



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS – UFG
INSTITUTO DE ESTUDOS SÓCIO-AMBIENTAIS – IESA
PROGRAMA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

**Análise de parâmetros morfométricos e morfográficos
para mapeamento geomorfológico da bacia do rio Água
Limpa (GO)**

Luiz Eduardo Giacomolli Machado

GOIÂNIA – GO
2012

TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR AS TESES E DISSERTAÇÕES ELETRÔNICAS (TEDE) NA BIBLIOTECA DIGITAL DA UFG

Na qualidade de titular dos direitos de autor, autorizo a Universidade Federal de Goiás (UFG) a disponibilizar, gratuitamente, por meio da Biblioteca Digital de Teses e Dissertações (BDTD/UFG), sem ressarcimento dos direitos autorais, de acordo com a Lei nº 9610/98, o documento conforme permissões assinaladas abaixo, para fins de leitura, impressão e/ou *download*, a título de divulgação da produção científica brasileira, a partir desta data.

1. Identificação do material bibliográfico: **Dissertação** **Tese**

2. Identificação da Tese ou Dissertação

Autor (a):	Luiz Eduardo Giacomolli Machado		
E-mail:	luizeduardo_machado@hotmail.com		
Seu e-mail pode ser disponibilizado na página?	<input checked="" type="checkbox"/> Sim	<input type="checkbox"/> Não	
Vínculo empregatício do autor:	Secretaria Estadual do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos (SEMARH-GO)		
Agência de fomento:	Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico	Sigla:	CNPq
País:	Brasil	UF:	GO CNPJ:
Título:	Análise de parâmetros morfométricos e morfográficos para mapeamento geomorfológico da bacia do rio Água Limpa (GO)		
Palavras-chave:	morfometria; mapeamento geomorfológico; bacia hidrográfica		
Título em outra língua:	Analysis of morphometric and morphographic parameters for geomorphological mapping of Água Limpa river watershed (GO)		
Palavras-chave em outra língua:	Morphometry;	geomorphological	mapping; watershed
Área de concentração:	Dinâmica sócio espacial: urbana, agrária, regional e ambiental		
Data defesa:	(11/10/2012)		
Programa de Pós-Graduação:	Programa de Pesquisa e Pós-Graduação em Geografia		
Orientador (a):	Profª Drª Cláudia Valéria de Lima		
E-mail:	claudia@iesa.ufg.br; claudlima@gmail.com		
Co-orientador (a):*			
E-mail:			

*Necessita do CPF quando não constar no SisPG

3. Informações de acesso ao documento:

Concorda com a liberação total do documento SIM NÃO¹

Havendo concordância com a disponibilização eletrônica, torna-se imprescindível o envio do(s) arquivo(s) em formato digital PDF ou DOC da tese ou dissertação.

O sistema da Biblioteca Digital de Teses e Dissertações garante aos autores, que os arquivos contendo eletronicamente as teses e ou dissertações, antes de sua disponibilização, receberão procedimentos de segurança, criptografia (para não permitir cópia e extração de conteúdo, permitindo apenas impressão fraca) usando o padrão do Acrobat.

Assinatura do (a) autor (a)

Data: ____ / ____ / ____

¹ Neste caso o documento será embargado por até um ano a partir da data de defesa. A extensão deste prazo suscita justificativa junto à coordenação do curso. Os dados do documento não serão disponibilizados durante o período de embargo.

Luiz Eduardo Giacomolli Machado

**Análise de parâmetros morfométricos e morfográficos
para mapeamento geomorfológico da bacia do rio Água
Limpa (GO)**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pesquisa e Pós Graduação em Geografia da Universidade Federal de Goiás, como parte dos requisitos para a obtenção do título de mestre em Geografia.

Área de concentração: Natureza e Produção do Espaço.

Linha de pesquisa: Dinâmica Socioambiental: urbana, agrária, regional e ambiental.

Orientadora: Prof. Dra. Cláudia Valeria de Lima

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
GPT/BC/UFG**

M149a Machado, Luiz Eduardo Giacomolli.
Análise de parâmetros morfométricos e morfográficos para mapeamento geomorfológico da bacia do rio Água Limpa (GO) [manuscrito] / Luiz Eduardo Giacomolli Machado. – 2012.
xvii, 135 f. : il., figs, tabs.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Cláudia Valéria de Lima.
Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Goiás,
Instituto de Estudos Socioambientais, 2012.

Bibliografia.

1. Mapeamento geomorfológico. 2. Morfometria. 3. Bacia hidrográfica. I. Título.

CDU: 551.5(817.3)

TERMO DE APROVAÇÃO

Luiz Eduardo Giacomolli Machado

Análise de parâmetros morfométricos e morfográficos para mapeamento geomorfológico da bacia do rio Água Limpa (GO)

Dissertação defendida no Programa de Pesquisa e Pós-Graduação em Geografia, do Instituto de Estudos Socioambientais da Universidade Federal de Goiás, para a obtenção do grau de Mestre, aprovado em _____ de _____ de _____, pela Banca Examinadora constituída pelos seguintes professores:

Profa. Dra. Cláudia Valéria de Lima – IESA/UFG
Orientadora

Prof. Dr. Maximiliano Bayer – IESA/UFG
Membro titular interno

Prof. Dr. Osmar Abílio de Carvalho Junior – ICH/UnB
Membro titular externo

**Dedico à minha família pela força e inspiração
e aos meus falecidos avós Geraldo e Wilma
Giacomoli.**

AGRADECIMENTOS

Ao IESA – Instituto de Estudos Sócio-Ambientais, pela possibilidade do desenvolvimento deste trabalho;

A professora Dr. Cláudia Valéria de Lima, pela orientação, pela paciência e pelo apoio em todos os momentos;

Aos meus colegas da Secretaria do Meio Ambiente e Recursos Hídricos (SEMARH), Superintendência de Recursos Hídricos;

Ao professor Pedro Vieira, grande amigo, colega de campanhas de campo e pessoa pela qual tenho grande apreço.

Ao Laboratório de Processamento de Imagens e Geoprocessamento (LAPIG) do IESA, em especial aos Professores Laerte e Manuel. Foram dois anos de estágio onde adquiri amizades, conhecimento e postura acadêmica;

Ao Laboratório de Geomorfologia, Pedologia e Geografia Física (LABOGEF) do IESA, em especial aos Professores Max, Alfredo e Karla e ao colega Elizon Dias Nunes;

Análise de parâmetros morfométricos e morfográficos para mapeamento geomorfológico da bacia do rio Água Limpa (GO).

Resumo: A bacia hidrográfica do rio Água Limpa localiza-se na porção oeste do Estado de Goiás e é a maior contribuinte do rio Vermelho, que por sua vez deságua no rio Araguaia. A bacia do Água Limpa compreende parte dos municípios de Jussara, Santa Fé de Goiás, Britânia e Itapirapuã. Esta inserida no sistema de aplainamento da Depressão do Araguaia, correspondendo a uma enorme planície com extenso e profundo pacote sedimentar localizado na região central do Brasil, acompanhando o rio Araguaia. Suas formas de relevo são predominantemente planas e de baixas altitudes, trabalhadas por processos de etchplanação. A bacia distribui-se principalmente sobre três unidades litoestratigráficas - Formação Araguaia, Arco Magmático de Goiás e Complexo Alcalino - que associadas ao clima tropical subúmido predominante formam solos profundos e laterizados. Em algumas porções da bacia, principalmente em zonas de interflúvios tomadas por Latossolo Vermelho, verifica-se a ocorrência de sedimentos ferruginosos ligados às fases de aplainamento de ciclos geomorfológicos. Tais sedimentos sustentam superfícies menos aplainadas e que se diferenciam na paisagem. O presente trabalho versa sobre a utilização de parâmetros morfométricos e morfográficos no mapeamento geomorfológico da bacia do rio Água Limpa. Tais parâmetros, extraídos de modelos de elevação TOPODATA e trabalhados na escala de 1:150.000, englobam características referentes aos aspectos quantitativos do relevo da bacia, permitindo o entendimento e a classificação das feições geomorfológicas. Foi possível combinar informações de primeira ordem, como altimetria, declividade e orientação das vertentes; com informações de segunda ordem: curvatura vertical, curvatura horizontal e formas do relevo; e de terceira ordem: índices de drenagem e de concentração de rugosidade. Tais combinações permitem identificar compartimentos distintos. O mapeamento segue os pressupostos metodológicos de Ross (1992) e Brasil (1981) para a classificação e interpretação do relevo segundo níveis taxonômicos. O relevo foi classificado até o quarto nível taxonômico, referente ao padrão das formas semelhantes ou unidades morfológicas. As formas identificadas foram: a) Formas de Agradação (acumulação), representadas pelas Planícies e Terraços Fluviais e pelas Planícies Flúvio-lacustres; b) Formas de Degradação, representadas pelas Depressões Aplainadas ou Superfícies de Aplainamento associadas à Formação Araguaia; e c) Formas Estruturais, como as Serras e Morros residuais associados ao Arco Magmático e ao Complexo Alcalino. Dessa maneira, foi possível identificar os compartimentos do relevo da bacia em questão e mapeá-los. A análise morfométrica da bacia do rio Água Limpa se deu sob a perspectiva de sistema geomorfológico complexo, considerando que o contexto da bacia hidrográfica permite, entre outros fatores, a compreensão das variações espaço-temporais dos processos morfogênicos dinamizados pelo aplainamento do relevo.

Palavras-chave: morfometria, mapeamento geomorfológico, bacia hidrográfica.

Analysis of morphometric and morphographic parameters for geomorphological mapping of Água Limpa river watershed (GO)

Abstract:

The Água Limpa river watershed is located in the western portion of the state of Goiás and it's the largest contributor to the Rio Vermelho, which in turn empties into the Araguaia river. The Água Limpa watershed comprises the municipalities of Jussara, Santa Fé de Goiás, Britânia and Itapirapuã. The watershed is inserted in the system planing of Araguaia Depression, corresponding to a huge plain with extensive and deep sedimentary package located in central Brazil, following the river Araguaia. It's landforms are predominantly flat and low altitudes, worked by etchplanation processes. The watershed is distributed mainly on three lithostratigraphic units - Training Araguaia Formation, Goiás Magmatic Arc and Alkaline Complex - that associated with tropical subhumid predominant create deep and laterized soils. In some portions of the basin, especially in interfluves zones taken by oxisol, verifies the incident of ferruginous sediments connected to the stages of cycles geomorphological smoothing. These sediments hold less planed surfaces and that differ in the landscape. This present work deals about the use of morphometric and morphographic parameters in geomorphological mapping of Água Limpa river watershed. These parameters, extracted from TOPODATA elevation models and tooled on the scale of 1:150.000, includes characteristics related to quantitative aspects of watershed relief, allowing the understanding and classification of geomorphological features. It was possible to combine information from the first order, as altimetry, slope and orientation of the strands; with second-order information: vertical curvature, horizontal curvature and relief forms; and third order: drainage and concentration of roughness index. These combinations allow identify distinct compartments. The mapping follows the methodological assumptions of Ross (1992) and Brazil (1981) for the classification and interpretation according with relief taxonomic levels. The relief was classified until the fourth taxonomic level, concerning the pattern of similar forms or morphological units. The forms identified were: a) Forms of aggradation (accumulation), represented by the Fluvial Plains and Terraces and the Fluvio-Laky Plains; b) Forms of degradation, represented by Planed Depressions or Planing Surfaces associated to Araguaia Formation; c) Structural Forms, as the Mountains and residual Hills associated with Magmatic Arc and the Alkaline Complex. Thus, it was possible to identify the compartments relief basin in question and map them. The Água Limpa river watershed morphometric and morphographic analysis was made from the perspective of complex geomorphological system, seeing that the context of watershed allows, among other factors, understanding the spatiotemporal variations of morphogenic processes dynamized by planing relief.

Key words: morphometry, geomorphological mapping, watershed.

SUMÁRIO

	Pág.
LISTA DE TABELAS.....	viii
LISTA DE FIGURAS.....	ix
LISTA DE ABREVIACÕES.....	xi
INTRODUÇÃO.....	13
OBJETIVOS.....	17
Objetivo Geral.....	17
Objetivos Específicos.....	17
CAPÍTULO I - FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	18
1.1. Categoria geográfica: paisagem.....	18
1.2. O sistema geomorfológico e a bacia hidrográfica.....	19
1.3. As superfícies de aplainamento.....	22
1.4. Cartografia geomorfológica.....	28
1.5. Os Modelos Digitais de Elevação.....	33
1.6. Informações morfométricas e morfográficas do relevo.....	37
CAPÍTULO II - PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	44
2.1. Estrutura Conceitual.....	44
2.2. Manipulação do Modelo Digital de Elevação.....	45
2.3. Delimitação da bacia e sub-bacias do rio Água Limpa.....	45
2.4. Elaboração de cartas de apoio.....	46
2.5. Cálculo dos atributos morfométricos da bacia hidrográfica.....	47
2.6. Outras derivações do MDE pertinentes ao trabalho.....	48
2.7. Identificação de sistemas fluvio-lacustres.....	48
2.8. Associações das informações morfométricas e morfográficas.....	48
2.9. Trabalhos de campo.....	49
CAPÍTULO III - CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	50
3.1. Localização.....	50

3.2. Clima.....	50
3.3. Geologia.....	53
3.4. Solos.....	59
3.5. Vegetação e Uso do Solo.....	62
CAPÍTULO IV. ANÁLISE MORFOMÉTRICA DA BACIA.....	67
4.1. Dados morfométricos de primeira ordem.....	67
4.2. Dados morfométricos de segunda ordem.....	75
4.3. Outros dados morfométricos e morfográficos utilizados.....	83
CAPÍTULO V. REPRESENTAÇÃO DOS SISTEMAS DE RELEVO.....	88
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	101
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	104

LISTA DE TABELAS

	Pág.
Tabela 01. Principais características dos modelos evolutivos clássicos.....	26
Tabela 02. Principais características da classificação geomorfológica do Estado de Goiás segundo Goiás (2006).....	28
Tabela 03. Relação entre a dimensão interfluvial e o grau de aprofundamento da drenagem - Dissecção do relevo.....	42
Tabela 04. Apanhado geológico da bacia do rio Água Limpa.....	56
Tabela 05. Unidades geológicas da área de estudo.....	60
Tabela 06. Classes de solos da área de estudo.....	63
Tabela 07. Classes de usos do solo da área de estudo.....	67
Tabela 08. Características físicas da área de estudo.....	71
Tabela 09. Classes de altimetria da área de estudo.....	73
Tabela 10. Classes de declividade da área de estudo.....	74
Tabela 11. Classes de orientação das vertentes da área de estudo.....	75
Tabela 12. Classes de formas na curvatura vertical da área de estudo.....	81
Tabela 13. Classes de formas na curvatura horizontal da área de estudo.....	82

Tabela 14.	Classes das formas do relevo da área de estudo.....	84
Tabela 15.	Intervalo das classes de ICR.....	90
Tabela 16.	Classes do índice de concentração de rugosidade da área de estudo.....	90
Tabela 17.	Classificação taxonômica do relevo da bacia do rio Água Limpa (GO).....	96
Tabela 18.	Sistemas geomorfológicos da área de estudo.....	108

LISTA DE FIGURAS

	Pág.	
Figura 01.	Exemplo de modelos evolutivos do relevo. Evolução segundo Davis, Penck e Hack.....	25
Figura 02.	Unidades de classificação do relevo, segundo taxonomia proposta por Ross (1992).....	33
Figura 03.	Ilustração da abrangência do radar de visada lateral (SLAR).....	34
Figura 04.	Variáveis morfométricas locais derivadas da altimetria.....	38
Figura 05.	Combinação das curvaturas para caracterização das formas de terreno.....	41
Figura 06.	Fluxograma metodológico utilizado para a elaboração da compartimentação geomorfológica.....	49
Figura 07.	Localização da bacia hidrográfica do rio Água Limpa (GO).....	51
Figura 08.	Distribuição anual da pluviosidade na região da bacia do rio Água Limpa.....	52
Figura 09.	Perfil laterítico com formação de níveis concrecionados ferruginosos.....	57
Figura 10.	Mapa de unidades geológicas da bacia do rio Água Limpa.....	58
Figura 11.	Mapa de sistemas pedológicos da bacia do rio Água Limpa.....	61
Figura 12.	Mapa de uso do solo da bacia do rio Água Limpa.....	65
Figura 13.	Paisagens típicas da bacia do rio Água Limpa: (1) domínio da pecuária em relevo plano com solos arenosos; (2) e agricultura em relevo suave ondulado com solos lateríticos.....	66
Figura 14.	Distribuição das classes de altimetria.....	68
Figura 15.	Distribuição das classes de declividade.....	69
Figura 16.	Distribuição das classes de orientação das vertentes.....	71

