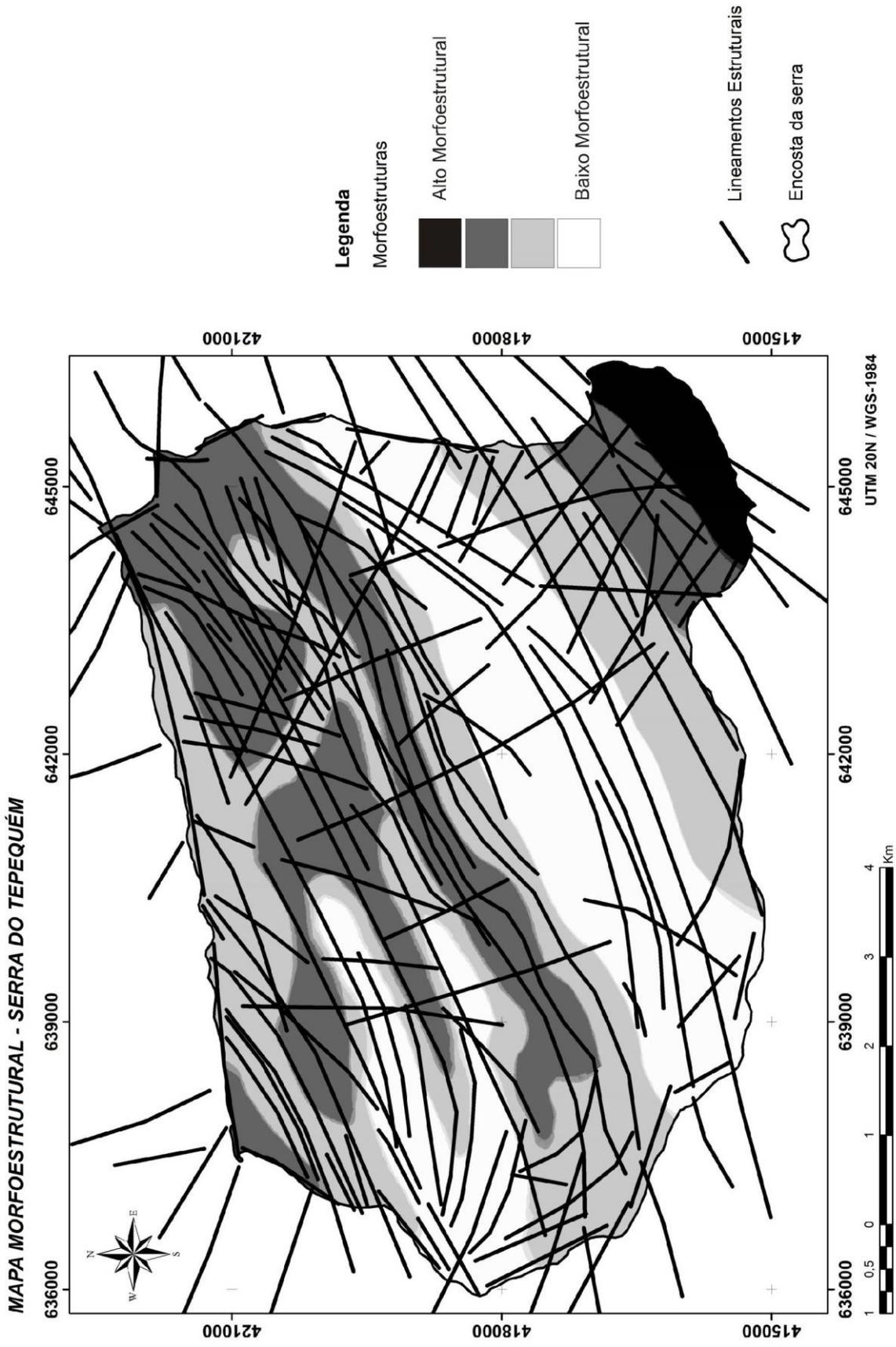
4.2.2 Mapeamento e Compartimentos Morfoestruturais

A identificação das morfoestruturas foi realizada por meio da análise lógico-sistemática que procura, através de padrões de drenagem e dos lineamentos estruturais (drenagem e relevo), traçar as flexuras do terreno derivadas de processos geológicos, principalmente os tectônicos.

Neste contexto, levou em consideração o estudo detalhado dos lineamentos estruturais. Deste modo pode-se de maneira comparativa entre as imagens, realizar, seguindo o modelo proposto por Madrucci, Veneziani e Paradella (2002); Araújo, Yamamoto e Madrucci (2003), extrair, por meio das flexuras do terreno, feições morfoestruturais positivas e negativas (altos e baixos morfoestruturais), utilizando contornos isomorfoestruturais.

O mapa morfoestrutural da serra do Tepequém (Figura 24) apresenta as morfoestruturas representando as feições positivas (altos morfoestruturais) e negativas (baixos morfoestruturais), que são delimitados pelos lineamentos estruturais.

Figura 24 - Mapa morfoestrutural da serra do Tepequém que evidencia o arranjo de altos morfoestruturais (positivas) e baixos morfoestruturais (negativas), condicionadas pelos lineamentos estruturais



Fonte: O autor

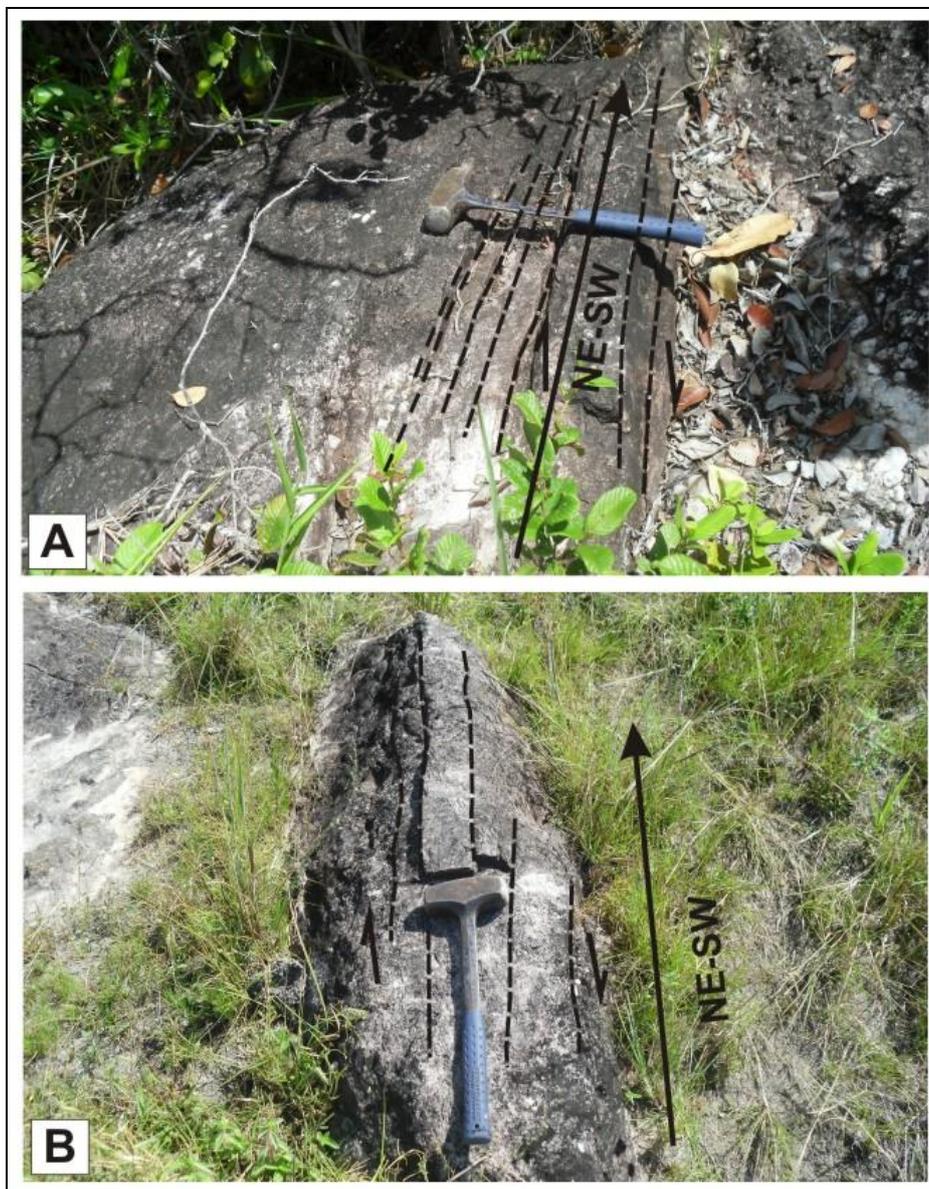
Como já visto, a serra como um todo caracteriza-se como estrutura elaborada em um sinclínio assimétrico com eixo na direção preferencial NE-SW variando para ENE-WSW e com leve caimento para WSW, com dobras de menor expressão em seu interflanco (sinformes e antiforme) e apresenta planos de cisalhamento composto por falhas e fraturas que indicam um condicionamento com movimento cinemático dextral, conforme os estudos de Fernandes Filho (2010); Almeida (2012).

Nota-se que os principais lineamentos são constituídos por feixes longos, retilíneos e por vezes curvos, ao norte, na porção central e sul da serra com direção preferencial NE-SW. Concordante com estes, lineamentos que seguem direções preferenciais ENE-WSW, variando para NE-SW, apresentando comprimentos menores e intercalados por lineamentos, de menor expressão na direção preferencial NW-SE.

Sobre o condicionamento de regimes distensivos, falhas direcionais inseridas em zonas de cisalhamento transcorrente, foram adaptadas pelos planos de falhas normais. Neste contexto, ocorreu o basculamento dos blocos, ocasionando feições tecto-estruturais positivas e negativas.

Em setores diferentes da serra, podem ser identificadas em afloramentos estruturas relacionadas aos sistemas de cisalhamento regional. No setor norte da serra, na crista de um morro residual, identifica-se planos de falhas normais orientados preferencialmente na direção NE-SW (Figura 25 A), referentes ao basculamento de blocos. Nas proximidades de morros na parte central da serra, ocorrem planos de falhas de direção preferencial NE-SW (Figura 25 B).

Figura 25 – A) afloramento em crista de morro com sistema de falhas normais que seguem direção preferencial NE-SW apresentando basculamento de blocos; B) afloramento em base de morro onde ocorrem falhas normais de direção preferencial NE-SW.



Fonte: O autor.

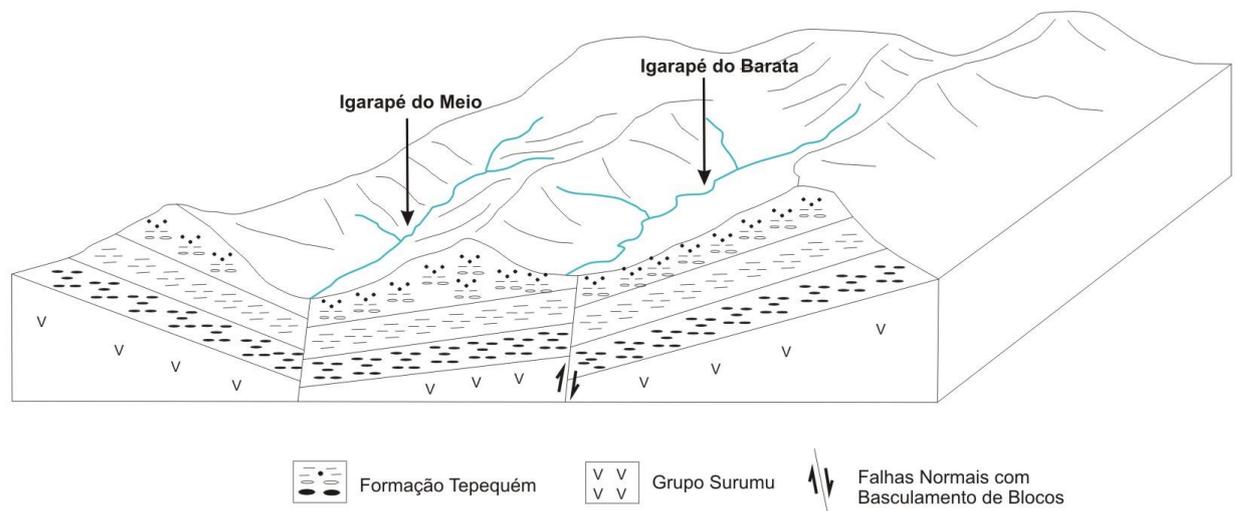
As feições tectono-estruturais positivas, correspondente aos altos morfoestruturais, são as condicionantes para o arranjo estrutural das encostas da serra e dos morros residuais que se estende por toda área do topo da serra. Estas feições são resultado do basculamentos dos blocos decorrentes de regimes distensivos adaptados aos planos de cisalhamento.

As encostas apresentam o maior condicionamento por meio dos feixes de lineamentos que representam zonas de cisalhamento transcorrentes NE-SW, variando para ENE-WSW e por vezes E-W. As encostas noroeste e norte constituem blocos basculados, soerguidos em relação aos adjacentes, suavemente inclinados para SE (Figura 26 A).

A encosta sudeste esta estruturalmente condicionada aos blocos basculados resultante de falhas direcionais em zona de cisalhamento transcorrente com direção preferencial NE-SW. As camadas apresentam atitudes com mergulhos suaves entre 18° a 30° para NW (Figura 26 B).

Em conjunto com as encostas da serra, blocos representativos como feições tectono-estruturais positivas (altos morfoestruturais) são caracterizados por morros e colinas que constituem cinturões ao longo do topo da serra, resultante de basculamento de blocos em sistemas de falhas normais, cuja direção preferencial NE-SW, variando para ENE-WSW e E-W. Quanto ao mergulho das camadas, estes são suaves e variam ora para NW, ora para SE (Figura 27).

Figura 27 – Esquema representando a porção central da serra do Tepequém, onde se encontra os morros residuais, resultantes do basculamento de blocos por falhas normais.

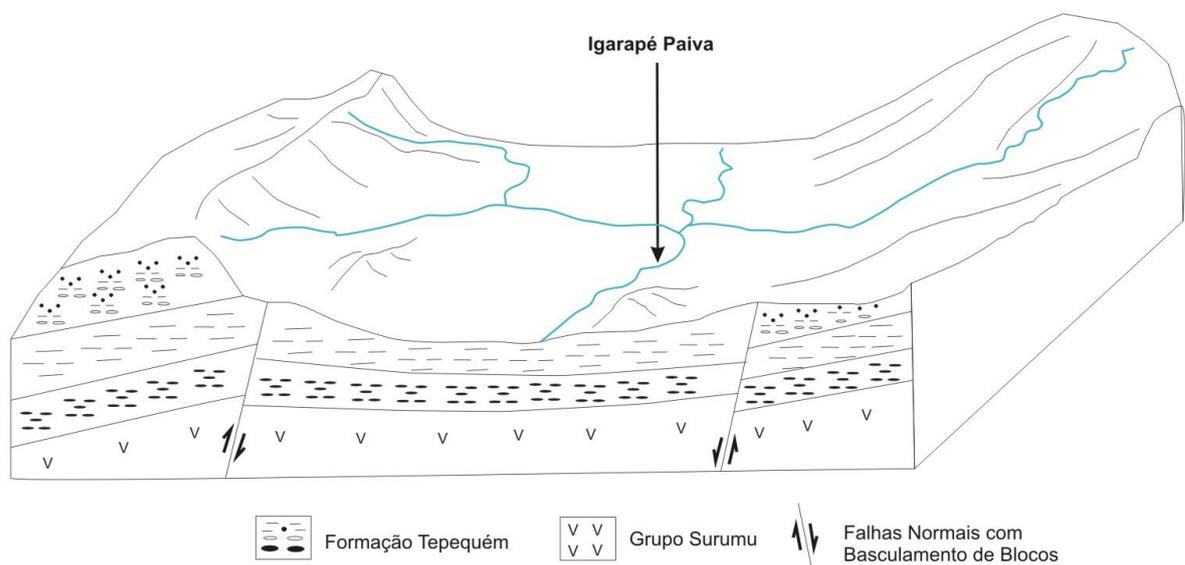


Fonte: O autor.

As feições tectono-estruturais negativas, correspondente aos baixos morfoestruturais, representando blocos rebaixados. Alguns destes baixos morfoestruturais estão diretamente correlacionados com os planos de falha normal, onde a drenagem se instala, causando processos de denudação.

A estrutura negativa mais evidente corresponde à área que esta intercalada entre os morros residuais e as encostas sul e sudeste, representando a superfície aplainada mais evidente. O basculamento dos blocos ocasionou o rebaixamento deste bloco em relação aos demais, representando uma estrutura tipo graben. Esta feição estrutural esta intercalada pelos planos de fraqueza crustais com direção preferencial NE-SW, variando para E-W (Figura 28).

Figura 28 – Esquema apresentando área de baixo morfoestrutural na serra do Tepequém, com estrutura tipo graben, constituindo a porção da superfície aplainada, evidenciando o basculamento de blocos por falhas com direção preferencial NE-SW.



Fonte: O autor.

4.3 COMPARTIMENTAÇÃO GEOMORFOLÓGICA

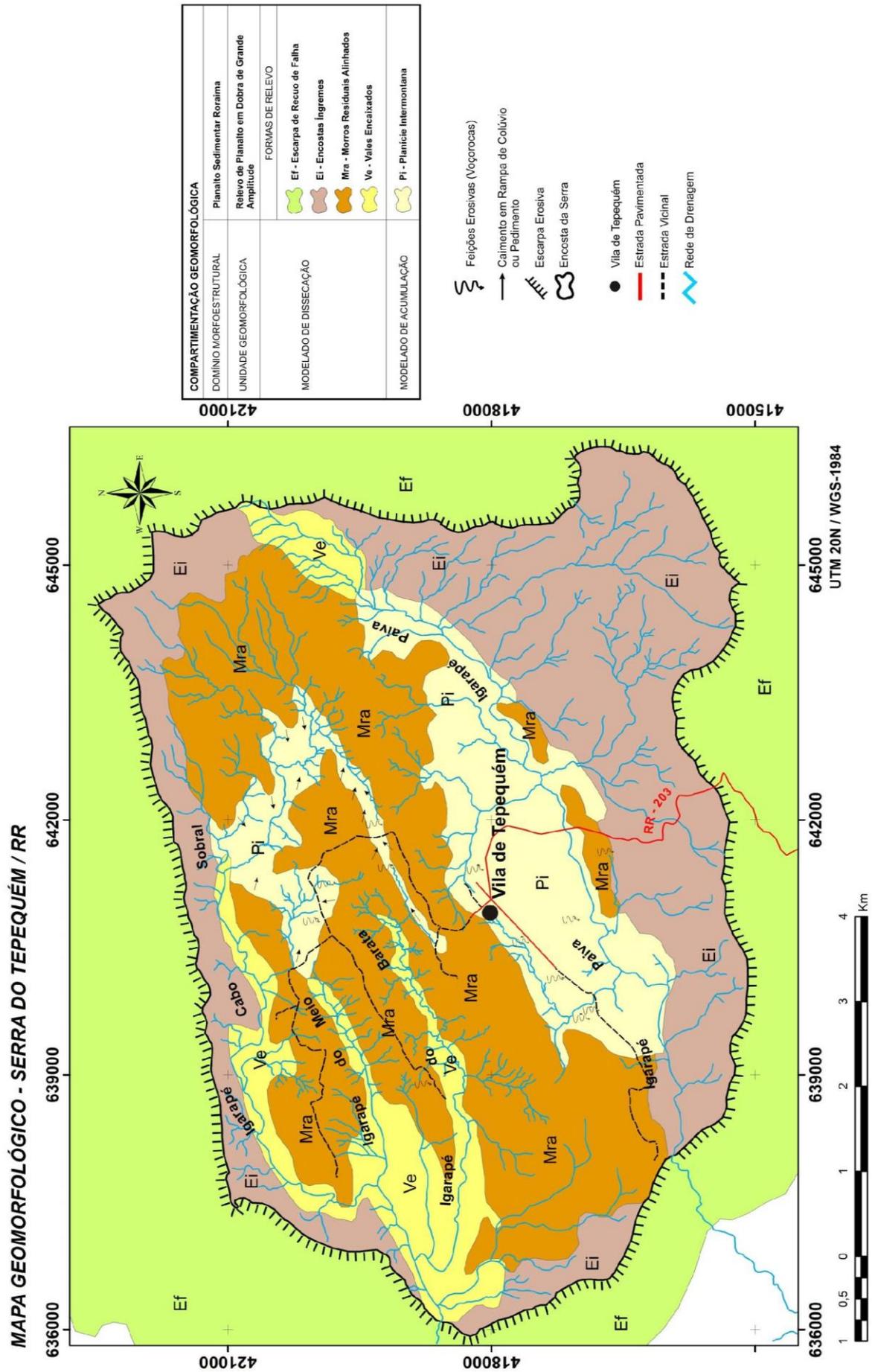
A compartimentação geomorfológica da serra do Tepequém foi obtida a partir dos procedimentos fotointerpretativos em imagens de sensores remotos, manipulação de dados altimétricos via imagem obtida pelo MDE. Estes produtos integrados com os dados interpretados através a partir dos lineamentos estruturais e a compartimentação morfoestrutural, permitiram a delimitação dos compartimentos geomorfológicos da serra (Figura 29); a nomenclatura utilizada seguiu a metodologia proposta por IBGE (2009).

O ordenamento dos fatos geomorfológicos na serra do Tepequém configura-se através do estudo dos modelados como unidade básica, subdividindo-se, em três hierarquias de grandezas distintas – Domínio Morfoestrutural, Unidade Geomorfológica e Modelados de acumulação e dissecação.

A serra do Tepequém é constituído por um testemunho isolado pertencente ao domínio morfoestrutural Planalto Sedimentar Roraima, caracterizado em estudos anteriores (FRANCO, DEL'ARCO e RIVETTI 1975; IBGE, 2005; COSTA, 2008; BESERRA NETA e TAVARES JÚNIOR, 2008), por serem relevos serranos com topos alongados e aplainados em forma de grandes mesas escarpadas conhecidas regionalmente por *tepuis* (BRICEÑO e SCHUBERT, 1990; PICCINI, 1995).

A unidade geomorfológica que compreende a serra, esta diretamente ligada a sua constituição morfoestrutural. A serra é caracterizada por ser um sinclínrio assimétrico com eixo na direção NE-SW e caimento para SW, com extensão quilométrica, promovendo uma morfologia de morros e vales encaixados, subordinados a zonas de cisalhamento transcorrentes com direção NE-SW, sendo interpretado como Relevo de Planalto em Dobra de grande amplitude, concordando com a proposta de Santos (2008), para formas de relevo de origem tectônica.

Figura 29 - Mapa geomorfológico da serra do Tepequém apresentando os modelados que constituem as forma de relevo na serra.



O modelado da paisagem que compõe a serra do Tepequém corresponde diretamente com a morfoestrutura e os processos geomorfológicos atuantes. Neste contexto são identificados dois tipos de modelados decorrentes dos processos atuais: modelado de dissecação e modelado de acumulação.

O modelado de dissecação corresponde às unidades identificadas Escarpa de Recuo de Falha, Encostas Íngremes e Morros Residuais Alinhados e os Vales Encaixados. O modelado de acumulação é descrito em uma única unidade, sendo esta descrita como Planície Intermontana. A classificação destas unidades evidencia uma morfologia de superfície erosiva, com pronunciado grau de dissecação das formas de relevo, concordando com os estudos de Guerra (1957); Beserra Neta (2008).

A interpretação de tipos topográficos distintos e variadas morfologias na paisagem da serra do Tepequém sugere a diferenciação quando comparado com os relevos tabulares que compõe o Planalto Sedimentar Roraima, a exemplo do Monte Roraima (BRICEÑO e SCHUBERT, 1990; BRICEÑO, SCHUBERT e PAOLINI, 1990; PICCINI, 1995).

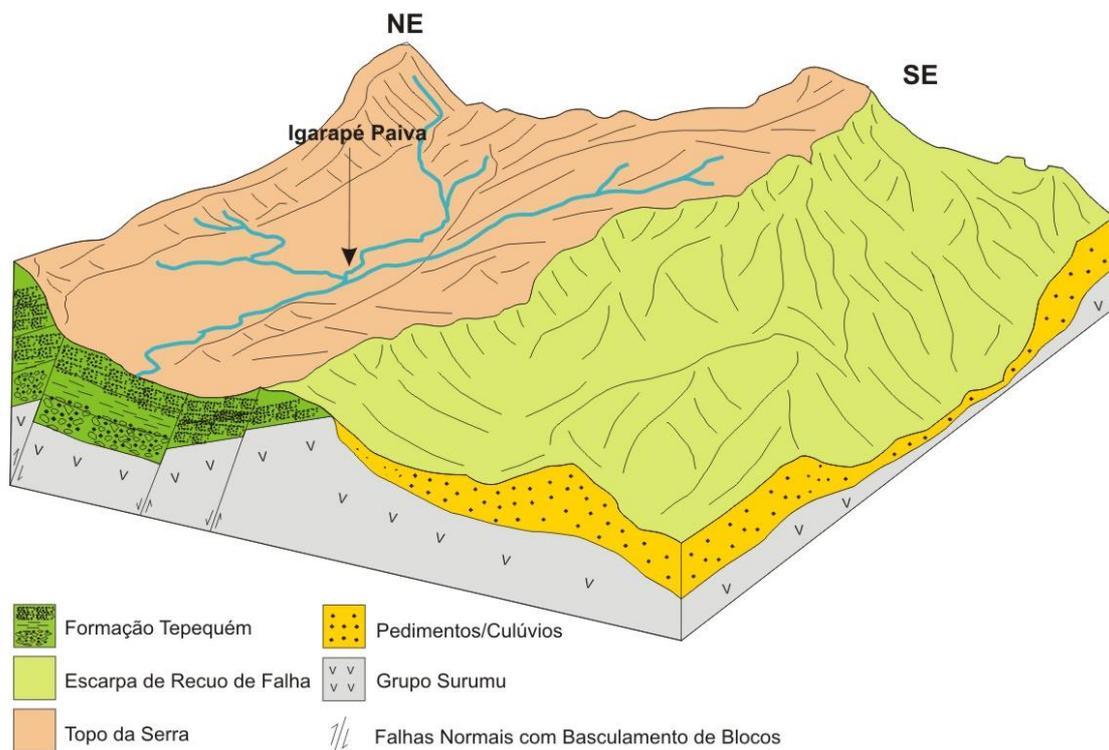
As formas de relevo identificadas são evidenciadas conforme a descrição a seguir.