Figura 17.	Mapa de altitude da bacia do rio Água Limpa.....	72
Figura 18.	Mapa de declividade da bacia do rio Água Limpa.....	73
Figura 19.	Mapa de orientação das vertentes (aspecto) da bacia do rio Água Limpa...	74
Figura 20.	Distribuição das classes de curvatura vertical.....	76
Figura 21.	Distribuição das classes de curvatura horizontal.....	77
Figura 22.	Distribuição das formas do relevo.....	78
Figura 23.	Figura indicando as formas do relevo com as respectivas associações.....	79
Figura 24.	Paleta de cores utilizadas para caracterização das vertentes.....	79
Figura 25.	Mapa de curvatura vertical da bacia do rio Água Limpa.....	80
Figura 26.	Mapa de curvatura horizontal da bacia do rio Água Limpa.....	81
Figura 27.	Mapa de formas das vertentes da bacia do rio Água Limpa.....	82
Figura 28.	Distribuição das classes de concentração de rugosidade.....	84
Figura 29.	Mapa de dissecação com base no ICR do relevo.....	85
Figura 30.	Mapa de sombreamento do relevo (<i>hillshade</i>) da bacia do rio Água Limpa.....	86
Figura 31.	Aspecto da textura nas imagens TOPODATA sombreadas (<i>hillshade</i>), indicando o grau de dissecação. A) Dissecação Muito Fraca; B) Dissecação Fraca; C) Dissecação Média; D) Dissecação Forte e E) Dissecação Muito Forte.....	87
Figura 32.	Serras e Morros residuais associados ao Complexo Alcalino ao fundo.....	91
Figura 33.	Serras e Morros residuais associados ao Arco Magmático.....	91
Figura 34.	Superfície de Aplainamento I margeando as Serras e Morros.....	92
Figura 35.	Superfície de Aplainamento II sustentada por Latossolo Vermelho Laterítico em vertentes suaves onduladas.....	93
Figura 36.	Perfil de Latossolo Vermelho com destaque para a formação de nódulos ferruginosos.....	94
Figura 37.	Formação do perfil ferruginoso com o rebaixamento da superfície. Adaptado por Porto (1996).....	94

Figura 38.	Superfície de Aplainamento III com solos arenosos, vertentes muito planas e extensas.....	95
Figura 39.	Perfil de regolito arenoso na Superfície de Aplainamento III.....	95
Figura 40.	Planície Fluvial do rio Água Limpa com depósitos de bancos de areia.....	96
Figura 41.	Planície Fluvial do ribeirão Samambaia.....	97
Figura 42.	Planície Fluvio-lacustre com murundus associados.....	98
Figura 43.	Mapa das unidades geomorfológicas da bacia do rio Água Limpa (GO)....	99
Figura 46.	Distribuição das Unidades Geomorfológicas.....	100

LISTA DE SIGLAS

ANA – Agencia Nacional de Águas

ASI – Agência Espacial Itália

CPRM – Companhia de Pesquisa em Recursos Minerais

DLG – Agência Espacial Alemã

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

ICR – Índice de Concentração de Rugosidade

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Especiais

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia

MDE – Modelo Digital de Elevação

MNT – Modelo Numérico de Terreno

NASA – Agência Espacial Norte Americana

NIMA – Agência Espacial Norte Americana

PDIAP – Projeto de Identificação das Áreas Prioritárias para a Conservação da Biodiversidade em Goiás

RGB – *Red, Green, Blue*

SAD – *South America Datum*

SIG – Sistema de Informação Geográfica

SIEG – Sistema Estadual de Estatística e de Informações Geográficas de Goiás

SLAR – *Side Looking Airborne Radar*

SRA – Superfície Regional de Aplainamento

SRTM – *Shuttle Radar Topographic Mission*

TOPODATA – Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil

UGI – União Geográfica Internacional

WWF – *World Wide Fund for Nature*

UTM – *Universal Transverse Mercator*

ZCAS – Zona de Convergência do Atlântico Sul

INTRODUÇÃO

O relevo é entendido como sendo o resultado das forças antagônicas que podem ser sintetizadas pelas atividades tectônicas e estruturais movidas pela energia advinda das porções mais internas da Terra e pelos mecanismos morfoclimáticos, originados pela interação da energia do sol com os fluídos da atmosfera e hidrosfera ao longo do tempo geológico. Nesse sentido, observa-se que “*cada momento do relevo constitui um fim em si*” (CHORLEY, 1950).

Para Casseti (1991), o relevo, produto do antagonismo das forças dos processos endógenos e exógenos, assume um caráter de suma importância ao constituir-se como o estrato terrestre no qual vive o ser humano, sendo, pois, o palco das interações homem-natureza. Portanto, ele se constitui como um recurso natural de notável interesse geográfico e, principalmente, de preocupação ambiental.

A paisagem geomorfológica e sua evolução dependem de diversos fatores e eventos que se inter-relacionam e se manifestam em diferentes escalas de espaço e tempo. Dessa forma, as características geológicas, climáticas, pedológicas, hidrológicas, biológicas, altimétricas e as possíveis intervenções humanas devem ser consideradas de forma individual e em conjunto, considerando um determinado intervalo de espaço e tempo. Isso quando se pretende entender o tipo de relevo de uma dada área e, principalmente, a dinâmica dos processos a ele inerentes (MARQUES, 1994).

Desses fatores e considerando um maior intervalo de tempo, as formações geológicas e as condições climáticas pretéritas e atuais assumem maior relevância por formarem, juntas, o conjunto de forças antagônicas responsáveis, respectivamente, pelos processos de estruturação e esculturação do relevo terrestre. Este, por sua vez, influencia nas condições do solo, na disponibilidade hídrica superficial e subterrânea, na distribuição dos tipos de vegetais, entre outros componentes da paisagem, que ao longo do tempo produzem efeitos sinérgicos e formam um arranjo espacial interdependente (NUNES, 2011).

Grande parte das transformações morfogenéticas, pelas quais passa a superfície da Terra, pode ser constatada nos ambientes tropicais úmidos e subúmidos. Mais do que as condições climáticas e as características meteorológicas, as regiões tropicais úmidas e subúmidas despertam a atenção pela sua configuração física como um todo, em especial do ponto de vista dos processos físico-químicos, pelos quais passam os minerais e rochas presentes na superfície (NUNES, 2011).

Esses processos, dependendo da composição mineralógica, proporcionam intensas e profundas alterações no substrato geológico, que por sua vez influencia no tipo e no

comportamento dos solos. A predominância de processos, especialmente de intemperismo químico, em ritmo acelerado e por longo tempo pode resultar em mantos de alteração diversificados e com até centenas de metros de profundidade (PORTO, 1996).

Nessa perspectiva, o sistema de aplainamento da Depressão do Araguaia ou Superfície do Araguaia corresponde a uma enorme planície com extenso e profundo pacote sedimentar localizado na região central do Brasil, acompanhando o rio Araguaia. Suas formas de relevo são marcadamente planas e de baixas altitudes, inferiores a 350 metros, formadas por sedimentos recentes, com caimento geral para noroeste.

Para Porto (1996), áreas planas como as da região da Depressão do Araguaia favoreceram a formação de profundos regolitos, pois por se tratar de regiões relativamente estáveis geologicamente, permitem que as zonas pedolíticas permaneçam expostas por longos períodos e evoluam de acordo com as mudanças ambientais. Estes resultam de longo e complexo processo evolutivo relacionado com a evolução dos regimes climáticos e geomorfológicos, podendo apresentar características herdadas de regimes pretéritos (TOLEDO *et al.*, 2008).

As condições morfoclimáticas pretéritas da região da Depressão do Araguaia também favoreceram o desenvolvimento de perfis ferruginosos, principalmente durante as fases de aplainamento de ciclos geomorfológicos, onde o gradual rebaixamento da superfície ao longo do tempo e as flutuações do nível freático fizeram com que o ferro se acumulasse residualmente e formasse crostas ou nódulos espaçados (BRASIL, 1981). Tais terrenos, tidos como testemunhos de mudanças paleoambientais, atapetam as superfícies de aplainamento e sustentam superfícies geomórficas mais estáveis garantida na paisagem pela sua ação protetora (MELFI, 1994).

No contexto da bacia Amazônica, a bacia hidrográfica Araguaia-Tocantins destaca-se entre tantos fatores por sua grande abrangência territorial (com uma área de cerca de 800.000 km²) e pela descarga média anual de aproximadamente 12.000.000 L/s (LATRUBESSE, 2003). Os rios deste sistema são os principais contribuintes que drenam e transportam sedimentos do Cerrado. O rio Araguaia nasce na Serra do Caiapó, no extremo sudoeste do Estado de Goiás, na divisa com os Estados de Mato Grosso e Mato Grosso do Sul, e percorre 2.110 km até desaguar no rio Tocantins, na região conhecida como Bico do Papagaio, extremo norte do Estado do Tocantins. Nesse ponto a bacia hidrográfica apresenta uma área aproximada de 380.000 km² e vazão média de 6.420.000 L/s (BAYER, 2002).

Dentre as sub-bacias desse grande sistema de drenagem, a bacia do rio Vermelho é uma das maiores e mais importantes pelo lado goiano, juntamente com as bacias do rio Caiapó, do rio Claro, do rio dos Bois, do rio do Peixe e a do rio Crixás-Açú, além de outras não menos importantes. O rio Vermelho percorre uma extensão de 405 km desde sua nascente na Serra Dourada, próximo à cidade de Goiás, até a confluência com o rio Araguaia, junto à cidade de Aruanã (GO), com uma vazão média histórica aproximada de 82.900 L/s (ANA, 2012). Entre os principais afluentes, pela margem direita tem-se o rio dos Bugres e rio Ferreira, enquanto que pela margem esquerda destacam-se o ribeirão Água Limpa, rio Itapirapuã e o rio Uvã. O rio Água Limpa, em especial, é o maior contribuinte do rio Vermelho pela margem esquerda e estende-se pelos municípios de Britânia, Jussara, Itapirapuã e Santa Fé de Goiás. A vazão média histórica do rio Água Limpa é de 38.700 L/s (ANA, 2012).

A bacia do rio Água Limpa, área de estudo da presente pesquisa, esta inserida no domínio de amplas áreas de relevo plano a suave ondulado e regolitos profundos associados à Depressão do Araguaia. Tal configuração espacial favorece o desenvolvimento de ambientes de acumulação, de superfícies de aplainamentos e de relevos residuais.

O pacote de sedimentos mal selecionados do sistema fluviolacustre da bacia fluvial do rio Araguaia recebe a denominação geológica de Formação Araguaia, com idade Pliocênica – Pleistocênica (BARBOSA *et al.*, 1966). Na bacia em questão, a Formação Araguaia é limitada pelo Arco Magmático de Goiás, formação estrutural com idade Neoproterozóica composta principalmente por ortognaisses e granodioritos que, por serem resistentes à ação intempérica, resistem na paisagem na forma de serras e morros residuais.

Verifica-se em algumas porções da Formação Araguaia a presença de coberturas ferruginosas indiferenciadas, associadas a Latossolo Vermelho, com espessura variada e concentração de nódulos superior a 50% do volume da massa do horizonte do solo (BRASIL, 1981). Nessa região, caracterizada pela suavidade do relevo e pela baixa altitude, esses sedimentos sobressaem na paisagem, sustentam os níveis de topografia mais elevados, formando um verdadeiro pavimento em meio às superfícies de aplainamento.

Dessa maneira, a bacia hidrográfica do rio Água Limpa é abordada nesta pesquisa sob o ponto de vista morfométrico e morfográfico a fim de se compreender a sua estrutura geomorfológica e de mapear os distintos compartimentos ou unidades do relevo.

Por definição, a ciência geomorfológica identifica, classifica e analisa as formas da superfície terrestre, buscando compreender as relações processuais pretéritas e atuais do

relevo planetário em seus diversos aspectos genéticos, cronológicos, morfológicos, morfométricos e dinâmicos (TRICART, 1965). Associada a classificação e análise, pressupõe-se ainda, uma descrição sobre o modelado e uma avaliação dos complexos físicos e físico-biológicos (RODRIGUES, 2010).

Nesse sentido, intimamente ligado à interpretação dos dados competentes à Geomorfologia, é atribuído à Cartografia Geomorfológica o papel de recurso gráfico, sendo citada por Ferreira (2003) como *“uma importante ferramenta nos estudos ambientais e no planejamento físico-territorial, gerando subsídios para o entendimento dos ambientes naturais”*. Assim sendo, pode-se afirmar que o trabalho de cartografia geomorfológica deve ser apoiado em critérios de representação gráfica bem definidos, a fim de aperfeiçoar a leitura e facilitar a interpretação dos fenômenos geomorfológicos (RODRIGUES, 2010).

Atualmente a Cartografia Geomorfológica têm ganhado grandes contribuições a partir da evolução tecnológica e avançado no sentido da representação digital. As novas tecnologias, calcadas no Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento, oferecem à Geomorfologia recursos imprescindíveis para o êxito de várias pesquisas.

O advento dos Modelos Digitais de Elevação (MDE) nas duas últimas décadas favoreceu a geração e difusão de informações morfométricas e morfográficas de bacias com maior rapidez e menor subjetividade. A sua manipulação possibilita identificar a distribuição espacial dos padrões do relevo (formas e inclinação das vertentes-classificação textural), além do cálculo de variáveis topográficas com rapidez, como declividade, curvatura vertical, curvatura horizontal, orientação das vertentes, altimetria, delineamento dos talwegues e divisores de água.

Para Silva & Rodrigues (2009), o estudo morfométrico e morfográfico engloba análises referentes aos aspectos quantitativos do relevo da bacia, permitindo o entendimento e a classificação das feições geomorfológicas. Nessa perspectiva, propõe-se nessa dissertação um caminho metodológico com base em parâmetros morfométricos e morfográficos da paisagem extraídos do modelo de elevação TOPODATA para o mapeamento geomorfológico da bacia do rio Água Limpa. As informações utilizadas foram: a altitude, a declividade, a orientação das vertentes, a curvatura vertical e horizontal, as formas do relevo, o sombreamento do relevo e o índice de concentração da rugosidade (ICR). Estes itens combinados possibilitaram verificar a organização das unidades da paisagem dessa bacia.

OBJETIVOS

Objetivo Geral:

- O objetivo geral deste estudo é mapear os compartimentos geomorfológicos da bacia hidrográfica do rio Água Limpa segundo a proposta taxonômica de Ross (1992) utilizando parâmetros morfométricos e morfográficos do relevo derivados de modelos de elevação.

Objetivos Específicos:

- Elaborar um banco de dados com informações morfométricas da bacia como parâmetros para o mapeamento geomorfológico;
- Diferenciar na paisagem a relação do relevo com a ocorrência de terrenos ferruginosos.

CAPÍTULO I - FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

1.1. Categoria geográfica: paisagem

Esse trabalho presa pela paisagem como categoria de análise geográfica. Isso porque a noção sistêmica esta implícita nessa categoria, considerando-a um sistema aberto, com trocas de matéria e energia. É adotada a noção elaborada por Georges Bertrand, geógrafo francês que apresentou conceitos, classificações e tipologias sobre a paisagem numa visão integradora e sistêmica.

A paisagem é uma porção do espaço caracterizada por um tipo de combinação dinâmica, portanto instável, de elementos geográficos diferenciados – físicos, biológicos e antrópicos – que, ao reagir dialeticamente uns sobre os outros, fazem da paisagem um conjunto geográfico indissociável que evolui em bloco, tanto sob os efeitos das interações entre os elementos que o constituem como sob o efeito da dinâmica própria de cada um dos seus elementos considerados separadamente (BERTRAND, 1982).

Para Bertrand (1971), é importante estabelecer um sistema de delimitação do complexo formado pela paisagem. Entretanto, pondera que todas as delimitações geográficas são arbitrárias e é impossível achar um sistema geral do espaço que respeite os limites próprios para cada ordem de fenômenos. Portanto afirma que a delimitação não deve nunca ser considerada como um fim em si, mas somente como um meio de aproximação em relação à realidade geográfica. Essa delimitação em unidades gera fragmentações na análise da paisagem, e por sua vez, as relações e combinações entre os elementos são afetadas.

Bertrand resgata o conceito de geossistema de Sotchava, estabelecendo uma abordagem ampla, que engloba as ações humanas como componente desse sistema. Para Bolós (1981), a paisagem, em sua abordagem sistêmica e complexa, será sempre dinâmica e compreendida como o somatório das inter-relações entre os elementos físicos e biológicos que formam a natureza e as intervenções da sociedade no tempo e no espaço, em constante transformação. O conceito científico de paisagem “abrange uma realidade que reflete as profundas relações, freqüentemente não visíveis, entre seus elementos” (TRICART, 1977).

Contemporâneo a Bertrand, entretanto em outra perspectiva, Milton Santos concebe paisagem como a expressão materializada do espaço geográfico, interpretando-a como forma. Neste sentido considera paisagem como um constituinte do espaço geográfico (sistema de objetos). Para Milton Santos:

Paisagem é o conjunto de formas que, num dado momento, exprimem as heranças que representam as sucessivas relações localizadas entre o homem e a natureza. A paisagem se dá como conjunto de objetos reais concretos; é a porção da configuração territorial que é possível abarcar com a visão (SANTOS, 1999).

1.2. O sistema geomorfológico e a bacia hidrográfica

A Teoria Geral dos Sistemas foi inicialmente desenvolvida nos Estados Unidos na década de vinte do século XX pelo biólogo austríaco Ludwig von Bertalanffy (1901-1972) e fez emergir o paradigma da complexidade. A teoria propunha um estudo de sistema, no qual se evitasse a dicotomia entre perspectiva mecanicista-cartesiana e vitalista, pois estas não se mostravam suficientes para resolver os problemas teóricos nas ciências biossociais e com relação aos problemas das novas tecnologias (BERTALANFFY, 1973).

De acordo com Christofolletti (1999), a abordagem sistêmica foi introduzida na Geografia Física por A. Strahler em 1952 em estudos sobre redes de drenagem, e de forma mais contundente por R. Chorley, em 1962, em estudos sobre a noção de “Sistema de Erosão” onde destacou ação do clima e da estrutura geológica na modelagem do relevo. Tal abordagem também recebeu importantes contribuições de Jonh T. Hack em 1960, e Alan D. Howard em 1965. Chorley também foi pioneiro em análises sobre bacias hidrográficas. Chorley & Kennedy (1971) conceituam sistema como:

Um conjunto estruturado de objetos e/ou atributos que se processam mediante fluxos de matéria e energia. Esses objetos e atributos consistem de componentes ou variáveis (isto é, fenômenos que são passíveis de assumir magnitudes variáveis) que exibem relações discerníveis um com os outros e operam conjuntamente como um todo complexo, de acordo com determinado padrão (CHORLEY & KENNEDY, 1971).

A complexidade é um paradigma que permite abordar os vários sistemas complexos existentes, desde os sistemas físicos até os sociais, a partir de um arcabouço teórico único (MORIN, 1977).

O sistema geomorfológico é considerado complexo por apresentar peculiaridades de seus elementos quanto ao inter-relacionamento, levando em conta o todo, as partes e as relações. Podemos destacar as seguintes peculiaridades: *não-linearidade e realimentação* (os elementos relacionam-se não linearmente, o que leva a criação de laços de realimentação negativas e positivas que controlam os estados de sistema); *o todo é diferente da soma de suas partes* (a inter-relação entre os elementos propicia o surgimento de novas características que

inexistiam caso estes elementos fossem analisados separadamente); *sistema aberto e afastado do equilíbrio termodinâmico* (os sistemas complexos são sistemas abertos, pois estão continuamente trocando energia e matéria com seu ambiente externo, mantendo-se afastados do equilíbrio termodinâmico recebendo fluxos de energia do ambiente); *auto-organização* (a organização e a dinâmica do sistema que garante a estruturação e o funcionamento do sistema como um todo integrado) (MATTOS & PERES FILHO, 2004), entre outros.

Segundo Iriondo (1985), um sistema geomorfológico tem uma estrutura interna definida, caracterizada pelas suas variáveis de estado, tais como: litologia, pendente regional, estruturas, e outras. Estas variáveis de estado inter-relacionam-se e modificam-se por processos climáticos, morfológicos, geológicos, tectono-estruturais, ou seja, variáveis de transformação. São numerosas as variáveis como a erosão, transporte, sedimentação, intemperismo, oscilação da superfície piezométrica, contração/expansão das águas de superfície, etc. Tais variáveis são agentes de transformação que se interagem por aportes externos de energia e matéria: variação térmica solar, ventos, precipitação de chuva, e outros.

A estrutura de um sistema e seus processos determinam o comportamento típico para cada tipo de sistema. A mudança de uma variável externa produz reajuste em todos os parâmetros do sistema. Em geral, os sistemas podem ser caracterizados pelo seu grau de estabilidade, o qual varia entre limites amplos (IRIONDO, 1985).

A bacia hidrográfica pode ser considerada como um exemplo de sistema geomorfológico complexo, por apresentar todas as características inerentes a esse tipo de sistema (MATTOS & PERES FILHO, 2004).

Lima & Zakia (2000) também discutem o conceito geomorfológico da bacia hidrográfica sob uma abordagem sistêmica e complexa. Para esses autores as bacias hidrográficas são sistemas abertos, que recebem energia através de agentes climáticos e perdem energia através do deflúvio, podendo ser descritas em termos de variáveis interdependentes, que oscilam em torno de um padrão, e, desta forma, mesmo quando perturbadas por ações antrópicas, encontram-se em equilíbrio dinâmico. Assim, qualquer modificação no recebimento ou na liberação de energia, ou modificação na forma do sistema, acarretará em uma mudança compensatória que tende a minimizar o efeito da modificação e restaurar o estado de equilíbrio dinâmico.

Guerra & Cunha (1998) sustentam a mesma ideia sistêmica da bacia de drenagem, com entradas, saídas e transformações energéticas. Enquanto uma unidade hidrogeomorfológica, constitui um sistema aberto na medida em que recebe impulsos

energéticos das forças climáticas atuantes sobre sua área e das forças tectônicas subjacentes, e perde energia por meio da água, dos sedimentos e materiais dissolvidos exportados pela bacia no seu ponto de saída. Os rios que compõem a bacia erodem os canais onde fluem, transportam sedimentos provenientes de intemperismo e de processos que ocorrem nas vertentes (KNIGHTON, 1998).

Vitte (2005) vê a bacia hidrográfica como um geossistema que funciona pela constante troca de matéria e energia ao longo do tempo. Tal característica condiciona a estocagem, o volume e a velocidade da água do aquífero ou mesmo do lençol subsuperficial da vertente, que exfiltram para o canal, determinando diretamente o tempo de residência da água no front de alteração ou no sistema pedogenético. A bacia hidrográfica determina, portanto, a velocidade das transformações geoquímicas no front de alteração, com consequência direta na velocidade de diferenciação do relevo (VITTE, 2005).

Botelho & Silva (2004) sustentam que a bacia hidrográfica permite conhecer e avaliar seus diversos componentes, bem como os processos e interações que nela ocorrem. A visão sistêmica e integrada do ambiente esta implícita na adoção desta unidade fundamental.

Diante desses aspectos, a bacia hidrográfica é vista como unidade natural de estudo em Geografia Física, especialmente em Geomorfologia, e funciona como nível escalar básico, como célula básica de análise ambiental, permitindo conhecer e avaliar seus diversos componentes, bem como os processos e interações que nela ocorrem. A visão sistêmica e integrada do ambiente esta implícita na adoção desta unidade fundamental (BOTELHO & SILVA, 2004).

Tucci (1993) define bacia hidrográfica como uma área de captação natural da água da precipitação que faz convergir os escoamentos para um único ponto de saída, seu exutório. A bacia hidrográfica compõe-se basicamente de um conjunto de vertentes e de uma rede de drenagem formada por cursos de água que confluem ate resultar um leito único no exutório. A noção de bacia hidrográfica obriga naturalmente a existência de cabeceiras ou nascentes, divisores de água, cursos de água principais, afluentes e subafluentes.

Pesquisas em Geografia que utilizam da bacia hidrográfica como unidade de análise tem crescido exponencialmente na última década. Estudos sobre os temas Erosão, Manejo e Conservação do Solo e da Água, Compartimentação do Relevo e Planejamento Ambiental são aqueles que têm utilizado a bacia hidrográfica como unidade de análise (BOTELHO & SILVA, 2004).

Os modelos de gerenciamento dos recursos hídricos assumem a bacia hidrográfica como a unidade geográfica de referência ou de intervenção pelo fato de consistir num dos caminhos preferenciais de boa parte das relações de causa-efeito, principalmente as que envolvem o meio ambiente (PORTO & PORTO, 2008). Esse conceito está presente na Lei 9.433/97, que instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos, que define a “Bacia Hidrográfica” como “unidade territorial” para a operacionalização do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos.

Para Bordalo (1995), o uso da bacia hidrográfica como unidade de estudo e gestão ambiental permite o gerenciamento das diferentes formas de ocupação e uso das diversas potencialidades ambientais, proporcionando o desenvolvimento sócio-econômico das suas respectivas populações e a sustentabilidade dos recursos ambientais, diminuindo ou evitando a degradação ambiental.

Para Vitte (2005) as bacias de drenagem são bastante adequadas para a compreensão do aplainamento do relevo, pois a geomorfologia do canal e a dinâmica do sistema fluvial, como um todo, participam ativamente do processo de aplainamento geoquímico do relevo. O contexto da bacia hidrográfica permite, entre outros fatores, a compreensão das variações espaço-temporais dos processos morfogênicos dinamizados pelo aplainamento do relevo.

1.3. As superfícies de aplainamento

As superfícies de aplainamento correspondem a porções do terreno mais ou menos contínuas, formadas ao mesmo tempo por processos erosivos ou deposicionais atuantes na porção externa da Terra (SUGUIO, 1999). Para Gerrard (1995) essas superfícies apresentam uma topografia razoavelmente suave, aproximadamente horizontal ou plana e que, truncam as litologias e estruturas. Elas podem ser de todos tamanhos, porém, o termo é usualmente restrito às grandes superfícies de relevos que, representariam o produto final de um ciclo de erosão.

Goiás (2006) define as superfícies de aplainamento como áreas planas, horizontalizadas, geradas pela denudação de superfícies antigas mais elevadas do terreno e que ocupam grandes extensões do Estado de Goiás.

O fato de elas serem produzidas por uma grande variedade de processos geomorfológicos implica em muitas controvérsias, sendo extensas as discussões sobre o assunto na literatura geomorfológica.

Os modelos fundadores da Geomorfologia desde muito cedo buscaram explicar como se dá a dinâmica de aplainamento do relevo. O mais antigo dos modelos que procuram elucidar a geodinâmica da superfície terrestre foi elaborado pelo norte-americano William Morris Davis em 1899 e constituiu-se como a primeira grande escola de pensamento geomorfológico. A escola davisiana denomina *ciclo geográfico ideal* o processo de evolução do relevo e de formação das superfícies de aplainamento. A paisagem é o resultado da inter-relação de três variáveis (DAVIS, 1899): (i) estrutura (soma das variáveis endógenas); (ii) processo (soma das variáveis exógenas); e (iii) tempo (sentido cronológico).

O processo denudacional de W. M. Davis é caracterizado pelo rebaixamento do relevo de cima para baixo (*wearing-down*) comandado pela incisão fluvial, depois de alternados soerguimentos e estabilidade tectônica. Diante do elevado gradiente produzido pelo soerguimento em relação ao nível de base geral, o sistema fluvial responderia pelo entalhamento dos talwegues, originando verdadeiros cânions, que caracterizariam o estado antropomórfico da juventude.

A partir do momento em que os efeitos denudacionais iniciassem o rebaixamento dos interflúvios, a juventude chegaria ao fim, iniciando a maturidade. A evolução tenderia a atingir total horizontalidade topográfica, estágio denominado de senilidade. O final do ciclo de erosão da morfologia do relevo seria a formação de um peneplano (peneplanização), eventualmente expondo formas residuais denominadas *monadnocks*. Nesse momento haveria praticamente um único nível altimétrico entre interflúvios e os antigos fundos de vales, representados por cursos meandrantés.

Segundo Davis, os rios não poderiam erodir abaixo do seu nível de base. Somente depois de atingido a senilidade, uma nova instabilidade tectônica proporcionaria a continuidade cíclica da evolução morfológica (ciclo geográfico de erosão) (VITTE, 2001).

A segunda teoria que marcou a evolução do pensamento geomorfológico foi a elaborada pelo alemão Walther Penk em 1924. W. Penk (1924), ao contrário do modelo davisiano, propunha um soerguimento crustal prolongado, ao qual a erosão agiria nas áreas periféricas da área soerguida, através da evolução por recuo paralelo das vertentes (*wearing-back*), de maneira que a emersão e a denudação aconteciam ao mesmo tempo. A incisão do talvegue no soerguimento implicaria na aceleração dos efeitos denudacionais em razão do aumento do gradiente da vertente. Desenvolver-se-iam vertentes convexizadas se o entalhamento fosse maior do que a denudação (aumento do ângulo da vertente); vertentes retilíneas, caso existisse um equilíbrio entre soerguimento-denudação (manutenção do ângulo

da vertente); e vertentes concavizadas quando o predomínio da denudação sobre o entalhamento do talvegue (redução do ângulo da vertente) (CASSETI, 1994).

Para Salgado (2007), a principal característica do modelo penkniano é a crença de que o relevo é formado graças ao contraponto das forças endógenas com as exógenas. Para Penk (1924), períodos com predomínio de forças endógenas produzem elevações e o enrugamento do relevo; quando, ao contrário, prevalecem as forças exógenas, essas elevações tendem a ser rebaixadas, e o modelado, aplainado. Penk ainda baseia sua teoria na existência de níveis de base locais, uma vez que considera que não são somente os oceanos que se constituem como níveis de base para os processos denudacionais.

A terceira teoria acerca da evolução do relevo foi o modelo de pediplanação elaborado pelo sul-africano Lester Charles King em 1953, no qual o clima possui fundamental importância na gênese dos aplainamentos. Para King (1953), os aplainamentos ocorrem em regiões submetidas não só a condições de relativa calma tectônica, mas também a condições climáticas com tendência à aridez. Essas condições climáticas são necessárias, porque se caracterizam por uma fraca cobertura vegetal e por chuvas esporádicas, porém fortes.

O processo de gênese de uma nova superfície aplainada, para King, tem início com a incisão fluvial, em razão de um soergimento subcontinental ou do rompimento de um nível de base, em uma área árida ou semi-árida. Após os cursos fluviais terem rebaixado seus leitos até uma cota em equilíbrio com seu novo nível de base, inicia-se o trabalho de alargamento dos vales fluviais. Nesse momento, inicia-se também o processo de retração lateral das vertentes (*backwearing*). No entanto, segundo King, não é o trabalho fluvial mas sim os processos que ocorrem em vertente aqueles que são capazes de gerar amplas superfícies aplainadas (SALGADO, 2007).

L.C. King (1967) levou em conta períodos de rápidos e intermitentes soergimentos crustais, admitindo o ajustamento por compensação isostática, e utilizando a noção de recuo paralelo das vertentes (*wearing-back*) de Penck. O recuo responderia pelo entalhamento das áreas depressionárias, originando os denominados pedimentos (pedimentação), cujas formas residuais do processo erosivo denominar-se-iam *inselbergs*. A desagregação mecânica (devido às variações de clima úmido para seco) seria a responsável pelo recuo das vertentes, cujos detritos se estenderiam em direção ao nível de base, provocando o seu entulhamento em regiões de irregularidade topográfica, permitindo a formação de pediplanos (CASSETI, 1994).