4.3.1 Escarpa de Recuo de Falha

A escarpa de recuo de falha bordeja todo o topo da serra do Tepequém. Esta morfologia de relevo é resultante da ação dos processos atuantes nos litotipos da Formação Tepequém (meteorização e erosão). Os pedimentos oriundos da dissecação são depositados nas bases em forma de franja (talus), sendo compostos por colúvios pedogenizados (Figura 30).

Esta unidade apresenta um elevado grau de dissecação. Suas vertentes são íngremes, superiores a 40° de inclinação, representando o recuo de planos de falhas que estão subordinados as zonas de cisalhamentos destrais que controlam a estrutura da serra.

Figura 30 – Morfologia de relevo referente à Escarpa de Recuo de Falha, com destaque para o nível de dissecação e estrutura correlacionadas, como zonas de cisalhamentos que condicionam a escarpa.

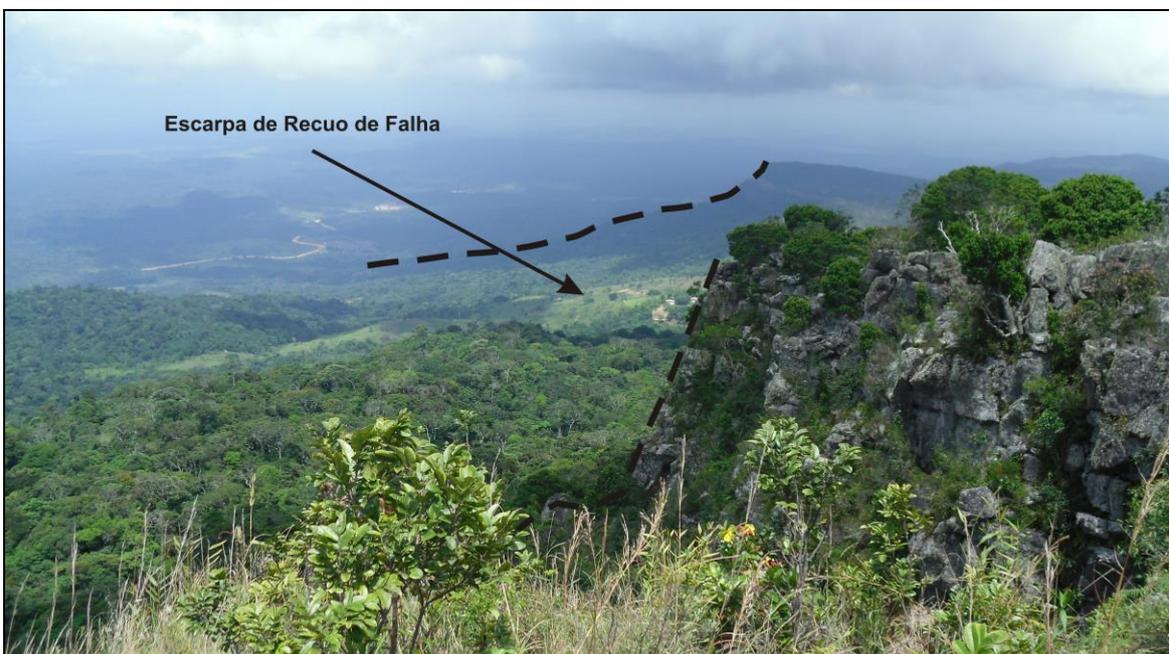


Fonte: O autor.

Os feixes de lineamentos estruturais delimitam de forma clara o controle da escarpa de falha. Estes feixes de lineamentos de direção preferencial NE-SW, e secundariamente E-W, controlam a escarpa norte. Os setores oeste e sudoeste da serra estão controlados por planos de falhas com direção preferencial NW-SE. Enquanto que as escarpas nordeste, leste e sudeste, são controlados por falhas com direção NE-SW.

A escarpa de recuo de falha pode atingir até 1.100 metros, como ocorre na encosta sudeste. No topo das vertentes, as escarpas erosivas apresentam paredões abruptos elaborados nos arenitos da Formação Tepequém (CPRM,1999), e apresentam forte declividade. Na base encontra-se colúvios pedogenizados, recobertos pela floresta ombrófila densa (Figura 31).

Figura 31 – Panorama da escarpa de recuo de falha da serra do Tepequém (porção sudeste). No primeiro plano, se observa a vertente abrupta e no segundo plano, a escarpa da face sul.



Fonte: O autor.

4.3.2 Encostas Íngremes

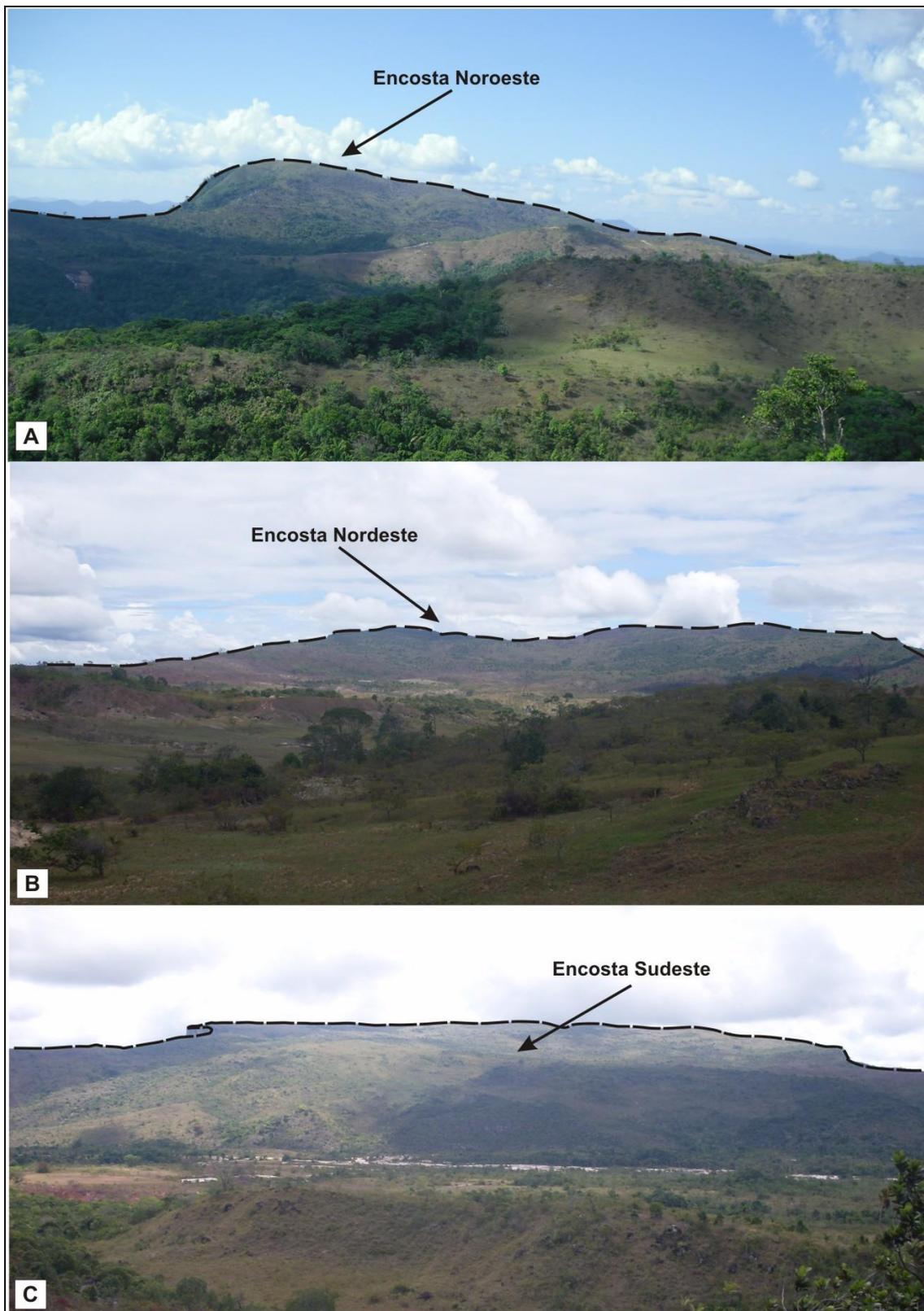
As encostas que bordejam o topo da serra representam vertentes voltadas para o interior da serra, constituem a unidade geomorfológica denominada Encostas Íngremes. Esta morfologia é constituída por vertentes soerguidas, devido ao basculamento de blocos em planos de falhas que condicionaram o arranjo do relevo na serra.

Estas vertentes representam os setores mais elevados, podendo chegar a 1.120 metros. As morfologias mais representativas são as encostas noroeste com 820 metros (Figura 32 A), encosta nordeste com 950 metros (Figura 32 B) e a encosta sudeste, sendo esta a mais representativa e de fácil observação de vários pontos da serra (Figura 32 C).

O relevo da encosta sudeste é subordinado às estruturas compostas por blocos basculados por falhas normais, concordantes com as zonas de cisalhamento regionais NE-SW. Estes blocos constituem patamares erosivos, elaborados em arenitos finos e médios, com intercalações de níveis conglomerático.

Quanto aos aspectos geomorfológicos a encosta sudeste é constituída por vertentes côncavas e retilíneas, com inclinações variando de 15° a 35°, constituindo a cimeira da serra. Localmente, por apresentar uma vista panorâmica da serra e áreas adjacentes, representa importante atrativo turístico, sendo denominado de platô.

Figura 32 – Encostas íngremes que bordejam a serra do Tepequém, constituindo os setores mais elevados da serra. A) Encosta noroeste; B) Encosta nordeste; C) Encosta sudeste, a mais representativa destas, com cerca de 1.120 metros.



Fonte: O autor.

4.3.3 Morros Residuais Alinhados

O modelado representante dos Morros Residuais Alinhados é composto por morros e colinas, estruturados em falhas normais NE-SW. As estruturas que sustentam a morfologia dos morros são constituídas por blocos basculados em sistemas de falhas normais, de direção preferencial NE-SW, e secundariamente, ENE-WSW e E-W.

Entretanto, estes morros apresentam em suas estruturas características distintas. Os morros apresentam acamamentos com atitudes com mergulhos suaves para SE e NW, basculados por regime distensivo.

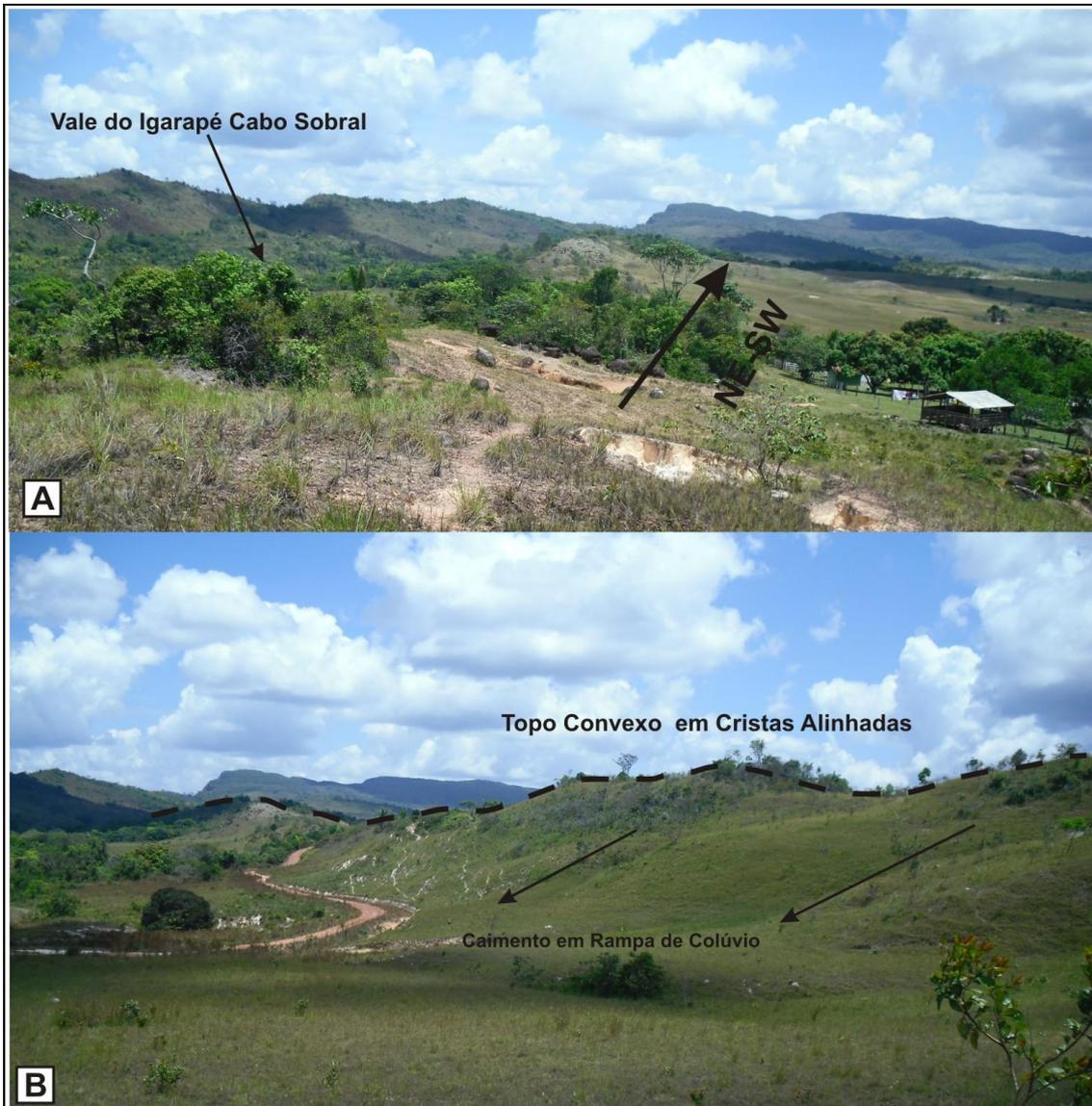
Estes morros e colinas estão elaborados em arenitos grossos com intercalações de níveis conglomeráticos da Formação Tepequém, capeados por blocos seixos rolados de arenito conglomeráticos. Na base, ocorre a formação de depósitos coluvionares e blocos rolados oriundos da alta e média encostas.

Esses morros, representam os interflúvios entre os igarapés Cabo Sobral a norte, do Meio e do Barata na área central e Paiva a sul da serra.

No setor norte da serra, próximo ao igarapé Cabo Sobral, morros residuais apresentam vertentes côncavo-convexa com declividade entre 15° na base, 20° na média encosta e 32° na alta vertente. No geral, esta sequência de morros apresentam topos convexos com cristas alinhadas, seguindo direção preferência NE-SW, variando para ENE-WSW (Figura 34 A).

Evidencia-se nestes morros vertentes com forte inclinação e do lado oposto, vertentes suavizadas, tendo morfologia assimétrica, refletindo a estrutura destes morros seguindo o plano de inclinação das camadas (Figura 34 B).

Figura 33 – Panorama de morros e colinas alinhados nas proximidades do igarapé Cabo Sobral, setor norte da serra. A) Orientação preferencial dos morros em direção NE-SW e em destaque morfologia das vertentes. B) Detalhe para o topo côncavos em cristas alinhadas dos morros e depósitos de colúvios na base destes.

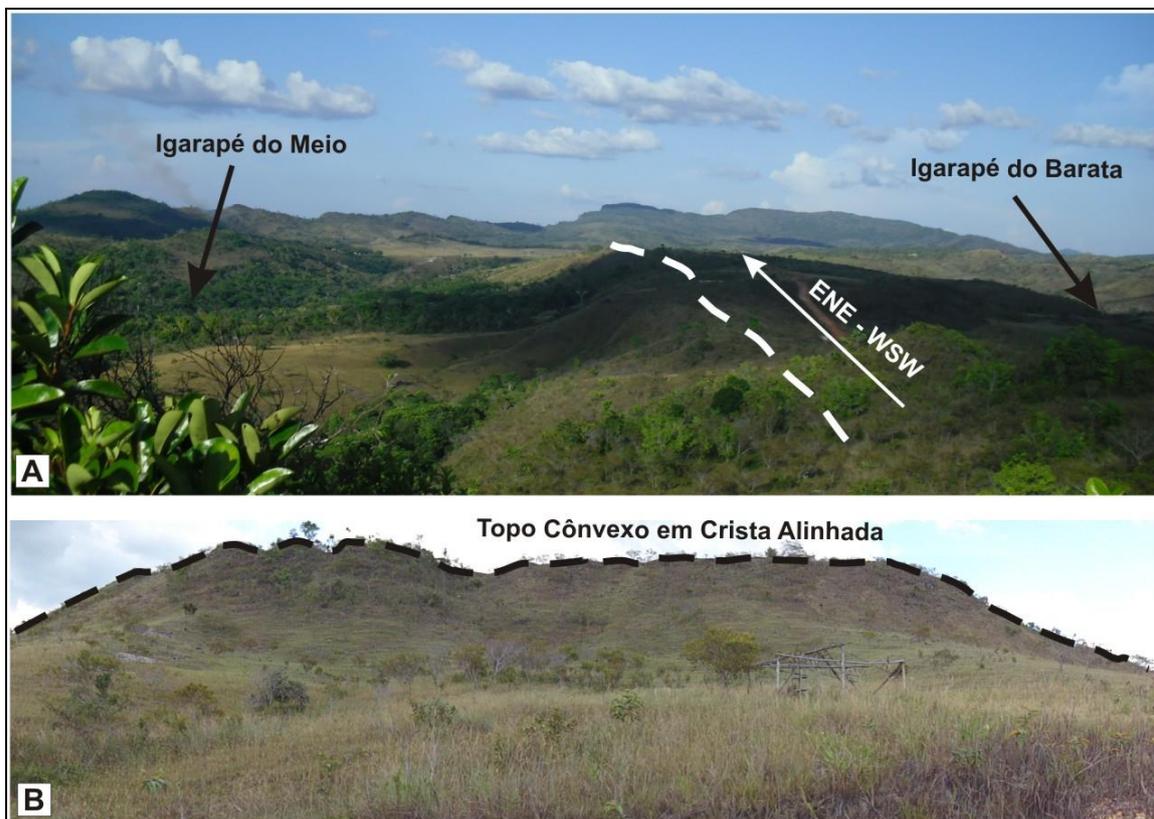


Fonte: O autor.

Outro setor que apresenta estas morfologias de relevos residuais, esta entre os igarapés do Meio e do Barata. Estes morros apresentam-se de forma continua com topo de morfologia convexa em cristas alinhadas na direção ENE-WSW, variando para E-W (Figura 34 A). As vertentes são côncavo-convexas, com forte declividade, superior a 25°. No topo, observa-se blocos de

arenitos de textura média a conglomerática, que são rolados e chegam até a base (Figura 34 B).

Figura 34 – A) Panorama de morros residuais apresentando topo convexo com cristas retilíneas; B) no destaque o alinhamento destes morros na direção ENE-WSW.

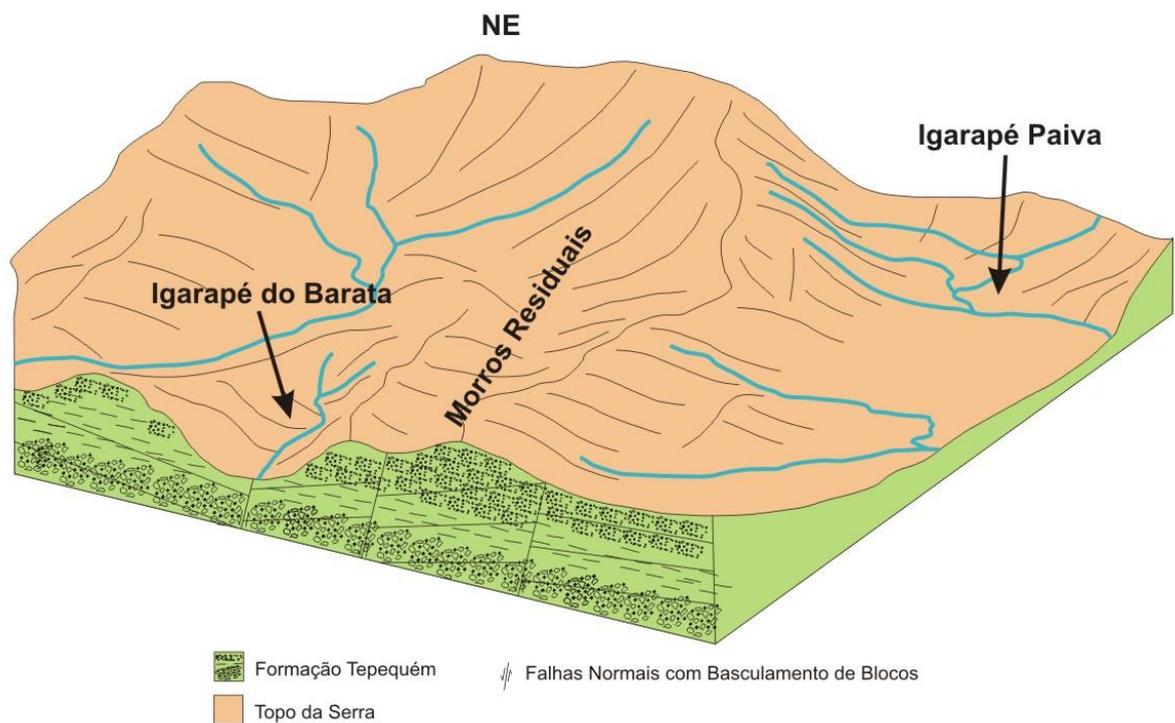


Fonte: O autor.

No setor central da serra do Tepequém, constituindo o interflúvio entre os igarapés do Barata e Paiva, ressalta-se a mais extensa cadeias de morros e colinas. Estes constituem um extenso cinturão, condicionados pelas estruturas lineares orientadas na direção NE-SW, e ENE-WSW, perfazendo um alto morfoestrutural que se estende da encosta nordeste até a sudoeste (Figura 35).

Os morros que compõem este cinturão apresentam topos alongado e retilíneo em forma de cristas alinhadas na direção NE-SW. As vertentes são côncavas-convexas, com inclinação variando de 25° a 30° (setor superior), de 25° a 37° (setor mediano) e 15° a 20° (setor inferior).