Estudos pioneiros de King (1956) sobre o relevo do Brasil Oriental identificam as superfícies de aplanamento e, as relaciona com aquelas por ele anteriormente estudadas no continente africano. Sendo assim, King (1956) identifica as seguintes superfícies: *Fóssil*, de idade Carbonífera; *Superfície Desértica*, idade Triássico-Superior; *Superfície Gondwana*, do Cretáceo Inferior; *Superfície Pós-Gondwana*, do Cretáceo-Superior; *Superfície Sul-Americana*, no Terciário Inferior, segundo o autor, essa superfície teria sido dissecada a partir Paleoceno, pelas superfícies subseqüentes, restando somente seus topos sub-nivelados; *Superfície Velhas*, Terciário Superior; e *Superfície Paraguaçu*, Quaternário.

Por sua vez, J. Hack (1960), revisitando teorias passadas, foi o autor que mais deu enfoque ao “equilíbrio dinâmico”, considerando o relevo como um sistema aberto vinculado à resistência litológica, passível de trocas de energia e matéria com os demais sistemas. Toda alternância de energia interna ou externa geraria alterações no sistema através da matéria, de forma que todos os elementos da morfologia tenderiam a se ajustar. A morfologia não tenderia necessariamente para o aplainamento, podendo o equilíbrio ocorrer em variadas formas topográficas, dependendo da estrutura litológica do lugar (figura 01).

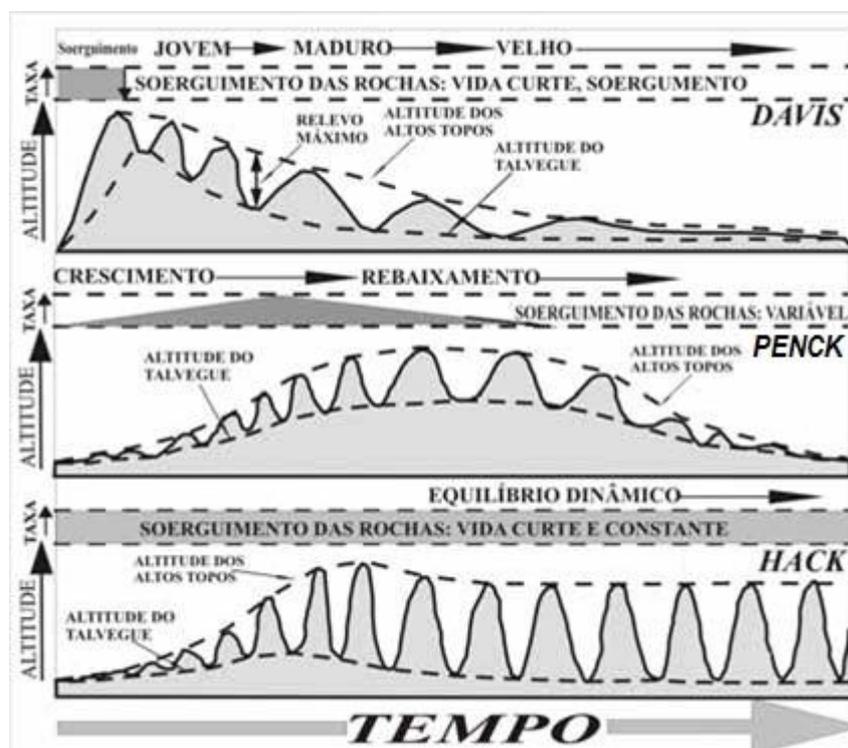


Figura 01. Exemplo de modelos evolutivos do relevo. Evolução segundo Davis, Penck e Hack. Fonte: adaptado de Missura (2005).

As principais características dos modelos evolutivos clássicos são sintetizados na tabela 01.

Tabela 01. Principais características dos modelos evolutivos clássicos.

CARACTERÍSTICAS	W.M. Davis (1899)	W. Penk (1924)	L.C.King/J.Pugh (1955)	J.T. Hack (1960)
CARACTERÍSTICA GERAL DO SISTEMA	Rápido soerguimento com posterior estabilidade tectônica e eustática	Ascensão de massa com intensidade e duração diferentes	Longos períodos de estabilidade tectônica, separados por períodos rápidos e intermitentes de soerguimento da crosta.	Toda alternância de energia interna ou externa gera alteração no sistema através da matéria
RELAÇÃO SOERGUMENTO/DENUAÇÃO	Início da denudação (comandada pela incisão fluvial) após estabilidade ascensional	Intensidade de denudação associada ao comportamento da crosta	Denudação concomitante ao soerguimento	Reação do sistema com alteração do fornecimento de energia (oscilações climáticas)
ESTÁGIO FINAL OU PARCIAL DA MORFOLOGIA	Evolução morfológica de cima para baixo (<i>wearing-down</i>)	Evolução por recuo paralelo das vertentes (<i>wearing back</i>)	Evolução morfológica por recuo paralelo (<i>wearing back</i>)	Todos os elementos da topografia estão mutuamente ajustados. Modificam-se na mesma proporção
CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS	Fases antropomórficas: juventude, maturidade e senilidade (peneplano)	Processos de declividade laterais das vertentes: convexas, retilíneas e côncavas (relação incisão/denuação por ação crustal)	Nível de pedimentação (coalescência de pedimentos: pediplano)	As formas não são estáticas e imutáveis. Íntima relação com a estrutura geológica
ESTÁGIO FINAL OU PARCIAL DA MORFOLOGIA	Peneplanização (formas residuais: <i>monadnocks</i>)	Superfície primária (lenta ascensão compensada pela denudação). Não haveria produção de elevação geral da superfície	Pediplanação (formas residuais: <i>inselbergs</i>)	Não evolui necessariamente para aplainamento (equifinalização). O equilíbrio pode ocorrer sob os mais variados "panoramas topográficos"
NOÇÃO DE NÍVEL DE BASE	Processo evolutivo comandado pelo nível de base geral	Vertente evolui em função do nível de base local	Pressupõe a generalização de níveis de base (qualquer ponto de um rio é considerado NB para os demais à montante)	Ajustamento seqüencial
VARIÁVEIS QUE COMPÕEM O SISTEMA	Temporal/estrutural com subordinação da processual	Processo, tectônica e tempo	Processo/forma, considerando o fator temporal, admitindo implicações isostáticas	Relação formas/processos independentes do tempo (processo morfogenético-resistência das rochas - influências diastróficas).

Fonte: adaptado de Casseti (2005).

Julius Budel em 1982, recorrendo ao conceito de *etchplain* de Wayland (1933) (VITTE, 2001), desenvolve o modelo da dupla superfície de aplainamento para regiões tropicais quentes e úmidas. Levando em conta que em regiões onde existem potentes mantos de intemperismo, como nos escudos pré-cambrianos das áreas tropicais, a denudação da paisagem ocorreria pela relação entre a erosão superficial (principalmente laminar – *sheet wash*) e o intemperismo químico das rochas (alteração geoquímica). Diferentemente dos modelos anteriores propostos para regiões temperadas, esse modelo ocorreria apenas nos

trópicos sazonais situados em áreas tectonicamente estáveis, onde a variação climática intensa responderia pelo intemperismo químico.

Para Budel, a simultaneidade entre o progressivo aprofundamento diferencial do front de alteração associado à erosão superficial promove o isolamento de alguns setores do front de alteração que, gradativamente, vão sendo alçados à superfície devido à litologia mais resistente, originando os *inselbergs*. Esse fator contemplaria a importância dos condicionantes estruturais e climáticos (desagregação mecânica) no processo de intemperismo. Desenvolver-se-ia então os etchplanos pelo processo de etchplanação (VITTE, 2005). Vale a ressalva de que a dinâmica da etchplanação nos trópicos úmidos está integrada à dinâmica da drenagem, que se constitui em nível de base para o aprofundamento do *front* de alteração e para a remoção de solutos e finos (VITTE, 2001).

O modelo de evolução das paisagens proposto por Budel (1982) é baseado na conjunção de dois fatores: relativa quietude tectônica e existência de condições climáticas tropicais semi-úmidas. A quietude tectônica proposta por Budel (1957) é relativa, visto que esse autor admite que lentos e pequenos soerguimentos possam ocorrer sem comprometer as linhas gerais do processo de aplainamento do relevo. Já as condições climáticas tropicais semi-úmidas se justificam em virtude de os ambientes sob essas condições serem caracterizados pela atividade biológica intensa, pela existência da savana, pelas altas temperaturas e pela existência anual de uma estação úmida e outra seca.

Desse modo, Budel (1982) prevê que regiões tropicais com estabilidade tectônica e período chuvoso com duração de 6 a 9 meses se constituem como áreas ideais para a formação das superfícies de aplainamento. No entanto, áreas em que a estação úmida dura entre 4 e 6 meses ainda seriam capazes, em velocidade reduzida, de produzir aplainamentos (SALGADO, 2007).

Para o modelo de etchplanação, os aplainamentos têm início quando uma região adquire clima tropical semi-úmido e estabilidade tectônica. Nessas condições o intemperismo químico age de forma intensa e constante durante todo o ano. A alta intensidade desses processos permite a criação de um espesso manto de intemperismo. Esse espesso manto de alteração tem por base a superfície basal irregular de intemperismo (SALGADO, 2007).

Para Goiás (2006), desde a década de 1970 se tem utilizado no Brasil, fundamentalmente, o modelo de pediplanação proposto por King (1956). Todavia estudos em outras regiões tropicais como o de Budel (1982) têm levado à geração de novos modelos

sobre a interpretação evolutiva das grandes superfícies de aplainamento, tanto no que se refere aos processos geradores como à idade de geração.

No caso específico do Estado de Goiás, destaca-se a classificação segundo escalonamento altimétrico realizado por Goiás (2006). Essa classificação considera que as chamadas Superfícies Regionais de Aplainamento (SRA) foram geradas fundamentalmente por processos de Etchplanação e divide as denominadas Superfícies Regionais de Aplainamento (SRA), segundo quatro classes cujas cotas variam entre 250 a 1600 metros. As superfícies de aplainamento são as unidades mais representativas da Geomorfologia do Estado de Goiás (tabela 02).

Tabela 02. Principais características da classificação geomorfológica do Estado de Goiás segundo Goiás (2006).

SRA		Característica Geral	Cotas Altimétricas (m)
SRA I	SRAI	Superfície mais antiga, mesozóica, sobre metassedimentos	1250-1600
SRA II	SRAII A	Diversos níveis de dissecção. Nível de laterita presente	900-1250
	SRAII B-RT	Relevos tabulares sobre rochas da bacia do Paraná	900-1000
	SRAII C	Desenvolvida sobre rochas da bacia do Paraná	750-1000
SRA III	SRAIII A	Desenvolvida sobre unidades do embasamento cristalino	550-850
	SRAIII B-RT	Relevos tabuliformes associados a derrames basálticos	550-750
	SRAIII C	Morros e Colinas desenvolvidos sobre rochas paleozóicas da bacia do Paraná	550-750
SRA IV	SRAIV A	Relevos aplanados, níveis de lateritas desenvolvidos, sistemas lacustre associados	500-400
	SRAIV B	Basaltos da Formação Serra Geral, relevos muito aplanados	500-550
	SRAIV C1	Morros e Colinas com níveis de laterita desenvolvido, rochas pré-cambrianas	250-400
	SRAIV C2	Rochas do pré-cambriano com relevos muito aplanados, sistemas lacustres associados	250-400

Fonte: Goiás (2006).

1.4. Cartografia geomorfológica

A ciência cartográfica constitui-se numa importante ferramenta para as Ciências da Terra (Geociências), pois compreende a representação do espaço, das diversas variáveis que compõem a superfície terrestre, enfocando múltiplos aspectos tal qual a necessidade do pesquisador (SILVA & RODRIGUES, 2009).

No caso da Geomorfologia, que, de acordo com Guerra & Guerra (1997) é a ciência que estuda as formas do relevo, a sua gênese, estrutura, natureza das rochas, o clima da região e as diferentes forças endógenas e exógenas que, de forma geral, entram como fatores modeladores do relevo terrestre; a cartografia geomorfológica torna-se um dos mais importantes meios de comunicação e análise dos resultados obtidos para essa ciência. A análise geomorfológica torna-se muito mais rica, lógica e melhor entendida quando acompanhada de documentos cartográficos nos quais estejam espacializadas (SILVA & RODRIGUES, 2009).

Segundo Casseti (2005), a Cartografia Geomorfológica se constitui em importante instrumento na espacialização dos fatos geomorfológicos, permitindo representar a gênese das formas do relevo e suas relações com a estrutura e processos, bem como com a própria dinâmica dos processos, considerando suas particularidades. Demek (1967) afirma que o mapeamento geomorfológico tem se tornado o principal método para o estudo e a pesquisa geomorfológica.

Por definição, a Ciência Geomorfológica identifica, classifica e analisa as formas da superfície terrestre, buscando compreender as relações processuais pretéritas e atuais do relevo planetário em seus diversos aspectos genéticos, cronológicos, morfológicos, morfométricos e dinâmicos (TRICART, 1965). Associada a classificação e análise pressupõem-se ainda, uma descrição sobre o modelado e uma avaliação dos complexos físicos e físico-biológicos considerando-se também, a estrutura geológica e os processos morfoclimáticos atuantes ao longo do tempo (RODRIGUES, 2010).

Segundo Camargo (2008), o objetivo da Cartografia Geomorfológica é a geração de mapas geomorfológicos detalhados, que apresentem um quadro sinóptico da área examinada, provendo interpretação genética e cronológica e que auxiliem no desenvolvimento econômico e na utilização racional da superfície terrestre.

A Cartografia Geomorfológica, atualmente, têm ganhado grandes contribuições a partir da evolução tecnológica. As novas tecnologias, calcadas no Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento, oferecem à Geomorfologia recursos imprescindíveis para o êxito de várias pesquisas (SILVA & RODRIGUES, 2009).

Para Souza (2006), a Geomorfologia atual tem se ajustado à evolução tecnológica. Assim como acontece com as outras ciências, vêm se desenvolvendo ações no sentido de investir na obtenção de diagnósticos, prognósticos ou controle de determinados fenômenos. O desenvolvimento da informática viabilizando interfaces com o sensoriamento remoto em base

orbital, com a Cartografia Digital e com a utilização de SIGs (Sistemas de Informações Geográficas) tem oferecido a Geomorfologia recursos indispensáveis para o sucesso de várias pesquisas.

O Sensoriamento Remoto é uma das principais fontes de dados para as atividades de mapeamento geomorfológico. Desde o início, as fotografias aéreas têm sido amplamente utilizadas em procedimentos monoscópicos e estereoscópicos de interpretação visual (CAMARGO, 2008). Atualmente, uma ampla gama de novos sensores, aerotransportados e orbitais, adquire dados (monoscópicos e estereoscópicos) nas faixas espectrais do visível e de microondas. Aliado a isso, o emprego de métodos fotogramétricos, por exemplo, possibilitam a extração de Modelos Digitais de Elevação (MDEs), úteis às atividades de mapeamento geomorfológico (CAMARGO, 2008).

A questão da escala de tratamento ou de representação se constitui na premissa básica para o grau de detalhamento ou de generalização da informação geomorfológica (DEMEK, 1967). Pensando nisso Demek (1967) estabelece os limites abaixo das escalas de: 1:100.000 (grande escala); 1:500.000 (média escala); 1:1.000.000 (pequena escala).

O relevo pode ser caracterizado - em pequenas escalas - por extensas superfícies que apresentam entre si determinado grau de similaridade quanto à estrutura que apresentam e a altitude em que se localizam. Nesse sentido os fatores como as formações geológicas assumem maior importância, uma vez que as mesmas dão sustentação às grandes morfoestruturas como os grandes planaltos, as grandes depressões e as extensas planícies que possuindo grandes extensões são mais bem evidenciados em detrimento da variação da paisagem local (CASSETI, 2005).

Já em escala local ou de detalhe a ação do clima face à diversidade litológica ganha evidência e uma mesma formação geológica pode apresentar distintas formas de relevo, tais como tabulares, convexas e aguçadas, podendo apresentar também variações ou combinações numa área restrita, ou constituir um único domínio morfológico de grande extensão. Dessa forma, a heterogeneidade de formas de relevo pode ser explicada pela diferenciação litológica e estrutural sob a ação dos domínios morfoclimáticos que irão influenciar na resistência do substrato geológico e na quantidade de energia disponível para realizar trabalho geomorfológico respectivamente (CASSETI, 2005).