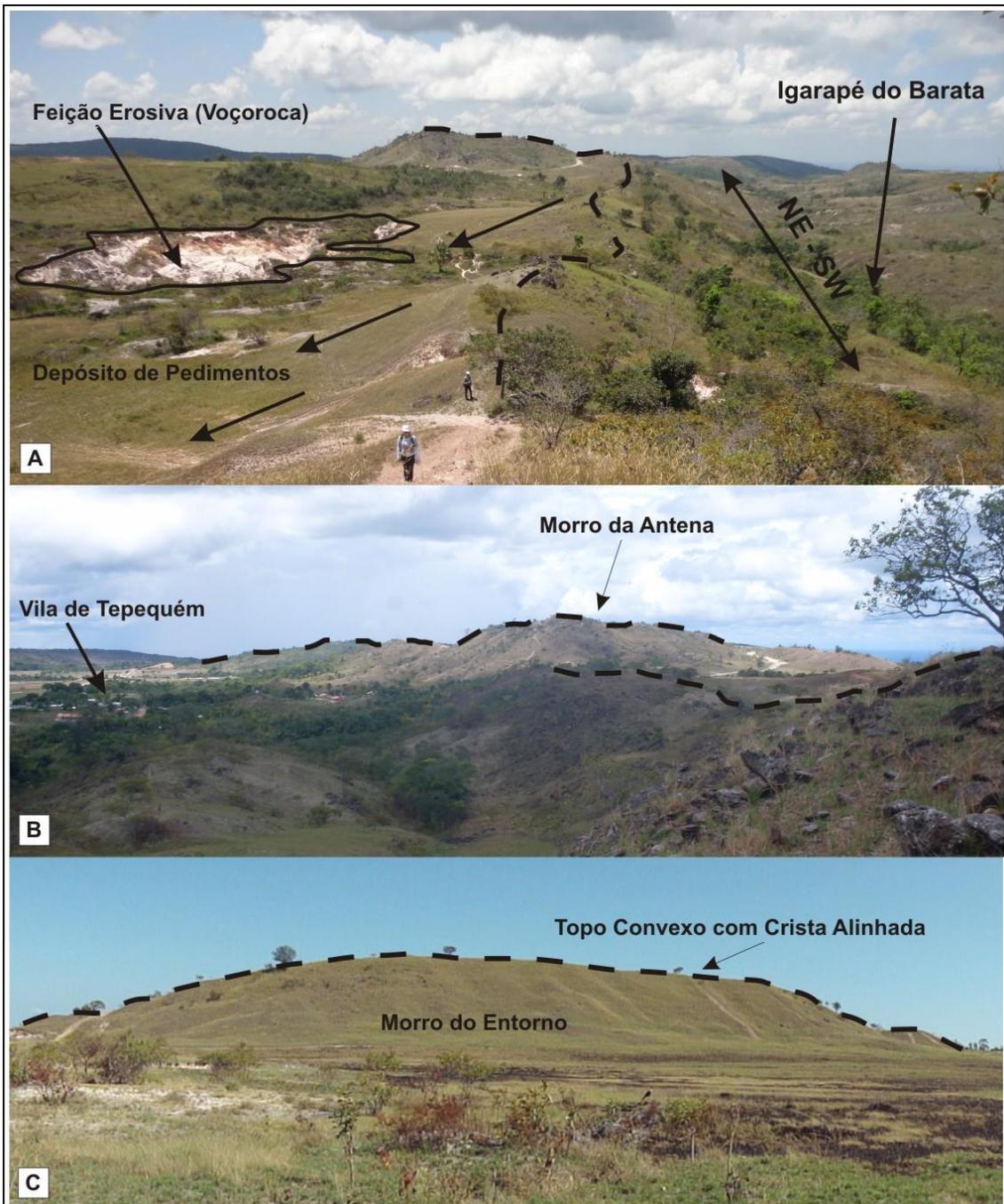
Figura 35 – Esquema referente ao arranjo estrutural dos morros residuais alinhados na serra do Tepequém, com detalhe para as morfologias orientadas com direção preferencial NE-SW.



Fonte: O autor.

Nas baixas vertentes ocorre o acúmulo de pedimentos e colúvios que formam superfícies suavemente aplainadas, onde verifica-se a formação de feições erosivas lineares (voçorocas) (Figura 36 A, B e C). As vertentes dos morros são ravinadas, capeadas por blocos de arenitos conglomeráticos e por seixos laterizados, oriundos dos processos de intemperismo.

Figura 36 - A) Morros residuais com orientação NE-SW, vertentes côncavo-convexas e depósito de pedimentos na baixa encosta, no detalhe a presença de voçoroca; B) exemplos de morros com as mesmas características (morro da Antena) e C) morro do Entorno, com topo convexo com cristas alinhadas.



Fonte: O autor.

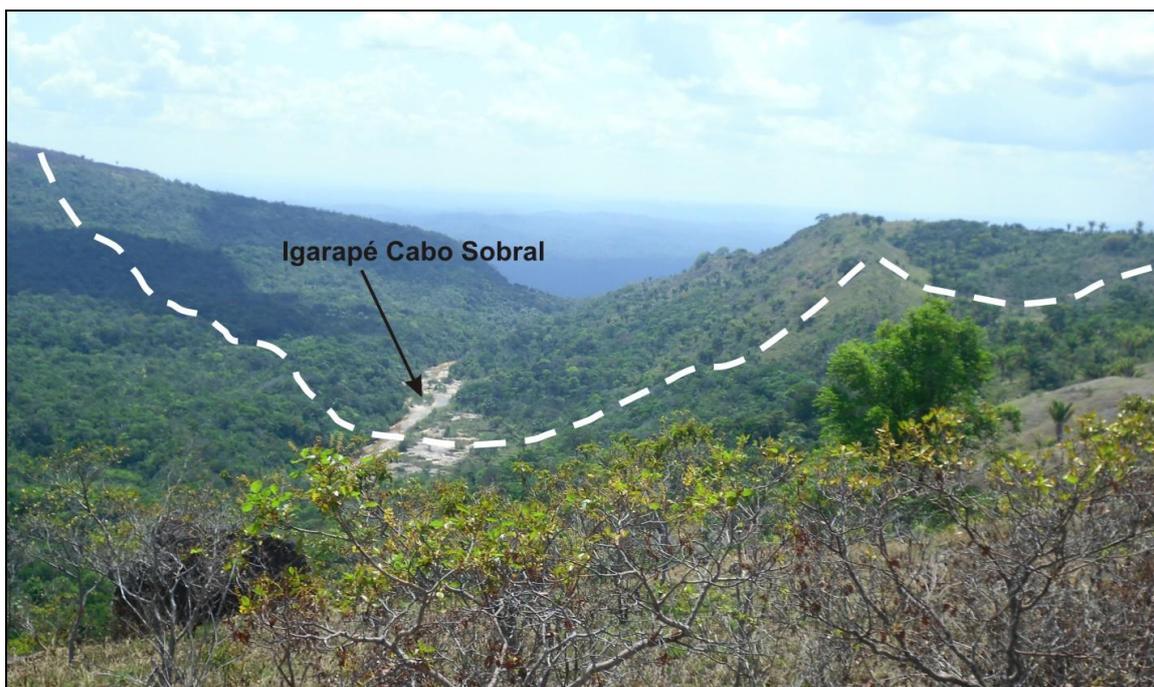
4.3.4 Vales Encaixados

Os vales encaixados apresentam feições de relevo oriundas da incisão dos talvegues das drenagens, e posteriormente, da acumulação dos pedimentos e colúvios oriundos das encostas e morros residuais alinhados.

Os vales estão subordinados as estruturas de blocos basculados devidos às falhas normais de direção NE-SW. As drenagens são concordantes com estes planos de falhas, a exemplo do igarapé Paiva, que tem sua nascente no vale encaixado em forma de "U" situado entre as encostas nordeste e sudeste.

No setor oeste da serra, encontra-se vales em forma de "U" aberto, drenados pela confluência dos igarapés Cabo Sobral, do Meio e do Barata. Ao longo da rede de drenagem ocorre o acúmulo de sedimentos e a vegetação que recobre estes vales e composta por matas de galerias e floresta ombrófila (Figura 37)

Figura 37 – Panorama dos vales encaixados das drenagens no topo da serra do Tepequém, constituindo um grande vale em forma de "U". No detalhe, leito do igarapé Cabo Sobral.



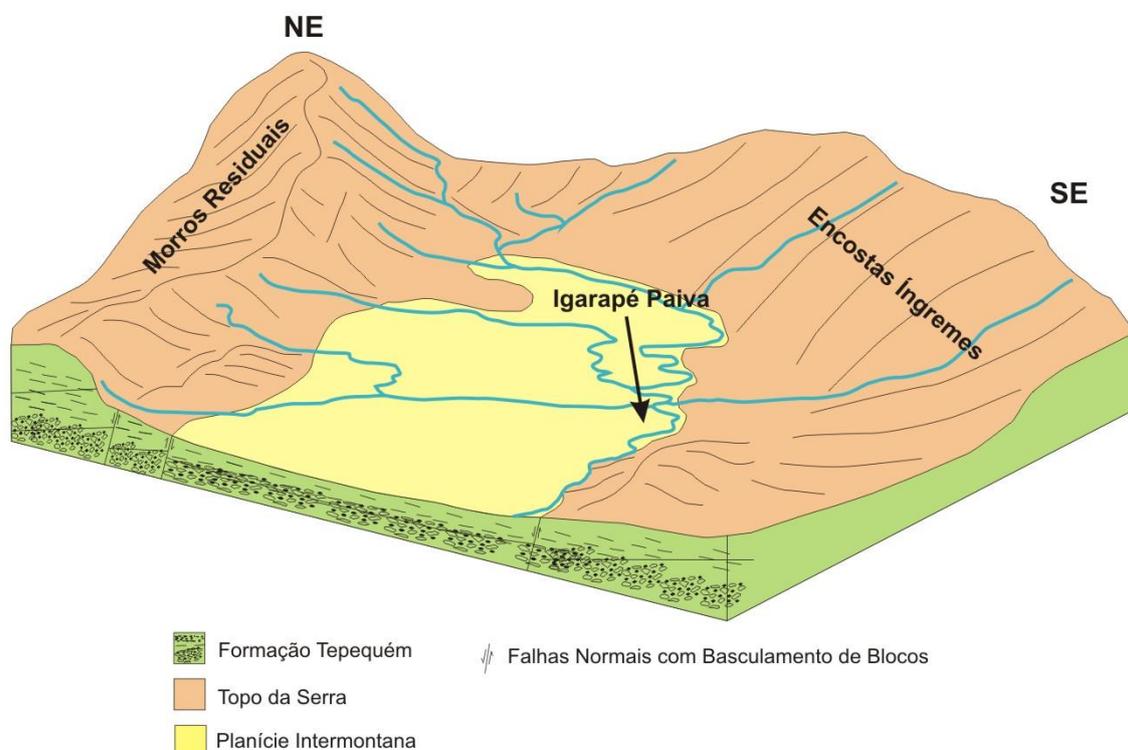
Fonte: O autor.

4.3.5 Planície Intermontana

A planície intermontana, descrita nos estudos de Beserra Neta (2008); Beserra Neta, Nascimento e Tavares Júnior (2012), representa áreas aplainadas que estão inseridas no cenário da paisagem na serra do Tepequém. Esta área aplainada está diretamente ligada com o arranjo estrutural, constituindo uma feição alongada, desenvolvida em um baixo morfoestrutural, com direção ENE-WSW, variando para E-W (Figura 38).

As áreas de planície estão desenvolvidas em arenitos arcoseanos, finos e médios da Formação Tepequém. Estas morfologias são recobertas por solos arenosos, rasos e por coberturas lateríticas, sendo lixiviados e propensos aos processos erosivos.

Figura 38 – Morfologia da planície intermontana, no topo da serra do Tepequém, com detalhe para o arranjo estrutural que condiciona o relevo. Em detalhe, evidencia-se a planície entre os morros residuais e as encostas íngremes.

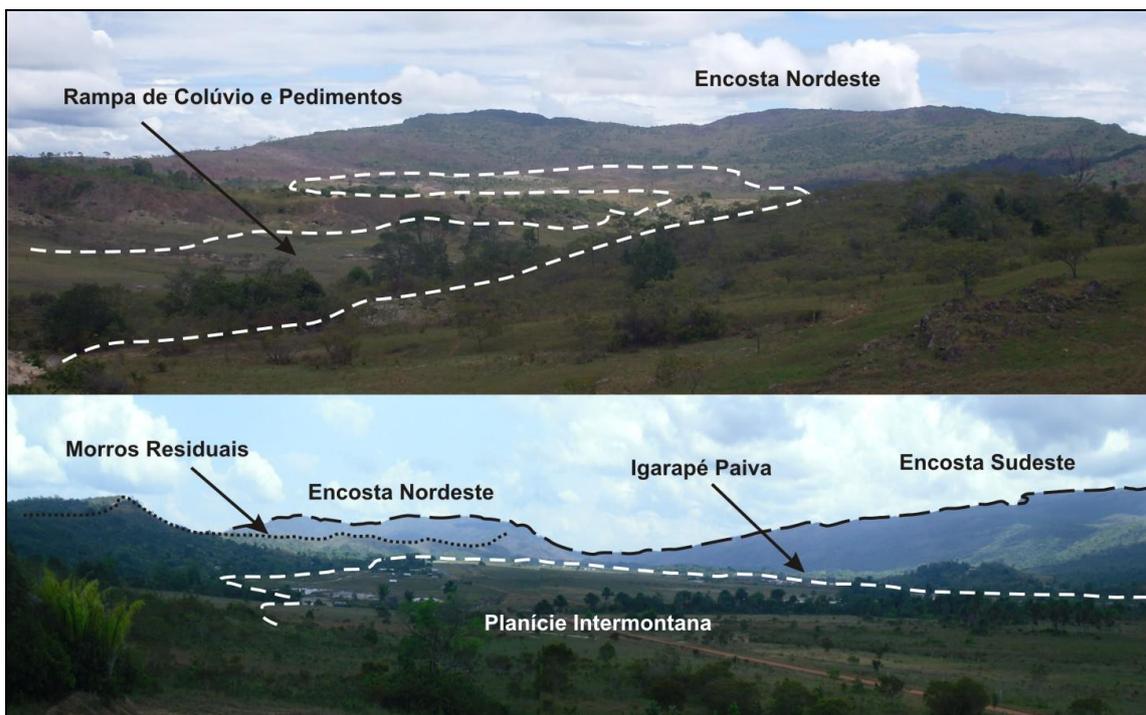


Fonte: O autor.