Para Ross (1992), discernir os níveis de representação dos fatos geomórficos em função da dimensão deles e da escala de representação escolhida é um fato de grande complexidade. Ross (1996) indica que ao se elaborar uma carta geomorfológica devem-se

fornecer elementos de descrição do relevo, identificar a natureza geomorfológica de todos os elementos do terreno e datar as formas. A identificação e a classificação das formas do relevo necessariamente implicam considerar a gênese, a idade ou ainda os processos morfogenéticos atuantes.

Para Ross (1990) o que parece mais problemático é a questão relativa à padronização ou uniformização da representação cartográfica, pois ao contrário de outros tipos de mapas temáticos, não se conseguiu chegar a um modelo de representação que satisfaça os diferentes interesses dos estudos geomorfológicos.

Souza (2006) também chama atenção à deficiência de simbologias convencionadas para a temática específica de cada mapa, principalmente no emprego de ferramentas informatizadas em mapeamentos geomorfológicos. Para o autor, a Cartografia Geomorfológica apresenta atualmente um vácuo de padronização sobre simbologia e esquemas de representação em nível nacional. Nenhuma entidade oficial possui publicação de normas de cartografia e representação geomorfológica.

A dificuldade quanto às convenções no mapeamento geomorfológico e a preocupação quanto às relações taxonômicas das unidades, feições ou formas a serem representadas levaram Ross (1992) a apresentar os pressupostos metodológicos para a cartografia do relevo, tendo como referência Demek (1967), e adaptados segundo a disposição dos fatos geomórficos. Sua proposta baseia-se basicamente na classificação do relevo em seis níveis taxonômicos com base na morfologia e na gênese das diferentes formas e tamanhos do relevo, tendo em vista o significado morfogenético e as influências estruturais e esculturais no modelado (figura 02). A saber:

- 1º táxon: corresponde às **Unidades Morfoestruturais**. É o maior táxon, correspondente às macroestruturas geológicas que definem e sustentam um determinado padrão de formas grandes do relevo;
- 2º táxon: refere-se às **Unidades Morfoesculturais**, contidas em cada Unidade Morfoescultural. Corresponde aos compartimentos gerados pela ação climática ao longo do tempo geológico, com intervenção dos processos tectogenéticos. Obrigatoriamente são menores e mais jovens que as unidades morfoestruturais as quais pertencem;
- 3º táxon: corresponde às **Unidades Morfológicas** ou aos Padrões de Formas semelhantes, contidos nas Unidades Morfoesculturais. Correspondem ao agrupamento de formas relativas aos modelados, que são distinguidas pelas diferenças da

rugosidade topográfica ou do índice de dissecação do relevo, bem como pelo formato dos topos, vertentes e vales de cada padrão. Neste táxon os processos morfoclimáticos atuais são mais facilmente notados podendo-se identificar os agrupamentos de formas de agradação (relevo de acumulação) e formas de denudação (relevo de dissecação);

- 4º táxon: é representado pelos tipos de **formas do relevo ou formas semelhantes** que compõem uma Unidade Morfológica. Estas formas podem ser: a) de agradação (acumulação), como as planícies fluviais ou marinhas, terraços; b) de degradação como colinas, morros e cristas. Correspondem às tipologias de modelado. Formas aguçadas, convexas, tabulares, aplainadas em relevos de agradação e de denudação, planícies fluviais e flúvio-lacustres;
- 5º táxon: refere-se aos **tipos de vertentes**, cujas formas podem ser convexas, retilíneas ou côncavas. Cada tipologia de forma de uma vertente é geneticamente distinta; cada um dos setores dessa vertente pode apresentar características geométricas, genéticas e dinâmicas também distintas. Ross (1992) observa que as representações desse táxon são possíveis em escalas maiores, como 1:25.000.
- 6º táxon: Correspondem às **pequenas formas do relevo**, como aquelas resultantes de processos atuais (ravinas, voçorocas, bancos de assoreamento etc.). Refere-se às formas menores resultantes da ação dos processos erosivos atuais ou dos depósitos atuais. Exemplo, as formas associadas às intervenções antropogênicas como as voçorocas, ravinas, cortes de taludes, escavações, depósitos tecnogênicos como assoreamentos, aterros, “bota-foras”, ou as consideradas naturais, como cicatrizes de escorregamentos, bancos de deposição fluvial, dentre outros.

As Unidades Morfoestruturais constituem as estruturas que sustentam o relevo, o qual demonstra um aspecto escultural que remonta a ação do tipo climático atual e pretérito que atuaram/atuam na estrutura. Os aspectos esculturais constituem as Unidades Morfoesculturais. Sendo assim, as morfoestruturas e morfoesculturas são resultados da ação dinâmica dos processos endógenos e exógenos (ROSS, 1992).

A União Geográfica Internacional (UGI) indica padrões para cartas geomorfológicas que se baseiam em quatro parâmetros imprescindíveis, sendo: morfometria (altimetria, dimensões, desníveis e extensões); morfologia (formas do perfil, convexidades, retilinidade, rupturas, topos, fundos de vale, etc.); gênese (degradação ou agradação) e; cronologia relativa (idade relativa das formas e processos) (TRICART, 1965).

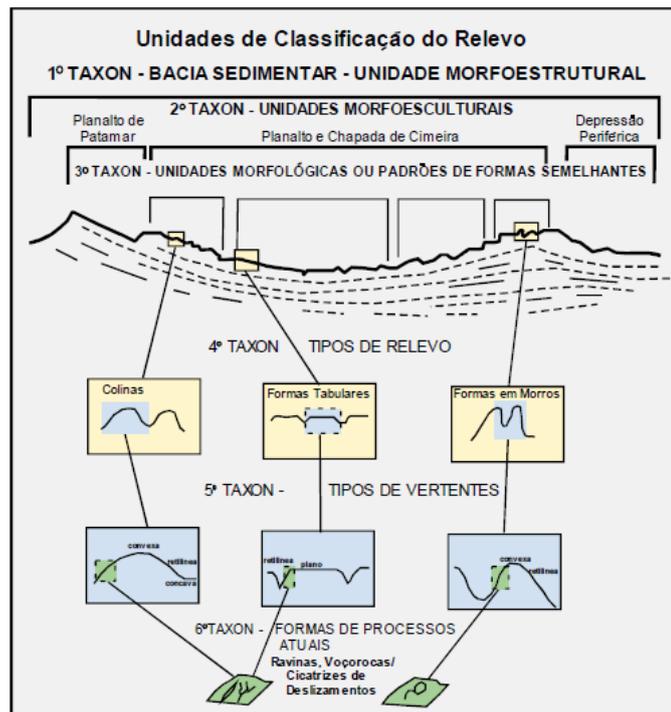


Figura 02. Unidades de classificação do relevo, segundo taxonomia proposta por Ross (1992).

1.5. Os Modelos Digitais de Elevação

A disponibilização dos Modelos Digitais de Elevação (MDE) SRTM (*Shuttle Radar Topographic Mission*) para a América do Sul em meados de 2003 e os recentes avanços em tecnologias computacionais e de sensoriamento remoto promoveram uma popularização do uso de dados morfométricos e abriram um amplo leque de possibilidades em estudos geomorfológicos. O advento do MDE e dos chamados SIG (Sistema de Informações Geográficas) favoreceram a geração e difusão de informações morfométricas e morfográficas de bacias hidrográficas com maior rapidez e menor subjetividade (SCHIMIDT & DIKAU, 1999).

A missão SRTM foi realizada em conjunto pelas agências espaciais dos Estados Unidos (NASA e NIMA), Alemanha (DLG) e Itália (ASI) em 2000 para mapear o relevo da área continental da Terra com interferometria de radar de visada lateral (*Side-Looking Airborne Radar - SLAR*) (figura 03). O princípio da interferometria é que a altitude de um ponto na superfície terrestre pode ser determinada a partir da diferença de fase entre reflexões de um mesmo sinal de radar captado por dois receptores distantes um do outro.

Nesta missão, dois radares modificados foram instalados no ônibus espacial *Endeavour*. Um radar foi adaptado na nave e outro foi instalado no final de um mastro de 60m. Isso

permitiu coletar medidas tridimensionais da superfície terrestre. O resultado pioneiro das técnicas empregadas na missão SRTM foi a geração de MDE com resolução espacial de aproximadamente 90 metros (VALERIANO, 2004).

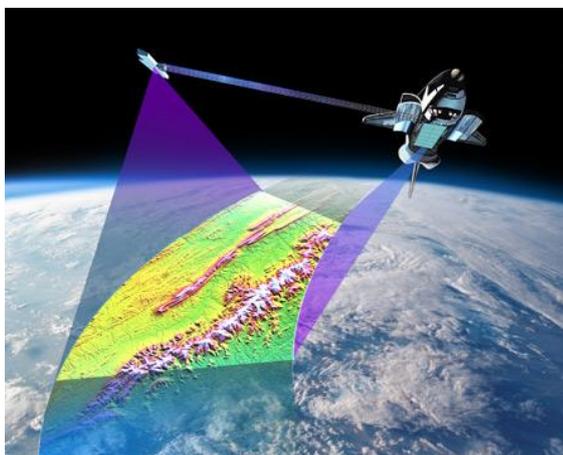


Figura 03. Ilustração da abrangência do radar de visada lateral (SLAR). Fonte: www.altamontanha.com

Por serem sensores ativos e atuarem na região de microondas do espectro eletromagnético, os radares não precisaram de luz solar para o imageamento e sofreram pouca influência das condições atmosféricas, possibilitando que a elaboração de MDE se desse também em regiões com grande volume de nuvens, como na Amazônia, e regiões marcadas pela sazonalidade climática, como é o caso do Cerrado (VALERIANO, 2008).

Em termos gerais, os MDE são arquivos que contêm registros altimétricos estruturados em linhas e colunas georreferenciadas, como uma imagem com um valor de elevação em cada pixel (VALERIANO, 2004). Os MDE estão relacionados à representação quantitativa de uma grandeza que varia continuamente no espaço. Entre outras atribuições, permitem o cálculo de variáveis topográficas como a declividade e altimetria, além da identificação de formas, rugosidade e estruturas do relevo (GROHMANN, 2008). Somam-se a esses produtos, a extração da rede de drenagem, a delimitação de bacias hidrográficas, a elaboração de perfis topográficos, delimitação de áreas de APP entre outros.

Para Romão (2006), o MDE é uma representação da superfície contínua. Consiste em uma variação ordenada de números que representam a distribuição espacial de elevações acima de um *datum* arbitrário na paisagem. A princípio, um modelo digital de elevação descreve a elevação de qualquer ponto de uma dada área em um formato digital e pode conter informações sobre as denominadas linhas de quebra. Essas são linhas como a própria

drenagem, as cristas e outras quebras positivas e negativas da vertente, como curvaturas acentuadas ou mudanças bruscas na inclinação (MEIJERINK *et al.*, 1994).

Para Horn (1981), um modelo numérico do terreno (MNT), por sua vez, inclui a distribuição espacial de atributos do terreno. É um mapa topográfico em formato digital, consistindo não somente de um MDE, mas também de outras informações temáticas. Consiste em uma representação matemática da distribuição espacial de uma determinada característica vinculada a uma superfície contínua real. Por exemplo, uma ortofoto digital ou imagem temática, sobreposta a um MDE, permitindo uma visão em perspectiva da paisagem, consiste em um modelo numérico de terreno – MNT (ROMÃO, 2006).

Um grande avanço vem ocorrendo com o emprego de Sistemas de Informação Geográfica (SIG), no qual as informações morfométricas de bacias hidrográficas baseadas em MDE estão arranjadas de modo a interagir e subsidiar análises de padrões da paisagem. A complexidade dos processos pode ser modelada em ambiente de SIG em certos níveis de relação, simplificação, generalização e abstração (PAREDES, 1994).

Os SIG são ambientes computacionais destinados ao tratamento de dados georreferenciados onde é possível integrar as informações espaciais temáticas e gerar novos dados derivados dos originais. Desta forma, essa ferramenta permite integrar os diferentes elementos formadores da paisagem que contribuem para a modelagem do relevo.

A análise geográfica e estatística de MDE em ambiente GIS permite estabelecer critérios para a identificação, comparação e classificação das unidades do relevo. De uma forma sucinta, pode-se definir duas atividades: identificação dos padrões e compreensão dos relacionamentos espaciais (PAREDES, 1994). Na análise dos padrões espaciais, várias descrições numéricas e estatísticas podem ser obtidas do MDE com intuito de defini-los da melhor forma dentro de um estudo, compreendendo, assim, as causas de sua origem e de suas relações.

Uma grande limitação das informações derivadas dos MDE SRTM é sua limitação escalar. Pensando nisso, o TOPODATA (Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil) foi uma iniciativa do INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) que resultou no refinamento dos dados SRTM originalmente com 90 metros de resolução espacial, para 30 metros, através da interpolação dos dados de MDE segundo o método de krigagem (VALERIANO, 2004).

Além do refinamento dos modelos de altimetria, derivações como declividade, curvatura vertical, curvatura horizontal, orientação das vertentes, delineamento dos talwegues

e divisores de água de todo o território nacional estão disponíveis gratuitamente no endereço eletrônico do INPE (www.dpi.inpe.br/topodata).

Para Valeriano (2008), a interferometria de radar aparece como uma alternativa para a extração de informações geomorfológicas locais visto a dificuldade de obtenção das mesmas antes do meio digital. Muito do exercício de interpretação geomorfológica do relevo foi desenvolvido sobre curvas de nível. Antes elaborada sobre cartas topográficas, a geração de curvas de nível em regiões sem dados agora são derivadas instantaneamente do MDE.

Outra importante limitação do MDE a se ressaltar é o efeito dossel, produzido pela vegetação no momento da varredura da visada da interferometria. Relata-se (VALERIANO, 2008) que até 80% da altura de dossel foram expressos como acréscimos à altitude do MDE.

Além da limitação de resolução espacial, esta é a mais severa limitação para o uso do MDE, sobretudo nas condições do ambiente do Cerrado e da Amazônia. Nesses biomas há um predomínio de florestas densas e altas (no caso das variações fisionômicas da bacia, cita-se o Cerradão, a Floresta Aluvial, e a Mata de Galeria), portanto um efeito dossel extremo, enquanto grande parte do relevo subjacente apresenta pequena amplitude altimétrica. A baixa amplitude do relevo é uma condição desfavorável à análise. Em terrenos planos, um desnível pequeno pode corresponder a um grande deslocamento horizontal das isolinhas.

Grohmann *et al.* (2008) também chama atenção para os problemas com MDE detectados em áreas de baixa declividade como áreas alagadas e áreas muito planas com dossel vegetal.

É evidente que além da elevação, derivações geomorfométricas deverão ser afetadas. Todavia, em casos evidentes de interferência (bordas de desmatamento, por exemplo), é possível perceber seu efeito e removê-lo através da edição dos resultados finais.

Exemplo da utilização dos MDE no mapeamento geomorfológico é a classificação para o Estado de Goiás elaborada por Goiás (2006). Esta proposta passou pela manipulação do MDE SRTM em ambiente SIG, permitindo identificar na imagem as variações altimétricas, e identificar áreas elevadas e patamares rebaixados do das denominadas Superfícies Regionais de Aplainamento (SRA) e as Serras e Morros residuais.

O *hillshade* (ou sombreamento do relevo) derivado do MDE foi um produto especial no mapeamento proposto Goiás (2006), pois este realça o relevo através da simulação de diferentes geometrias de iluminação. Este produto proporciona a impressão de concavidade e convexidade do relevo, permitindo a identificação de feições estruturais, contatos litológicos, zonas de erosão recuante, áreas de serras e morros, além de possibilitar a identificação de

padrões diferenciados de dissecação, feições planares, lineares positivo-negativas e tabulares do relevo. A interpretação visual do *hillshade* é um fator fundamental de identificação de elementos do relevo (GOIAS, 2006).

1.6. Informações morfométricas e morfográficas do relevo

A bacia hidrográfica pode ser abordada sob o ponto de vista morfométrico e morfográfico a fim de se compreender sua dinâmica geomorfológica (SILVA, 2009). Tais aspectos correspondem às formas de relevo resultantes do processo evolutivo (CASSETI, 2004).

A morfometria é a área de pesquisa dentro da Geomorfologia responsável pela mensuração e análise matemática da configuração física da paisagem terrestre (SOUZA & SAMPAIO, 2006). Para Romão (2006), a morfometria é definida como a caracterização numérica de formas topográficas.

O estudo morfométrico engloba análises referentes aos aspectos quantitativos do relevo da bacia, como as variáveis relacionadas à altimetria, declividade, comprimento, largura, superfície, curvatura, orientação, densidade e frequência de suas formas (FLORENZANO, 2008).

Hermuche *et al.* (2003) sustentam que os parâmetros morfométricos vêm sendo amplamente utilizados na caracterização dos processos geomorfológicos. Conjuntos de informações gerados por dados morfométricos permitem o entendimento e a classificação das feições geomorfológicas.

A distribuição dos elementos quantificados que descrevem o relevo de certa porção do espaço apresenta propriedades que se agrupam em padrões homogêneos que caracterizam unidades fisiográficas e geomorfológicas. A espacialização das classes do relevo apresenta-se ordenada nas paisagens com forte influência das variações morfométricas ao longo das vertentes (HERMUCHE *et al.*, 2003).

O advento dos MDE proporcionou grande difusão de informações morfométricas de bacias com maior rapidez e menor subjetividade. Através de sua manipulação em ambiente SIG, extraem-se dos MDE informações essenciais ao mapeamento geomorfológico.

Para Schimidt e Dikau (1999), os componentes morfométricos fundamentais são os pontos geomorfométricos e os objetos geomorfométricos. As superfícies tridimensionais topográficas podem ser definidas medindo-se a altitude da superfície em cada coordenada.

Conseqüentemente, toda superfície consiste de uma determinada quantidade de pontos geomorfométricos infinitesimais. O ponto geomorfométrico pode então ser definido como o “*elemento básico da geomorfometria*”. Já os elementos bidimensionais e lineares da superfície do terreno podem ser definidos como objetos geomorfométricos. Eles contêm certas quantidades de pontos geomorfométricos (ROMÃO, 2006).

Os objetos geomorfométricos podem ser derivados por agrupamentos (*clustering*) de pontos na superfície ou por combinação de áreas ou linhas predefinidas. O processo de agrupamento requer conhecimento geomorfológico de tal maneira que os objetos produzidos tenham o máximo de homogeneidade interna, como as formas de terreno, e/ou mostrem certa estrutura, como os segmentos de uma vertente (SCHIMIDT e DIKAU, 1999).

Os Modelos de Elevação, além da própria altimetria (derivação de ordem zero), fornecem a declividade e a orientação de vertentes (derivadas de primeira ordem) e as curvaturas vertical e horizontal (derivadas de segunda ordem) como principais variáveis morfométricas ou geomorfométricas locais (VALERIANO, 2004; ROMÃO, 2006) (figura 04).

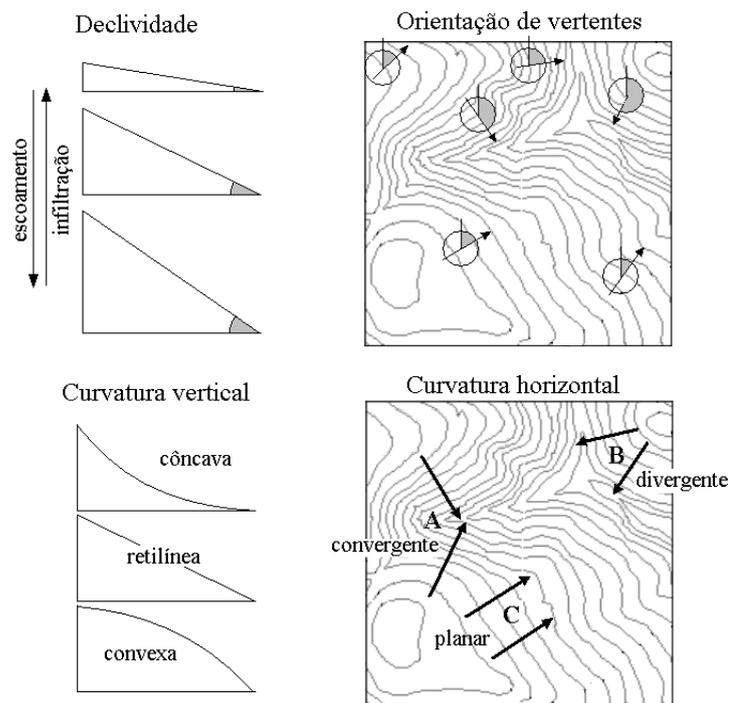


Figura 04. Variáveis morfométricas locais derivadas da altimetria. Adaptado de Valeriano (2008).

Devido à sua estreita associação com processos de transporte gravitacional (escoamento, erosão, deslizamento), a **declividade** do terreno é uma variável básica para a

segmentação de áreas em praticamente todos os procedimentos de planejamento territorial. A declividade é definida como o ângulo de inclinação (zenital) da superfície do terreno em relação à horizontal. Seus valores podem variar de 0 a 90 graus, embora seja mais comumente expressa em porcentagem, de zero a infinito. Em mapas topográficos, é estimada pela distância entre as curvas de nível. Em MDE, sua estimativa se baseia na análise dos desníveis entre pixels vizinhos (VALERIANO, 2008).

Segundo Gandolfi & Joly (2000), a declividade das vertentes produz uma variedade de situações ambientais, tais como: gradientes de umidade no solo entre o topo e a base da vertente; favorecimento do transporte de partículas de solo ao longo do perfil; interferência na organização vertical do dossel, ocasionando variações nos ângulos de penetração e distribuição de luz no interior de florestas; promoção da aparente elevação da copa de indivíduos menores e mais jovens de áreas superiores, de modo que alcancem mais rápido o dossel em áreas de declividade acentuada; variação no tempo de incidência de radiação durante o ano (maior incidência nas áreas elevadas que nas baixas) e geração de aspecto de degraus no estrato arbóreo.

A **orientação de vertentes** é definida como o ângulo azimutal da rampa no plano horizontal, correspondente à maior inclinação do terreno no sentido descendente. É expressa em graus, de 0 a 360 graus. A orientação de vertentes compõe, com a declividade, a geometria de exposição da superfície do terreno em representações em esquema de relevo sombreado. A seqüência de pontos (pixels) alinhados pela orientação de vertentes determina um caminhamento esperado de escoamento (CAMARGO, 2008).

A orientação das vertentes é um atributo primário do relevo pouco explorado nas relações dos elementos da paisagem devido a dificuldade de obtenção pelo método tradicional de fotointerpretação. Esse paradigma foi quebrado com o advento dos modelos de elevação. O atributo está diretamente correlacionada com a incidência da radiação solar, sendo fonte primária para processos físicos e biológicos que ocorrem no planeta. No hemisfério sul as encostas voltadas para o norte são tradicionalmente reconhecidas como superfícies de radiação mais elevada. A declividade e a orientação de vertentes controlam respectivamente a intensidade e a direção de fluxos de matéria e de insolação, exercendo efeitos locais sobre os regimes hídricos e de energia (VALERIANO, 2008).

Devido à forte relação com o tipo de substrato e com processos de formação do relevo, os estudos de compartimentação da topografia apontam a curvatura vertical e horizontal como variáveis de alto poder de identificação de unidades homogêneas para mapeamentos diversos.

Com relação a processos atuais, estas variáveis estão relacionadas aos processos de migração e acúmulo de matéria através da superfície (sobretudo água), proporcionados pela gravidade. Por este mecanismo, atuam indiretamente no equilíbrio entre os processos de pedogênese/morfogênese, além de influenciar a distribuição local do regime hídrico e, conseqüentemente, o regime térmico (VALERIANO, 2008).

O cálculo da curvatura do perfil, a qual influencia diretamente na aceleração do fluxo, permite inferências quanto à taxa de erosão e deposição; bem como o cálculo da curvatura plana possibilita análises quanto à convergência ou divergência do fluxo e, conseqüentemente, quanto à umidade do solo subjacente (ROMÃO, 2008).

A **curvatura vertical** expressa o formato da vertente quando observada em perfil. É definida com a segunda derivada da altitude, o que pode ser descrito como a variação da declividade ao longo de uma determinada distância. Refere-se ao caráter convexo/côncavo do terreno, podendo ser expressa em graus por metro. Evidencia as áreas de aceleração e desaceleração gravitacional (CAMARGO, 2008).

A transformação da curvatura calculada em classes (convexo, côncavo e retilíneo) é feita através do fatiamento (ou reclassificação) dos valores obtidos. Os valores positivos correspondem a terrenos convexos, negativos a terrenos côncavos (ou vice-versa) enquanto valores nulos indicam vertentes retilíneas.

Valeriano (2003) aponta a necessidade de se admitir uma margem de valores em torno do zero para que as vertentes retilíneas possam ser evidenciadas. Ensaio comparativos com descrições geomorfológicas levaram ao estabelecimento da faixa entre -0,010o/m e +0,010o/m como valores de curvatura típicos de vertentes tidas como retilíneas. Esses foram os limites aplicados na classificação da curvatura vertical em vertentes côncavas, retilíneas e convexas.

Já a **curvatura horizontal** expressa o formato da vertente quando observada em projeção horizontal. É também definida como uma derivada de segunda ordem, e se traduz no caráter de divergência ou convergência das linhas de fluxo, ou do escoamento superficial. É expressa em diferença de ângulo dividida por distância horizontal, normalmente graus por metro ou em m^{-1} .

Esta variável está relacionada à intensidade dos processos de migração e acúmulo de água, minerais e matéria orgânica no solo através da superfície, proporcionados pela gravidade. Analogamente à curvatura vertical, desempenha papel importante sobre o balanço hídrico e o equilíbrio entre os processos de pedogênese e morfogênese.

As classes de curvaturas horizontais (convergente, planar ou divergente) e verticais (côncavo, retilíneo ou convexo) podem ser combinadas para fornecer indicação da **forma do terreno** (Figura 05).

O cálculo do **desnívelamento altimétrico** efetuado pela diferença entre a curva de nível de valor mais elevado pelo valor mais baixo de determinada porção do relevo é outro fator relevante para classificações geomorfológicas. Exemplo é a delimitação de colinas e morros isolados onde o contorno da unidade é extraído da curva de nível que delimita a ruptura de declive entre as encostas dessas feições e as áreas planas. O desnívelamento altimétrico permite também a caracterização de áreas planas e reflete o grau de encaixamento fluvial ou entalhamento erosivo das encostas, que por sua vez, associa-se intimamente a variações litoestruturais e /ou tectônicas (MEIS *et al.*, 1982).

		Curvatura horizontal		
		convergente	planar	divergente
Curvatura vertical	côncava			
	retilínea			
	convexa			

Figura 05. Combinação das curvaturas para caracterização das formas de terreno. Fonte: Adaptada de Romão (2006).

Outro importante aspecto da caracterização morfométrica é o **índice de dissecação**. Ross (1992) indicou que a caracterização morfométrica e morfográfica pode ser estabelecida por meio da relação da dimensão interfluvial com o grau de aprofundamento da drenagem, o que resulta na grandeza das formas de dissecação do relevo (Tabela 03).

O índice apresentado por Ross (1992) é estabelecido pela diferença entre a amplitude altimétrica e a altitude máxima em uma dada vertente. Quanto mais alto o valor do índice, maior é a ondulação e instabilidade do terreno.

Tabela 03. Relação entre a dimensão interfluvial e o grau de aprofundamento da drenagem - Dissecação do relevo.

Grau de aprofundamento da drenagem	Dimensão Interfluvial (m)				
	Muito grande (1) > 1.500	Grande (2) de 700 a 1500	Média (3) de 300 a 700	Pequena (4) de 100 a 300	Muito pequena (5) < 100
Muito franco (1) < 10 m	11	12	13	14	15
Fraco (2) de 10 a 20 m	21	22	23	24	25
Médio (3) de 20 a 40 m	31	32	33	34	35
Forte (4) de 40 a 80 m	41	42	43	44	45
Muito forte (5) > 80 m	51	52	53	54	55

Fonte: Ross (1992).

Alem de Ross (1992), outros autores trabalharam no sentido de aprimorar as de técnicas e discussões em torno dos índices que mensuram o grau de dissecação ou rugosidade do relevo.

Sampaio (2008) empregou o **Índice de Concentração da Rugosidade (ICR)** para a identificação de distintas unidades de relevo através de processos automatizados. O Índice de Rugosidade foi inicialmente proposto por Hobson (1972) e consiste em um *grid* de células dimensionadas pela escala da grade numérica retangular do mapa, apresentando um valor único de rugosidade para cada célula. Com base em Hobson (1972), Sampaio (2008) utilizando o “*Estimador de Densidade de Kernel*” eliminou inconveniente da classificação pontual do relevo, analisando a concentração espacial da rugosidade e a identificação de unidades morfológicas distintas.

Para Sampaio (2009), a análise de padrões regionais de relevo a partir de parâmetros morfométricos, demanda a adoção de referenciais capazes de expressar quantitativamente os efeitos dos processos de dissecação e entalhamento que atuam sobre o mesmo e que, apesar de indissociáveis, são passíveis de quantificações diferenciadas ou conjuntas.

Utilizando-se de princípios geoestatísticos, o ICR adota como referencial de análise a distribuição espacial (dispersão/concentração) da declividade utilizando-se, portanto, dos valores indiretos da rugosidade bem como do entalhamento do relevo a partir da análise da repetição dos valores de declividade por unidade de área (SAMPAIO, 2009).

Sampaio (2009) indica que o ICR utiliza-se do estimador de densidade Kernel (*Kernel density*), ferramenta geoestatística disponibilizada pela maioria dos softwares de geoprocessamento, aplicando-o sobre pontos, cujos valores são representativos da declividade das áreas ocupadas pelos pixels. É uma ferramenta de análise espacial para processos espaciais de primeira ordem, ou seja, permite a análise da dispersão ou concentração de um dado fenômeno no espaço, sendo neste caso analisado a declividade.

CAPÍTULO II - PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

2.1. Estrutura Conceitual

A organização das idéias, bem como a definição dos materiais utilizados e os procedimentos técnico-operacionais adotados neste trabalho, fundamentaram-se na análise sistêmica da paisagem para a apreciação dos aspectos geomorfológicos da bacia do rio Água Limpa. A escolha de tal proposta teórica se efetivou ante a possibilidade de análise dos vários elementos e processos que atuam na formação da paisagem, de maneira integradora.

Assim, a presente pesquisa pode ser dividida em três partes. A primeira etapa consistiu numa revisão bibliográfica em nível teórico da estrutura conceitual adotada e também na revisão bibliográfica acerca dos trabalhos referentes à temática, bem como da área de estudo. A segunda etapa compreendeu o levantamento, a aquisição e a elaboração de materiais cartográficos referentes à área de estudo, além da estruturação do banco de dados, a preparação e a finalização dos planos de informações ou mapas para a interpretação e redação dos resultados preliminares. A terceira etapa consistiu na interpretação dos dados, elaboração da carta de unidades geomorfológicas e redação dos resultados obtidos. A realização de trabalhos de campo foi outra etapa que corroborou com a proposta da pesquisa e trouxe informações esclarecedoras acerca do mapeamento proposto.

O mapeamento geomorfológico, cerne da pesquisa, seguiu a metodologia proposta Ross (1992) para a classificação e interpretação do relevo segundo níveis taxonômicos. Classificou-se a partir do quarto nível taxonômico, referente ao padrão das formas semelhantes, descrevendo e delimitando tais feições a partir de dados morfométricos e morfográficos.

As formas semelhantes identificadas foram: a) Formas de Agradação (acumulação), representadas pelas unidades *Planícies e Terraços Fluviais e Planícies Fluvio-lacustres*; b) Formas de Degradação, representadas pelas unidades *Depressões Aplainadas ou Superfícies de Aplainamento* associadas à Formação Araguaia; e c) Formas Estruturais, representadas pelas unidades *Serras e Morros* residuais associados ao Arco Magmático e ao Complexo Alcalino.

Na representação das unidades geomorfológicas da bacia do rio Água Limpa cada unidade recebeu uma cor - com gradação variando de mais forte para as formas mais antigas e mais fraca para as formas recentes, expressando relações cronológicas dos compartimentos,

dispostas inclusive de forma cronológica na legenda - e uma codificação composta por uma letra maiúscula referente ao tipo de forma (A para as formas de relevo ligadas aos processos de agradação ou acumulação; D para formas de relevo relacionadas aos processos de denudacional - ou erosão; e E para as formas ligadas a estrutura), seguida de letras minúsculas referentes às distintas unidades.