Foram identificadas duas superfícies aplainadas no topo da serra do Tepequém. Ao norte, entre os morros residuais e as encostas íngremes, nas proximidades dos igarapés Cabo Sobral e do Barata, e a sul, entre o principal cinturão de morros residuais e a encosta sudeste nas proximidades do igarapé Paiva.

Estas formas constituem superfícies suavemente aplainadas com direção ENE-WSW, altimetria variando de 590 a 620 metros e declividades entre 3 a 5° são recobertas por savana gramínea e arbustiva. Estas planícies são recobertas por solos rasos e incoesos com presença de material laterítico oriundo dos relevos adjacentes (Figura 39 A e B).

Figura 39 – Panorama das planícies intermontanas no topo da serra do Tepequém, a exemplo da localizada nas proximidades do igarapé Cabo Sobral (A) e Igarapé Paiva (B)



Fonte: O autor.

Ao longo das planícies, podem ser evidenciadas feições erosivas lineares resultantes do processo de modelado do relevo. Estas feições erosivas se instalam em materiais remobilizados, adaptadas às falhas normais e que favorecem a sua formação.

A intensificação do processo linear erosivo foi dada pela ação antrópica, devido à atividade garimpeira diamantífera, marcando a paisagem. Estudos anteriores desenvolvidos por Beserra Neta (2008); Almeida, Beserra Neta e Tavares Júnior (2011) descrevem a evolução dessas feições lineares (Figura 40).

Figura 40 – Detalhe de uma feição erosiva linear (voçorocas), no topo da serra do Tepequém, evidenciando o controle estrutural marcando a paisagem da planície intermontana.



Fonte: O autor.

4.4 ORIGEM E EVOLUÇÃO DA PAISAGEM DA SERRA DO TEPEQUÉM

Com base nos resultados obtidos através dos procedimentos interpretativos em imagens de sensoriamento remoto e de campo, análise morfoestrutural, compartimentação geomorfológica e juntamente com registros na literatura foi possível tecer comentários sobre a história evolutiva da serra do Tepequém. Esta evolução esta condicionada a eventos em ordem cronológica, determinados por regimes com esforços de caráter transtensivo e transpressivo, bem como processos atuantes na modelagem do relevo.

A morfologia atual da serra constitui um bloco em estrutura romboédrica com bordas fortemente orientadas, escarpas abruptas e um topo com uma superfície rugosa, seguindo o arranjo de estruturas regionais.

Estas estruturas, conforme os estudos realizados por Tavares Júnior (2004); Fernandes Filho (2010) são resultantes de atividades tectônicas de regime transtensivo NE-SW com deslocamento dextral, desencadeada em estruturas pré-existentes, desenvolvendo campos compressionais e extensionais no Paleoproterozóico. Para Tavares Júnior (2004), estes campos são decorrentes de esforços transtensivos que originaram estruturas do tipo releasing bends, que possibilitou a instalação da bacia sedimentar Tepequém

Posteriormente, por meio de regimes tectônicos transpressivos, ocorreu o evento de inversão do relevo, o que condiciona a estrutura de relevo atual da serra do Tepequém. Este evento e evidenciado nos estudos de Fraga, Reis e Pinheiro (1994); CPRM (1999); Almeida (2012), que por meio do episódio regional compressivo K'Mudku, promoveu o desenvolvimento de zonas de cisalhamento e feixes de cavalgamentos, com evolução de texturas miloníticas nas vulcânicas (Grupo Surumu) e dobras e clivagens nas rochas sedimentares (Formação Tepequém) (Figura 42 A).

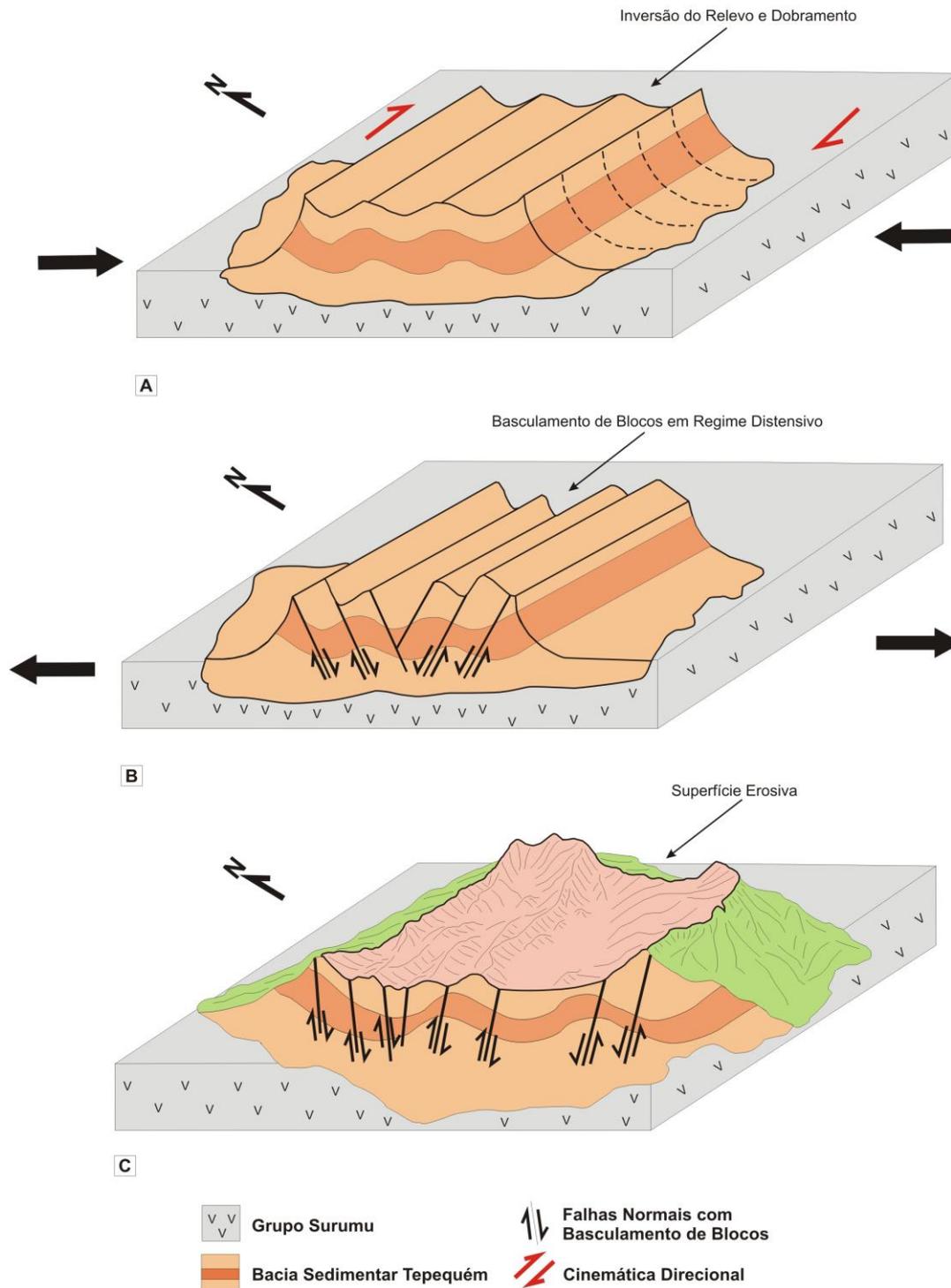
Estas estruturas evidenciam arranjo geométrico interpretado na serra, configurada em uma dobra sinclinal de magnitude quilométrica, cerca de 10 km, com eixo na direção preferencial ENE-WSW exibindo um leve caimento

para WSW (GUERRA, 1957; BORGES e D'ANTONA, 1988; FERNADES FILHO, 2010).

Feixes de lineamentos com direção preferencial NE-SW, ENE-WSW, E-W e NW-SE estão ligados a uma expressiva tectônica distensional do Escudo das Guianas, responsável pela desfragmentação do Pangea, podendo ter afetado a bacia sedimentar Tepequém. Evidenciou-se planos de falhas normais que se desenvolveram em linhas de fraquezas das estruturas antigas do embasamento, sendo estas ligadas ao episódio K'Mudku. A interpretação das imagens digitais indica rugosidades expressivas no topo da serra, configurando sucessivas dobras anticlinais e sinclinais, basculados por sistema de falhas normais relacionado a abertura do oceano Atlântico norte(Figura 42 B).

O modelado atual da serra do Tepequém reflete o controle das estruturas tectônicas, subordinadas a zonas cisalhamento transcorrentes NE-SW, E-W e NW-SE. Este arcabouço tectônico condiciona a morfologia atual, mas a modelagem do relevo é promovida por sucessivos processos erosivos, que de acordo com Guerra (1957); Beserra Neta (2008) constitui uma extensa superfície de erosão (Figura 42 C).

Figura 41 – A) Inversão da bacia sedimentar, por meio de esforço transpressivo distal gerando suaves dobras; B) Esforço distensivo promovendo falhas normais e basculamento de blocos e C) Superfície erosiva representando a serra do Tepequém, evidenciando os processos atuantes no modelado atual.



Fonte: Elaboração própria

O modelado que compõe a atual paisagem da serra do Tepequém tem destaque em relação aos relevos regionais, devido suas características que leva em consideração o arcabouço estrutural e os processos atuantes.

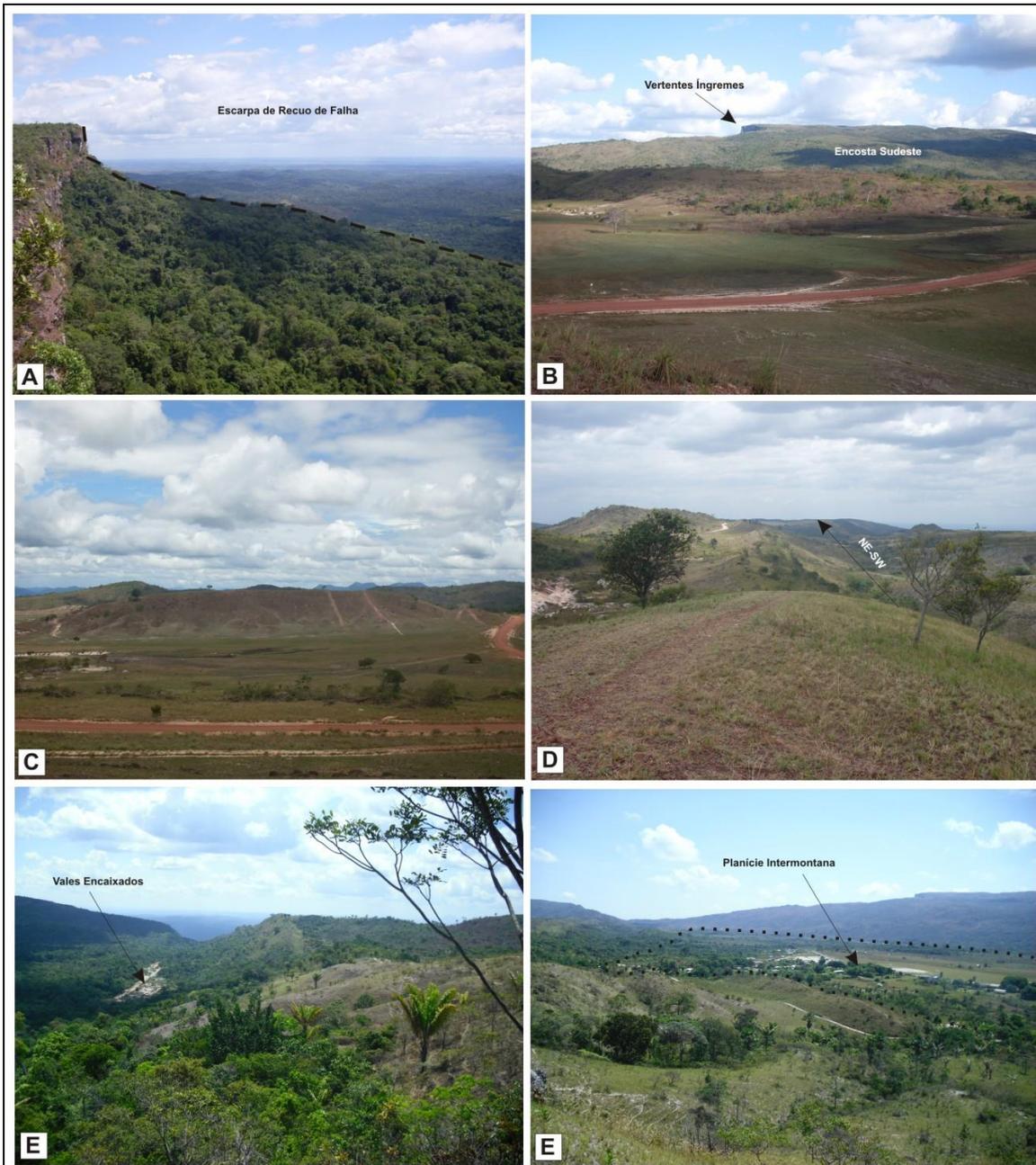
Em literaturas anteriores, a serra do Tepequém é considerada como uma morfologia de relevo tabular, constituindo um testemunho isolado destes relevos compondo a paisagem da região da gran savanna, compostas por relevos em forma de grandes mesas escarpadas, atingindo até 2.700 metros de altitude, a exemplo do monte Roraima. A estrutura que compõe o Tepequém e os modelado que constitui sua paisagem que vai de contraponto com os estudos de Briceño e Schubert (1990); Briceño, Schubert e Paolini (1990); Piccini (1995), descaracterizando a qualidade de relevo tabular para a serra.