A escala de abordagem é um item essencialmente importante para essa análise geomorfológica, e desta forma, trabalhar-se-á com uma escala relativamente pequena (1:150.000), o que garantirá a representação de compartimentos maiores do relevo.

Para alcançar os objetivos propostos para a presente pesquisa, foi adotada uma sequencia operacional do uso das técnicas e materiais correlatos pertinentes para a cartografiação (figura 06), descritas a seguir:

2.2. Manipulação do Modelo Digital de Elevação

O MDE TOPODATA foi utilizado em praticamente todos os procedimentos dessa pesquisa. Trata-se de um modelo melhorado dos dados SRTM, originalmente com 90 metros de resolução. A resolução espacial desse modelo é de 30 metros (obtida através da interpolação por krigagem) e permite a obtenção de informações na escala de 1:150.000.

Os dados do TOPODATA baixados no site do INPE (www.dpi.inpe.br/topodata) possuem uma série de erros que podem afetar o resultado do trabalho se não forem verificados e corrigidos ou considerados durante a execução da pesquisa. Alguns pixels do modelo não possuem valor de altimetria, ou ainda, possuem valores fora do padrão da região de análise. Para corrigir isso aplicou-se a ferramenta *Fill Sinks* para eliminação de reentrâncias do MDE.

Problemas com MDE detectados em áreas de baixa declividade como áreas alagadas e áreas muito planas com dossel vegetal, comprometem a confiabilidade das derivações morfométricas. Todavia, por se tratar de casos evidentes de interferência (principalmente em bordas de fragmentos vegetais), foi possível perceber seu efeito e removê-lo através da edição dos resultados finais.

2.3. Delimitação da bacia e sub-bacias do rio Água Limpa

A delimitação da bacia do rio Água Limpa foi o primeiro procedimento automatizado deste trabalho. A delimitação teve como base o método automático da extensão “*Watershed*

Delineation Tools” e “*Hydrology*”, plataforma ArcGis 9.3. Esta utiliza o MDE TOPODATA para procedimentos como eliminação de reentrâncias e saliências do MDE (*Fill Sinks*), produção do mapa de fluxo (*Flow Direction*), elaboração do mapa de fluxo acumulado (*Flow Accumulation*), mapeamento da rede de drenagem (*Stream Networks*) e, por fim, a delimitação da bacia hidrográfica (*Watershed Delineation*) (PAZ & COLLISCHONN, 2008). A delimitação das sub-bacias foi realizado no software BASINS 4, que também usa o MDE para tal procedimento.

Os limites da bacia obedecem a parâmetros topográficos, onde se traça uma linha imaginária pelos pontos mais elevados do terreno, atravessando o curso d’água apenas no exutório.

2.4. Elaboração de cartas de apoio

Foram elaboradas **cartas de geologia, solos e uso do solo** para visualização dos componentes físicos da bacia em questão e para apoiar o mapeamento geomorfológico.

Para a representação dos atributos geológicos da bacia do rio Água Limpa utilizou-se dos dados do mapeamento Geológico do Estado de Goiás e do Distrito Federal (GOIAS, 2008), na escala de 1:500.000. Tais dados foram detalhados e corrigidos em campo para a posterior elaboração da carta de geologia.

Para a carta dos sistemas pedológicos da área em questão foram utilizados o mapeamento de solos do Diagnóstico Ambiental da Bacia do Rio Araguaia (IBGE, 1999), na escala de 1:500.000 e o mapeamento de solos da Determinação de Áreas Prioritárias para Unidades de Preservação - Cons. Imagem/WWF – BRASIL (SCARAMUZZA *et al.*, 2008), na escala de 1:250.000.

Como as classes identificadas em cada trabalho nem sempre possuíam correspondência espacial e topológica selecionou-se as informações mais importantes em cada trabalho. Assim, o primeiro procedimento foi a padronização e união dos diversos materiais cartográficos já existentes, a leitura dos respectivos relatórios e a adequação da nomenclatura atualizada. A idéia central foi reunir os dados existentes nos diversos diagnósticos com a delimitação manual e o ajuste para um só mapa, buscando reunir as informações levantadas pelos diversos técnicos envolvidos nos respectivos projetos.

A elaboração do mapa da situação do uso do solo e de fragmentos de vegetação deu-se através da classificação não-supervisionada de imagens LANDSAT 5 TM, de agosto de 2011,

órbita/ponto 223/71, composição colorida RGB 543. Estas imagens foram obtidas do endereço eletrônico do INPE (www.inpe.br), registradas no software ENVI 4.3 com base na imagem LANDSAT GeoCover S-22-15_2000, já previamente corrigida, georreferenciada e disponibilizada no endereço eletrônico da NASA (www.zulu.ssc.nasa.gov/mrsid/).

Posteriormente, essas imagens foram mosaicadas e projetadas para UTM (Projeção Transversa de Mercator), zona 22 Sul, Datum SAD 69, e recortadas segundo o limite da bacia obtido pela delimitação automática (etapa realizada no software ArcGis 9.3). Na etapa de classificação, tais imagens foram processadas na extensão “*Spatial Analyst Tools – Maximum Likelihood Classification*”, gerando-se uma classificação segundo cinco classes. Identificada a classe vegetação correspondente a imagem, esta foi isolada e trabalhada separadamente para a interpretação visual e correção vetorial de alguns erros (comuns nesse tipo de classificação automática). O mesmo foi feito para as outras categorias levantadas: pastagens, pivôs centrais, agricultura, massas de água, perímetro urbano e bancos de areia. Obteve-se então como produto final um mapa de uso do solo na escala de 1:150.000.

Utilizou-se também o mapeamento da cobertura vegetal do Estado de Goiás, resultante do projeto PDIAP (Programa de Identificação de Áreas Prioritárias para Conservação da Biodiversidade no Estado de Goiás - 2002) (SCARAMUZZA *et al.*, 2008). Este fez-se necessário para identificar as diferentes fitofisionomias de Cerrado da área de estudo.

Na representação dos canais de drenagem nas diversas cartas e em outras análises utilizou-se os arquivos vetoriais com essa temática disponibilizados pela Superintendência de Geologia e Mineração do Estado de Goiás, na escala de 1:100.000.

Todos os arquivos vetoriais utilizados nesse procedimento estão disponíveis no site do SIEG – Sistema Estadual de Estatísticas e de Informações Geográficas de Goiás (www.sieg.com.br).

2.5. Cálculo dos atributos morfométricos da bacia hidrográfica

Os parâmetros morfométricos extraídos do MDE TOPODATA e utilizados na caracterização da bacia foram: **altitude, declividade e orientação das vertentes** (parâmetros de primeira ordem). Os parâmetros de segunda ordem são: **curvatura vertical, curvatura horizontal e formas de relevo**. Todos eles foram derivados do MDE TOPODATA através da sua manipulação em ambiente ArcGis 9.3, numa escala de trabalho de 1:150.000.

2.6. Outras derivações do MDE pertinentes ao trabalho

O **Índice de Concentração da Rugosidade (ICR)** foi elaborado conforme a metodologia apresentada por Sampaio (2008), tendo como referencial de análise a distribuição espacial (dispersão/concentração) da declividade. Este foi trabalhado como indicador da dissecação do relevo e corroborado pelo *hillshade*. Utilizou-se, portanto, dos valores indiretos da rugosidade bem como do entalhamento do relevo a partir da análise da repetição dos valores de declividade por unidade de área.

O *hillshade* (ou sombreamento do relevo) foi um produto derivado do MDE especial a esse trabalho. A visualização da textura no *hillshade* é um elemento importante na identificação de regiões geomorfológicas. Os atributos texturais contêm informação sobre a distribuição espacial dessas variações na imagem.

A interpretação visual do *hillshade* permitiu visualizar o grau de dissecação do relevo e identificação dos padrões do relevo na imagem de radar (formas e inclinação das vertentes), facilitando na identificação dos compartimentos do relevo. O *hillshade* foi elaborado através da manipulação do MDE TOPODATA, software ArcGis 9.3 e associado por transparência em todas as cartas do trabalho.

2.7. Identificação de sistemas fluvio-lacustres

Inicialmente foi criando um *shape* formato ponto com todos os lagos naturais arredondados verificados na imagem LANDSAT 5TM de agosto de 2011, a mesma imagem utilizada para o mapeamento do uso do solo. É perceptível a diferença entre os lagos naturais e os artificiais. Posteriormente, o *shape* com o centroide dos lagos foi alvo do “*Estimador de Densidade de Kernel*”, software ArcGis 9.3, a fim de se criar um polígono com distribuição areal dos eventos através da repetição de lagos por unidade de área. Assim, chegou-se ao limite das Planícies Fluvio-lacustres.

2.8. Associações das informações morfométricas e morfográficas

O passo seguinte foi realizar associações do tipo *intersect* no ambiente ArcGis 9.3 entre todos os parâmetros gerados. Os diferentes parâmetros morfométricos extraídos do MDE TOPODATA e as informações da base geológica, pedológica, de uso e cobertura

vegetal foram combinados de forma a identificar os padrões semelhantes e agrupá-los. Depois de isolados, cada grupo semelhante recebeu ajustes vetoriais com base no conhecimento prévio da área e na interpretação visual do *hillshade*. O produto desse processo é um arquivo vetorial com os compartimentos do relevo.

2.9. Trabalhos de campo

Soma-se ao resultado o levantamento de pontos georreferenciados e fotografias de quatro visitas a área de estudo, cada uma com dois ou três dias, que permitiram ter uma visão geral da complexidade da paisagem nessa porção geográfica e da distribuição dos compartimentos do relevo.

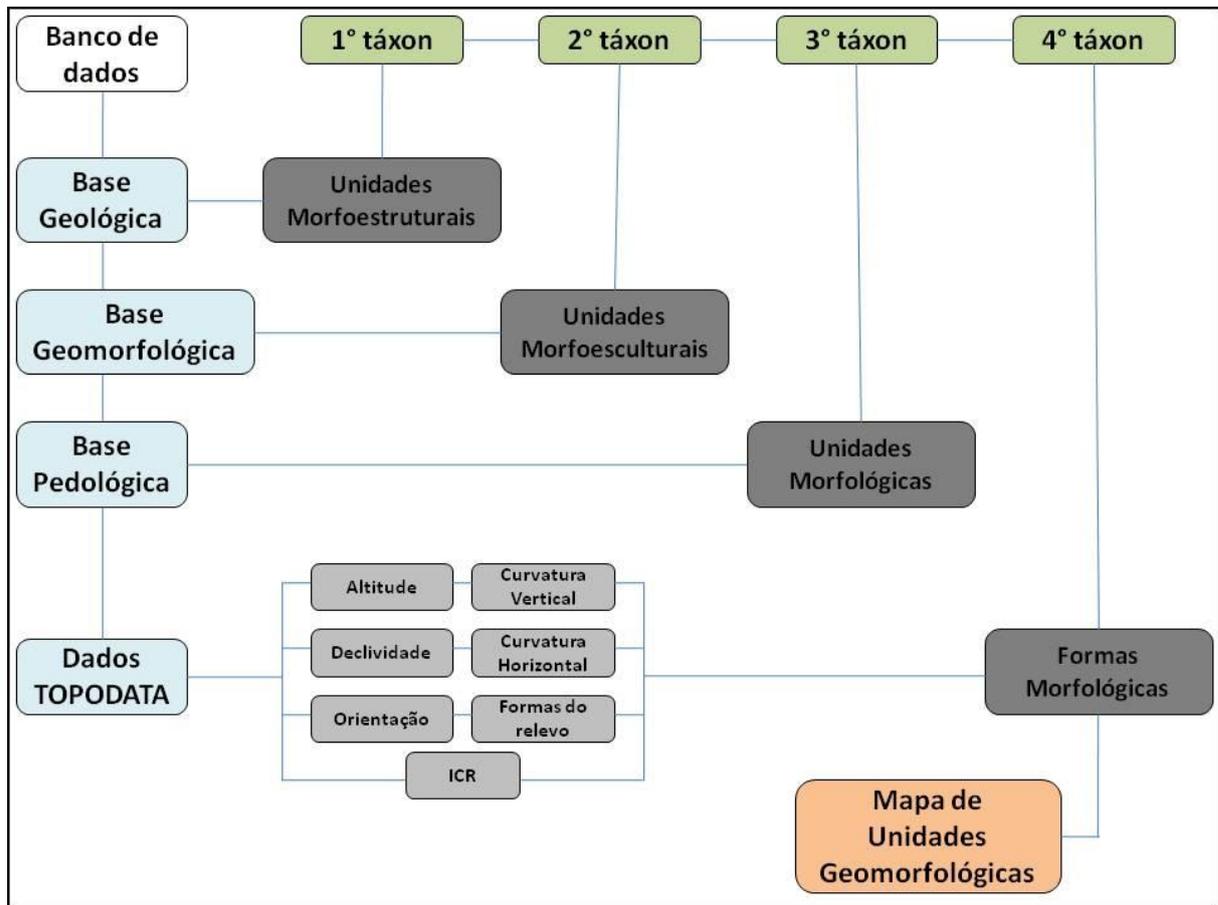


Figura 06. Fluxograma metodológico utilizado para a elaboração da compartimentação geomorfológica.

CAPÍTULO III - CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

3.1. Localização

A área de estudo compreende a bacia hidrográfica do rio Água Limpa, localizado na região oeste do Estado de Goiás, nos municípios de Britânia, Jussara, Itapirapuã, Fazenda Nova e Santa Fé de Goiás (figura 07). O rio Água Limpa é o maior contribuinte da bacia do rio Vermelho pela margem esquerda, que por sua vez deságua no rio Araguaia. A bacia do rio Vermelho é uma das maiores e mais importantes bacias do lado goiano da bacia do Araguaia. O rio Água Limpa drena uma área de aproximadamente 3.936 km², ou 36% do total da bacia do rio Vermelho, e tem vazão média histórica estimada em 38.700 L/s (ANA, 2012).

3.2. Clima

A região apresenta clima predominantemente Tropical Semi-úmido, com temperatura média varia bastante (24 a 26°), com mínimas entre 18 e 21°, e máxima entre 28 e 34°. A pluviosidade anual dessa região varia de 1500 a 1800 mm, com insolação solar total anual de 2200 a 2500 horas, e umidade média relativa do ar entre 70 e 75 %, entretanto alcançando valores muito baixos nos meses de seca (INMET, 1990).

Trata-se de um clima de natureza continental tropical, devido à sua posição continental, não sofrendo o efeito direto da confluência intertropical. Segundo Koppen, o clima caracteriza-se por ser do tipo Aw, de savanas tropicais, com quatro a cinco meses secos. O período chuvoso estende-se de outubro a abril, sendo o mês de maio a transição para o período seco (figura 08).

Por estar contida no domínio do Cerrado, um dos principais fenômenos que determinam o regime de chuvas em toda a região do rio Água Limpa é o anticiclone do Atlântico Sul, também conhecido como ZCAS (Zona de Convergência do Atlântico Sul) (VIANELLO & ALVES, 1991).

Para Vieira (2002), toda a região média do Araguaia encontra-se sob condições meteorológicas influenciadas pelas frentes frias que bloqueiam a expansão da massa continental equatorial, formada na própria região amazônica, em expansão para o sul. Essas frentes têm origem na transição da estabilidade de inverno para a instabilidade de verão. Elas surgem entre outubro e novembro de cada ano e persistem até março com ocorrência máxima entre dezembro e janeiro.