Deste modo, a compartimentação geomorfológica evidenciada na serra apresenta modelados de relevo distintos, desenvolvidos em um relevo de planalto em estrutura dobrada de grande amplitude.

Dentre estes modelados, destacam-se as Escarpas de Recuo de Falha, resultante do trabalho de erosão das encostas, composta por sedimentos que formam o talude da serra (Figura 43 A). As Encostas Íngremes, sendo morfologia configurada pelas bordas da serra, bordejada pelas escarpas fortemente abruptas ao longo de todo o topo da serra, podendo atingir 1.100 metros de altitude (Figura 43 B) e Morros Residuais Alinhados sendo resultantes dos processos erosivos e têm altitudes que variam entre 680 a 900 metros. Estes estão estruturalmente orientados nas direções NE-SW e E-W (Figura 43 C e D), constituindo modelados de dissecação.

Os modelados de acumulação identificados são os Vales Encaixados, concordantes com as estruturas pré-existentes (Figura 43 E) e as Planícies Intermontanas, constituindo áreas aplainadas encontradas no interior da serra e são resultantes da acumulação de material erodido das áreas mais elevadas (Figura 43 F), de acordo com os estudos de Beserra Neta (2008); Beserra Neta, Nascimento e Tavares Júnior (2012).

Figura 42 - A) Escarpa de Recuo de Falha; B) Encosta íngreme, bordejada pela escarpa de falha, fortemente abrupta; C) Morros Residuais Alinhados; D) Cadeia de morros orientados em direção NE-SW e E-W; E) Vales encaixados e D) Planície Intermontana, destacando a grande área aplainada encaixada entre as encosta e os morros residuais.



Fonte: O autor.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A paisagem que compõe a Serra do Tepequém tem características singulares e bastante relevantes para os estudos da interpretação das formas de relevo e dos constituintes fisiográficos presentes. Com base nos dados coletados e resultados obtidos podem-se tecer as seguintes observações:

- Os produtos obtidos por meio de manipulação de MDE, tais como dados de altimetria e declividade, digitalmente integrados com imagens de sensoriamento remoto, mostram-se eficazes para a interpretação das variações texturais que compõe a paisagem no topo da serra do Tepequém. A variação destas rugosidades que distribuem-se ao longo do topo da serra, destacam um acentuado desnível altimétrico a cerca de 600 metros;
- A análise fotointerpretativa, pôde contribuir para a interpretação estrutural da serra. As análises indicam uma estrutura decorrente de um sistema de falhas transcorrentes destras NE-SW, que condicionam a orientação do relevo e drenagem, com caráter compressivo com vergência NW-SE, além da presença de planos de cisalhamento sinistrais com orientação oposta aos demais planos com orientações NW-SE;
- O arcabouço tectônico interpretado por meio do mapa morfoestrutural, indica uma estrutura dobrada (sinclinal) com eixo na direção preferencial ENE-WSW e no interflanco, dobras siniformes e antifforme de menor expressão com eixos de direção NE-SW, basculadas por falhas normais representando áreas de alto e baixo morfoestruturais;
- A interpretação dos dados altimétricos em conjunto com a análise do arcabouço morfoestrutural da serra, descaracteriza o termo tabular para a serra do Tepequém, pois esta apresenta variações altimétricas significativas e diferentes formas de relevo em seu topo;

- A análise evolutiva da bacia sedimentar Tepequém sugere que está inserida numa área submetida a episódios deformacionais com domínio rúptil-dúctil e rúptil. O regime de domínio rúptil-dúctil esta relacionada com o episódio K'Mudku, com cisalhamento transpressivo NE-SW, ocasionando a inversão do relevo. O regime de domínio rúptil está relacionado a um evento distensivo, com falhas normais que delinearão sucessivos basculamento de blocos, condicionando a rugosidade no topo da serra.
- Os dados fotointerpretativos em imagens de sensoriamento e remoto, em conjunto com dados morfoestruturais, foram importantes para a delimitação da compartimentação geomorfológica da serra, sendo esta classificada como relevo de planalto, elaborado em dobra de grande amplitude.
- As formas de relevo identificadas na serra do Tepequém são classificadas em: Modelado de dissecação – escarpa erosiva de entorno, encostas íngremes e morros residuais alinhados orientados em direção preferencial NE-SW e Modelado de acumulação – vales encaixados e superfícies aplainadas intramontanas;
- Uma perspectiva de uso e ocupação para a serra do Tepequém, é a implementação de atividades que visam a percepção desta paisagem, de forma sustentável, como o geoturismo, na qual se contempla o meio físico geológico-geomorfológico de um local visitado de maneira orientada, apresentando esse meio como um produto de desenvolvimento sustentável do turismo com base local;

Portanto, os estudos que integram técnicas fotointerpretativas em imagens de sensores remotos e produtos multifontes, a fim de caracterizar as feições morfoestruturais e geomorfológicas, constituem-se em um passo importante para o entendimento da evolução da paisagem.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, M. R. S. **Análise Litoestrutural das Áreas de Cachoeiras da Serra do Tepequém e suas Correlações com o Domínio Litoestrutural Urariqüera–RR.** 2012. 80 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Curso de Geologia, Universidade Federal de Roraima, Boa Vista, 2012.

ALMEIDA, M. R. S.; BESERRA NETA, L. C.; TAVARES JÚNIOR, S. S. **Contribuição de Estruturas Geológicas no Modelado das Formas Erosivas Lineares (voçorocas) na Serra do Tepequém, Roraima.** In: NASCIMENTO, R. S. C.; HORBE, A. M. C.; ALMEIDA, C. M. (Org.) *Contribuições À Geologia da Amazônia.* SBG – Núcleo Norte. Belém, 2011. pp. 71-79.

ARAÚJO, C. C.; YAMAMOTO, J. K.; MADRUCCI, V. : **Análise Morfoestrutural em Área de Ocorrência de Arenito Asfáltico, Bacia do Paraná, São Paulo.** Revista do Instituto Geológico, v. 24 São Paulo, 2003. pp. 25-41.

BARBOSA, R. I.; **Distribuição das Chuvas em Roraima.** In: BARBOSA, R. I.; FERREIRA, E. J. G.; CASTELLÓN, E. G. (Eds.) *Homem, Ambiente e Ecologia no Estado de Roraima.* Ed. INPA. Manaus, 1997. pp. 325-335.

BERTRAND, G. **Paisagem e Geografia Física Global. Esboço Metodológico.** Revista RA'EGA. n 8. Ed. da UFPR. Curitiba, 2004. pp 141-152.

BESERRA NETA, L. C.; **Análise Evolutiva da Paisagem da serra do Tepequém- Roraima e o Impacto da Atividade Antrópica.** Tese de Doutorado Apresentado ao Programa de Pós-graduação em Geologia e Geoquímica da UFPA. Belém, 2008.

BESERRA NETA, L. C.; COSTA, M. L.; BORGES, M. S. **A planície intermontana Tepequém, Roraima, e sua vulnerabilidade erosiva.** In: ROSA-COSTA, L. T. ; KLEIN, E. L.; VIGLIO, E. P. (Eds.) *Contribuições à Geologia da Amazônia.* Belém: SBG - Núcleo Norte, 2007. v.5, pp.89-100.

BESERRA NETA, L. C.; NASCIMENTO, F. A.; TAVARES JÚNIOR, S. S. **Caracterização das Feições Geomorfológicas da Paisagem da Serra do Tepequém (Norte de Roraima, Brasil).** In: LOPES, F. C.; ANDRADE, A. L.; HENRIQUES, M. H.; QUINTA-FEIRA, M.; BARATA, M. T.; PENA DOS REIS, R. (Org.) *Para Conhecer a Terra: Memórias e Notícias de Geociências no Espaço Lusófono.* Seção 7-As paisagens no espaço e no tempo. Vol 1. Imprensa da Universidade de Coimbra. Coimbra, 2012. pp. 435-442

BESERRA NETA, L. C.; TAVARES JÚNIOR, S. S. **Geomorfologia do Estado de Roraima por Imagens de Sensores Remotos.** In: SILVA, P. R. F.; OLIVEIRA, R. S. (Org.) *Roraima 20 Anos: As Geografias de um Novo Estado.* Ed. UFRR. Boa Vista, 2008. pp. 168-192.

BORGES, F. R.; D'ANTONA, R. J. G. **Geologia e Mineralizações da Serra do Tepequém – (RR)**. Anais do XXXV Congresso Brasileiro de Geologia. SBG, v.1. Belém, 1988. pp. 155-163.

BRICEÑO, O. H.; SCHUBERT, C. **Geomorphology of the Gran Sabana, Guayana Shield, Southeastern Venezuela**. Geomorphology. Elsevier Science Publishers. nº 3. Amsterdam, 1990. pp. 125-141

BRICEÑO, O. H.; SCHUBERT, C; PAOLINI, J. **Table-mountain Geology and surficial geochemistry: Chimatá Massif, Venezuelan Guayana Shield**. Journal of South American Sciences. Vol 3, n 4. Londres, 1990 pp. 179-194

BURBANK, D. W.; ANDERSON, R. S. **Tectonic Geomorphology**. 2ª ed. Ed. Wiley-Blackwell. Oxford, UK. 2012. 454 pg.

CARVALHO, T. M.; LATRUBESSE, E. M. **Aplicação de Modelos Digitais do Terreno (MDT) em Análises Macrogeomorfológicas: O caso da Bacia Hidrográfica do Araguaia**. Revista Brasileira de Geomorfologia, Ano 5, n 1., 2004. pp. 85-93

CORRÊA, A. C. B.; TAVARES, B. A. C.; MONTEIRO, K. A.; CAVALCANTI, L. C. S. ; LIRA, D. R. **Megageomorfologia e Morfoestruturas do Planalto da Borborema**. Revista do Instituto Geológico, n 31. São Paulo, 2010. pp. 35-52

CHAVEZ, P. S. **An Improved Dark-object Subtraction Technique for Atmospheric Scattering Correction of Multispectral data**. Remote Sensing of Environment. vol 24. Elsevier Science Publishing. New York, 1988. pp. 459-479

CHRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de Sistemas Ambientais**. 1ª Ed. 5ª Reimpressão. Ed. Edgard Blucher. São Paulo, 2010. 236 pg.

COSTA, M. L.; BESERRA NETA, L. C. **Textura e Mineralogia de Solos na Serra do Tepequém: Diversidade e Litodependência**. In: In: NASCIMENTO, R. S. C.; HORBE, A. M. C.; ALMEIDA, C. M. (Org.) Contribuições À Geologia da Amazônia. SBG – Núcleo Norte. Belém, 2011. pp. 57-70.

COSTA, J. A. V.; **Compartimentação do Relevo do Estado de Roraima**. In: OLIVEIRA, R. S. (Org.); Roraima em Foco: Pesquisas e Apontamentos Recentes. Ed. da UFRR. Boa Vista, 2008. pp. 77-107.

CPRM – Serviço Geológico do Brasil. **Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. Roraima Central, Folhas NA.20-X-B e NA.20-X-D (integrais), NA.20-X-A, NA.20-X-C, NA.21-V-A e NA.21-V-C (parciais). Escala 1:500.000**. Estado de Roraima. Superintendência Regional de Manaus. Manaus, 1999. 166 p. CD-Rom.

_____. **Carta Geológica, Folha NA.20-X-A-III Vila de Tepequém**. Programa Geologia do Brasil, Mapa Geológico, escala 1:100.000. 2010.

DEFFONTAINES, B.; CHOROWICZ, J. **Principles of drainage basin analysis from multisource data: applications to the structural analysis of the Zaire basin.** Tectonophysics. n. 194, Amsterdam, 1991. pp. 237-263

DEMEK, J.; KIRCHNER, K.; MACKOVICIN, P.; SLAVIK, P. **The Map of Morphostructures of the Czech Republic.** Rev. Geomorphologia Slovaca et Bohemica, n1 2007. pp. 4-14

EVANGELISTA, R. A. O.; SANDER, C.; WANKLER, F. L.; **Estudo Preliminar da Distribuição Pluviométrica e do Regime Fluvial da Bacia do Rio Branco.** In: SILVA, P. R. F.; OLIVEIRA, R. S. (Org.) Roraima 20 Anos: As Geografias de um Novo Estado. Ed. UFRR. Boa Vista, 2008. pp. 142-167.

FERREIRA, V. O. **A Abordagem da Paisagem no Âmbito dos Estudos Ambientais Integrados.** Geotextos: Revista do Programa de Pós-graduação em Geografia da UFBA. Vol. 6, n. 2. Salvador, 2010. pp. 187-208.

FERNANDES FILHO, L. A. **Facies Depositionais, Estratigrafia e Aspectos Estruturais da Cobertura Sedimentar Paleoproterozóica na Serra do Tepequém, Escudo das Guianas, Estado de Roraima.** Tese de Doutorado Apresentado ao Programa de Pós-graduação em Geologia e Geoquímica da UFPA. Belém, 2010. 115 pg.

FITZ, P. R. **Geoprocessamento Sem Complicação.** Ed. Oficina de Texto. São Paulo, 2008. 160 p.

FLORENZANO, T. G. **Sensoriamento Remoto para Geomorfologia.** In: FLORENZANO, T. G. (Org.) Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais. Ed. Oficina de Texto. São Paulo, 2008. pp. 31-71.

FRAGA L.M.B.; REIS N.J.; PINHEIRO S. S. Arranjo Estrutural do Segmento Sul do Bloco Pacaraima, Estado de Roraima. In: IV Simpósio de Geologia da Amazônia, 4, 1994, Belém. **Anais do IV Simpósio de Geologia da Amazônia.** Belém: SBG, 1994.

FRANCO, E. M.S.; DEL'ARCO, J. O.; RIVETT, M. **Geomorfologia da folha NA.20 Boa Vista.** In: BRASIL, Departamento Nacional de Produção Mineral. Projeto Radam. Folha Na-20 Boa Vista e parte das folhas NA-21 Tumucumaque, NB-20 Roraima e NB-21: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro: DNPM, 1975 pp. 139-180.

GARCÍA-PALOMO, A.; ZAMORANO, J. J.; LÓPEZ-MIGUEL, C.; GALVÁN-GARCÍA, A.; CARLOS-VALÉRIO, V.; ORTEGA, R.; MACÍAS, J. L. **El Arregolo Morfoestructural de la Sierra de Las Cruces, México Central.** Revista Mexicana de Ciencias Geológicas. Vol. 25, nº 1. Ciudad de México, 2008. pp. 158-178.

GUERRA, A. T. **Estudo Geográfico do Território Federal de Roraima.** IBGE-Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Rio de Janeiro, 1957. 252 p.

GUERASSIMOV, P. I. **Essai d'interpretation geomorphologique Du Scheme General de la Structure géologique de U.R.S.S.** Problems de Geographi physique. Moscou 1946

HOWARD, A. D. **Drainage Analysis in Geologic Interpretation. A Summation.** The American Association of the petroleum geologist Bulletin. Vol 51, 1967. pp. 2246-2259.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Carta plani-altimétrica vila Tepequém** - Folha NA.20-X-A-III-MI-25. Rio de Janeiro, 1983. Escala 1:100.000

_____. **Mapa Geomorfológico do Estado de Roraima.** Diretoria de Geociências – Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. 1ª Ed. Rio de Janeiro, 2005. Escala 1:1.000.000

_____. **Manual Técnico de Geomorfologia.** n 5, 2ª Ed. Rio de Janeiro, 2009. 175 p

_____. **Manual Técnico da Vegetação Brasileira.** n 1, 2ª Ed. Rio de Janeiro, 2012. 271 p.

LEITE, M. R.; BRITO, J. L. S. **Mapeamento Morfoestrutural e Morfoescultural na Região de Cerrado no Norte de Minas Gerais.** Revista Sociedade e Natureza. UFU. Ano 24, n 1, jan/abr. Uberlândia, 2012. pp. 115-126

MADRUCCI, V.; VENEZIANI, P.; PARADELLA, W. R. **Estudo Estrutural através da interpretação em Imagens TM-Landsat 5 e sua associação com mineralizações auríferas em Alta Floresta, Mato Grosso.** In: KLEIN, E. V.; VASQUEZ, M. L.; ROSA-COSTA, L. T. (Org) Contribuições a Geologia da Amazônia. Vol 3. Belém, 2002. pp. 215-226.

MAXIMIANO, L. A. **Considerações Sobre o Conceito de Paisagem.** Revista RA'EGA, Ed. da UFPR. Curitiba, 2004. pp. 83-91.

MENESES, M. E. N. S.; COSTA, M. L.; COSTA, J. A. V. **Os Lagos do Lavrado de Boa Vista – Roraima: fisiografia, físico-química das águas, mineralogia e química dos sedimentos.** Revista Brasileira de Geociências. Nº 37, vol. 3. 2007. pp. 478-489.

MESCERJAKOV. J. P. **Les Concepts de Morphostructure et de Morphoesulpture, um nouvel instrument de analyse geomorphologique.** Annales de Geographie. N 77. 1968. pp. 539-552.

NAME, L. **O Conceito de Paisagem na Geografia e sua Relação com o Conceito de Cultura.** Geotextos: Revista do Programa de Pós-graduação em Geografia da UFBA. Vol. 6, n. 2. Salvador, 2010. pp. 163-186.

NASCIMENTO F. A.; TAVARES JÚNIOR, S. S.; BESERRA NETA, L. C. **Estudo dos Compartimentos Geomorfológicos na Serra do Tepequém – RR, Através de Fotointerpretação em Imagens de Sensores Remotos e Produtos Integrados via IHS.** Revista GeoNorte-UFAM. Ed. Especial. Vol. 2, n 4. Manaus, 2012. pp. 1464-1474.

OLLIER, C. D. **Glossary of Morphotectonics.** Dep. Geo. University of New England. Austrália, 1988. 51pg.

PICCINI, L. **Karst in Siliceous rocks: Karts Landforms and Caves in the Auyan-tepui (Est. Bolívar, Venezuela).** International Journal of Speleology, n 24, 1995. pp. 41-54

RABUS, B.; EINEDER, M.; ROTH, A.; BAMLER, R. **The Shuttle Radar Topography mission – a new class of digital elevations models acquired by Spaceborne Radar.** Journal of Photogrammetry e Remote Sensing. n 57, 2003. pp. 241-262.

RAJ, R. **Active tectonics of NE Gujarat (India) by morphometric and morphostructural studies of Vatrak River basin.** Journal of Asian Earth Scienses. Vol 50. Elseiver, 2012. pp 66-58. Acessado em: www.elsevier.com/locate/jseaes

REIS, J. N.; DREHER, A. M.; FRAGA, L. M.; SCANDOLARA, J.; BETIOLLO, L. **Serra do Tepequém, Roraima, um possível remanescente de uma caldeira vulcânica paleoproterozóica – estudos preliminares.** Anais do XI Simposio de Geologia da Amazônia. CPRM. Manaus, 2009.

RODRIGUEZ, J. M. M.; SILVA, E. V. **A Classificação das Paisagens a partir de uma Visão Geossistêmica.** Revista Geog. Mercator. Havana, 2002. pp. 95-112.

RODRIGUEZ, J. M. M.; SILVA, E. V.; CAVALCANTI, A. P. B. **Geocologia das Paisagens: Uma visão geossistêmica da análise ambiental.** 3ª Ed. Ed. da UFC. Fortaleza, 2010. 222 pg.

ROSOLÉM, N. T.; ARCHELA, R. S. **Geossistema, Território e Paisagem como Método de Análise Geográfica.** Anais do VI Seminário Latino-Americano de Geografia Física, II Seminário Ibero-Americano de Geografia Física. Universidade de Coimbra. Coimbra, 2010.

ROSA, R. **Geotecnologias na Geografia Aplicada.** Revista do Departamento de Geografia. Ed. USP. N 16. São Paulo, 2005. pp. 81-90

ROSS, J. L. S. **O Relevo Brasileiro, as Superfícies de Aplainamento e os Níveis Morfológicos e os Níveis Morfológicos.** Revista do Departamento de Geografia da USP. Ed. USP. São Paulo 1985. pp. 7-24.

ROSS, J. L. S. **O Registro Cartográfico dos Fatos Geomorfológicos dos Fatos Geomorfológicos e a questão da Taxonomia do Relevo.** Revista do Departamento de Geografia da USP. Vol 5. Ed. USP. São Paulo, 1992. pp. 17-29.

ROSS, J. L. S.; MOROZ, I. C. **Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo.** Revista do Departamento de Geografia da USP. Ed. USP. São Paulo, 1996. pp. 41-56.

SAUER, C. O. **A Morfologia da Paisagem.** In: Corrêa R.L. e Rosendahi Z. (org), Paisagem, Tempo e Cultura. Rio de Janeiro: Ed. UERJ, p.12-74, 1998.

SANTOS, A. R. **A Tectônica e as Formas de Relevo.** In: FLORENZANO, T. G. (Org.) Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais. Ed. Oficina de Textos. São Paulo, 2008. pp. 129-157.

SANTOS, A. R.; VENEZIANE, P.; PARADELLA, W. R.; MORAES, M. C. **Radar Aplicado ao Mapeamento Geológico e Prospecção Mineral: aplicações.** INPE/ADIMB. São José dos Campos, 2000a. 103 p.

SANTOS, J. O. S.; HARTMANN, L. A.; GAUDETTE, H. E.; GROVES, D. I.; MENAUGITON, N. J.; FLETTCHER, I. R. **A New Understanding of the Provinces of the Amazon Craton based on Integration of Field Mapping and U – Pb and Sm – Nd Geogronology.** Gondwana Research, v. 3, nº 4, 2000. pp. 453-488.

SILVA, E. L. **A Vegetação de Roraima.** In: BARBOSA, R. I.; FERREIRA, E. J. G.; CASTELLÓN, E. G. (Eds.) Homem, Ambiente e Ecologia no Estado de Roraima. Ed. INPA. Manaus, 1997. pp. 401-415.

SILVA, D. A.; NASCIMENTO, F. A.; SILVA, L. D.; BESERRA NETA, L. C.; TAVARES JÚNIOR, S. S. **Características Geomorfológicas e a Atuação Antrópica na Formação da Atual Paisagem em Boa Vista, Bonfim e Pacaraima.** Revista Acta Geográfica. Ano III, nº 6. Ed. UFRR. Boa Vista, 2009. pp. 55-64.

SILVA, J. X. **Geomorfologia, Análise Ambiental e Geoprocessamento.** Revista Brasileira de Geomorfologia. vol 1, nº I. Rio de Janeiro, 2000. pp. 48-58.

SILVA, T. I.; RODRIGUES, S. C. **Tutorial de Cartografia Geomorfológica ArcGis 9.2 e ENVI 4.0.** Revista Geográfica Acadêmica-UFU. n 1. Uberlândia, 2009. 66 pg.

SCHIER, R. A. **Trajetórias do Conceito de Paisagem na Geografia.** Revista RA'EGA, Ed. da UFPR. Curitiba, 2003. pp. 79-85.

TAVARES JÚNIOR, S. S. **Utilização de Imagens de Sensoriamento Remoto, Dados Aerogeofísicos e de Técnicas de Tese de Doutorado em Integração Digital para o Estudo Geológico do Norte do Estado de Roraima – Brasil.** Sensoriamento Remoto apresentada no Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE. São José dos Campos, 2004. 226 pg.

TRICART, J. A Geomorfologia nos estudos integrados de ordenação do meio natural. **Boletim Geográfico**, Rio de Janeiro, n.34, p.15-42. 1977.

THOMAS, M. F. **Landscape Sensitivity in the time and Space – An introduciton**. Catena, n 42, 2001. pp. 83-98

VALE JÚNIOR, J. F.; PARENTE JÚNIOR, W.; BENEDETTI, U. G.; SCHAEFER, C. E. G. R.; MELO, V. F. **Classificação e caracterização dos Solos sob Savana**. In: (Org) VALE JÚNIOR, J. F.; SCHAEFER, C. E. G. R. Solos Sob Savanas de Roraima: Gênese, Classificação e Relações Ambientais. 1ª Ed. Boa Vista, 2011. pp. 37-108.

VALERIANO, M. M. **Dados Topográficos**. In: FLORENZANO, T. G. (Org.) Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais. Ed. Oficina de Textos. São Paulo, 2008. pp. 72-104.

VALERIANO, M. M. **TOPODATA: Guia de Utilização de Dados Geomorfológicos Locais**. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE. São José dos Campos, 2008 75p.

VENEZIANI, P. & ANJOS, C. E.: **Metodologia de Interpretação de Dados de Sensoriamento Remoto e Aplicações em Geologia**. 2ª versão. Ed. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais-INPE. São José dos Campos, 1982. 54 pg.