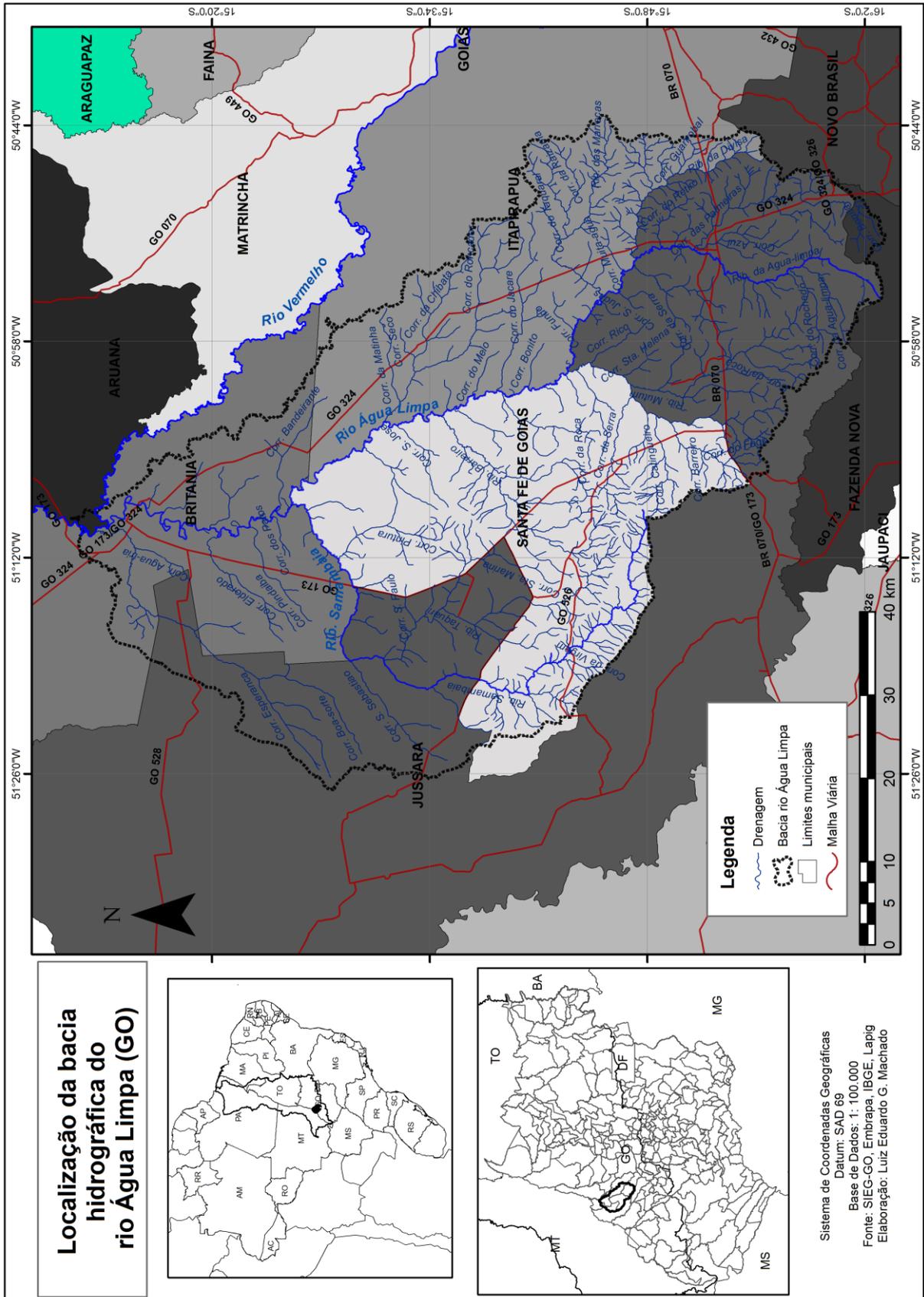


Figura 07. Localização da bacia hidrográfica do rio Água Limpa (GO).

Quando essas frentes se sucedem a intervalos curtos, os efeitos de todas elas se associam sem interrupção, acarretando precipitação generalizada e prolongada. Além dessas precipitações características, ocorrem também precipitações intensas localizadas, provenientes de instabilidades convectivas que ocorrem ao longo das ondulações equatoriais e das frentes frias.

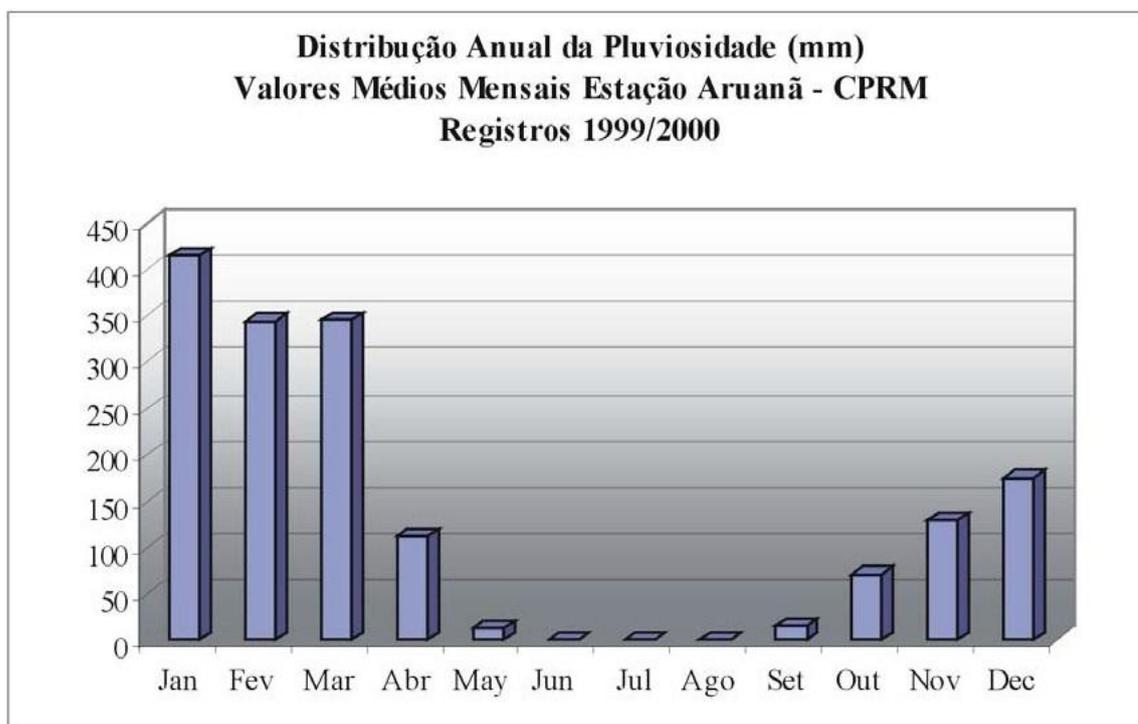


Figura 08. Distribuição anual da pluviosidade na região da bacia do rio Água Limpa. Fonte: Adaptado de Vieira (2002).

Durante o inverno - maio a setembro - é praticamente constante o domínio dos alísios de sudeste da massa Equatorial Atlântica (Ea) com ventos de nordeste e leste, responsáveis pelo regime de seca e estabilidade com céu claro e dias ensolarados. As massas polares que conseguem alcançar a área provocam chuvas frontais e são responsáveis pelo abaixamento das temperaturas, podendo originar mínimas de até 10°C.

Há domínio absoluto da Equatorial Continental (Ec) durante o verão - novembro a março - que forma linhas de instabilidade. As chuvas são constantes e só em ocasiões especiais é que há o retorno da alta tropical, trazendo seca e instabilidade (VIEIRA, 2002).

3.3. Geologia

A área de estudo esta inserida na província estrutural Tocantins (VALENTE, 2007). Esta é uma unidade tectônica neoproterozóica desenvolvida durante a colagem orogênica Brasileira que ocorreu na região central do Brasil. A província compreende três cinturões dobrados, denominados faixas Brasília, Araguaia e Paraguai, resultantes da colisão de três blocos continentais (Cráton Amazônico a oeste, Cráton São Francisco a leste e a sudoeste o Cráton Paraná/Rio de La Plata) durante a amalgamação do Gondwana Oriental (GOIAS, 2008). Em Goiás predomina a Faixa Brasília.

Trata-se de um cinturão móvel neoproterozóico situado na porção oriental da Província Tocantins segundo a direção N-S e engloba grande parte da bacia Araguaia-Tocantins (ALMEIDA *et al.*, 1977). Na bacia do rio Água Limpa sua arquitetura compreende o Arco Magmático de Goiás. Este compartimento caracteriza-se por apresentar deformação progressiva que culminou com o desenvolvimento de sistemas de dobras, empurrões e imbricamentos de vergência para o Cráton São Francisco. A unidade está parcialmente capeada por sedimentos quaternários da Bacia do Bananal (ALMEIDA *et al.*, 1977).

As principais características das unidades geológicas na bacia em questão estão resumidas na tabela 04 e discutidas a seguir.

Tabela 04. Apanhado geológico da bacia do rio Água Limpa.

Província Estrutural	Província Geológica	Unidade Geológica	Período-época-ano
Tocantins	Bacia do Bananal	Depósitos Aluvionares	Holoceno 0,01 Ma
		Formação Araguaia	Quaternário 1,6 Ma
	Província Alcalina do Sul de Goiás	Complexo Alcalino Iporá	Cretáceo Superior 85 Ma
	Arco Magmático de Goiás	Granito Serra do Impertinente	Cambriano 485-576 Ma
		Ortognaisses do Oeste de Goiás	Neoproterozóico 630-899 Ma

Fonte: Valente (2007) e Goiás (2008).

O **Arco Magmático de Goiás** compreende uma sequencia de arcos magmáticos juvenis de varias idades definidos principalmente pelo sistema de rampa frontal e lateral de mais de um episódio de deformação durante o ciclo Brasileiro orogênico, entre 899 e 630 Ma (GOIAS, 2008). A presença do Arco é relacionada ao desenvolvimento de uma zona de subducção intraoceânica para leste (GOIAS, 2008), originada durante a fase colisional entre os Crátos Amazônico, São Francisco e Paraná. São associações vulcano-sedimentar e intrusões de granitos e gabros pós-orogênicos ocorrem localmente (VALENTE, 2007).

A unidade **Ortoznaisses do Oeste de Goiás** é a mais representativa dentro do Arco Margmático, compreendendo um conjunto de arcos constituídos de ortognaisses tonalíticos a granodioríticos bandados, cinza a róseos, médios a grossos, por vezes cisalhados e de textura protomilonítica até ultramilonítica e, localmente, migmatíticos (GOIAS, 2008). Está coberta por sedimentos da Formação Araguaia. Forma, juntamente com as sequencias de rochas supracrustais e granitoides sin a tardi-orogênicos, um segmento de crosta juvenil fruto da colagem de diversos arcos neoproterozoicos. Representam mais de 24% da bacia.

Uma série de intrusões graníticas pós-tectônicas formam a **Suíte Granito Serra do Impertinente**, que afloram em meio ao Arco Magmático de Goiás. Um grande batólito localizado a sudoeste de Jussara é chamado de Serra do Impertinente, formando um dos principais divisores de águas da bacia do rio Água Limpa. Trata-se de massas batólitas expostas representadas essencialmente por biotita monzogranito porfirítico, de cor rósea, granulação fina a média, com fenocristais de feldspato potássico, quartzo e biotita, por vezes equigranular, com veios pegmatóides e diques de aplito e presença de fluorita. A idade varia entre 485 e 576 Ma (GOIAS, 2008). Perfazem mais de 9% da bacia.

A **Província Alcalina do Sul de Goiás - Complexo Alcalino Iporá** compreende pequenas intrusões no Arco Magmático de Goiás, recobertas em algumas regiões por sedimentos da Formação Araguaia. Constitui-se de um conjunto de corpos ígneos de filiação alcalina e natureza plutono-vulcânica, composto por dunitos, peridotitos, piroxenitos, serpentinitos, gabros, sienogabros, nefelina sienitos, silexitos silexitos, carbonatitos, kimberlitos e lamprófiros. Destaca-se o Maciço de Santa Fé, composto de núcleo de dunito com bordas de peridotito alcalino, clinopiroxenito, gabro e sienito. Tais formas foram geradas no Cretáceo Superior, com idade por volta de 85 Ma (GOIAS, 2008). Representa apenas 0,3% da bacia.

O complexo da **bacia cenozóica do Bananal**, representada por sedimentos aluviais da **Formação Araguaia**, é uma superfície plana de baixa altitude com área aproximada de

106,000 km² que se estende desde a região de Aragarças-GO, Nova Xavantina-MT e Barra do Garças-MT até a Ilha do Bananal (divisão entre GO/TO/PA). Trata-se de uma das mais importantes bacias sedimentares intracratônicas anorogênicas da América do Sul, desenvolvida entre o Cráton Amazônico e o São Francisco. Para Valente (2007), os processos denudacionais causaram a deposição da bacia intracratônica do Bananal, que representa o grande sistema de agradiação quaternária do Brasil Central.

Hales (1981), com base em dados de magnetometria e sísmica, interpretou a bacia do Bananal como resultante do desenvolvimento de *horsts* e *grabens* por reativações de falhas transbrasilianas. Os registros sedimentares associados a datações radiométricas por termoluminescência e luminescência opticamente estimulada, obtidos por Valente (2007) em sedimentos fluviais da Formação Araguaia, mostram que a bacia do Bananal é um complexo mosaico de unidades morfo-sedimentares. Estas unidades são caracterizadas por aluviões que evoluíram em dois períodos glaciais distintos: Pleniglacial Médio (56.600 ± 5.900 a 34.000 ± 4.600 anos) e Pleniglacial Superior (26.400 ± 3.100 a 17.200 ± 2.300 anos). Cinturões fluviais, resultantes de atividade neotectônica, foram o principal produto dessa época com formação de padrão *anabranching* de canais ativos, paleocanais e rios subadaptados (*underfit rivers*).

A **Formação Araguaia**, definida por Barbosa *et al.* (1966), compreende uma sucessão de sedimentos mal selecionados do sistema fluviolacustre da bacia fluvial do rio Araguaia, de idade Pliocênicas-Pleistocênicas, iniciada por conglomerado basal com seixos poligênicos em matriz areno-argilosa, seguidos de arenitos vermelhos pouco compactos capeados por siltes e areias siltosas, inconsolidadas, mal selecionadas, de granulometria e colorações variadas. Tal sucessão de sedimentos assenta-se diretamente sobre rochas do Arco Magmático e corpos intrusivos alcalinos (GOIAS, 2008). A formação sustenta ampla superfície denominada Superfície do Araguaia.

Valente & Latrubesse (2007) indicam que a Formação Araguaia consiste de sedimentos fluviais arenosos com intercalações de sedimentos argilosos e níveis de cascalheiras. A ocorrência de camadas de areia endurecida enriquecidas em óxido de ferro de coloração avermelhada é comum. A textura varia de fina a grossa e as tonalidades de cinza-claro a médio, passando por amarelo até marrom-avermelhado. Estes sedimentos são capeados por camada de argila endurecida de planície de inundação que pode atingir mais de 6 m de espessura.

Pena *et al.* (1975) executou um furo de 47,90 m de profundidade na região da Fazenda Canadá, localizada no município de Jussara. Nesta localidade a Formação Araguaia chega a

45,50 m de espessura com intercalações de areias, siltes e argilas. Os sedimentos arenosos possuem texturas predominante grosseiras. Tais sedimentos apresentam geralmente coloração amarelada a avermelhada. No intervalo do perfil entre 25 a 29 m de profundidade, há um nível de areia fina a média com intercalações de argila e de sedimentos de areia endurecida enriquecido em óxido de ferro. Araujo & Carneiro (1977) utilizando de estudos sísmicos na ilha do Bananal concluíram que o seu substrato é composto provavelmente por rochas metassedimentares e/ou ígneas, localizadas a uma profundidade que varia de 170 a 320 metros.

Lacerda Filho *et al.* (1999) subdividem a unidade em duas fácies: (i) Fácies Terraços Aluvionares – constituída de sedimentos siltico-arenosos e arenosos com níveis conglomeráticos, parcialmente laterizados; (ii) Fácies Depósitos Aluvionares – composta por sedimentos argilo-siltosos e arenosos flúvio-lacustres (sistema de lagos arredondados) que preenchem depressões resultantes de reativações neotectônicas ao longo do vale do rio Araguaia. A Fácies Depósitos Aluvionares ocupa mais de 10% da bacia do Água Limpa, enquanto a Fácies Terraços Aluvionares ocupa 46,4% da bacia.

Coberturas ferruginosas, supostamente do Terciário-Quaternário, têm ampla distribuição na bacia do rio Água Limpa e atapetam superfícies de aplainamento desenvolvidas sobre rochas de todas as unidades litoestratigráficas e, atualmente, esta sob efeito de dissecação marginal por erosão (GOIAS, 2008). Ocorrem em várias localidades da Formação Araguaia como produto de intenso intemperismo e são compostas por concreções minerais ricas em ferro e alumínio. Todavia, não foram cartografadas. Para Valente (2007) estas coberturas foram desenvolvidas em um ambiente climático mais seco do que o atual.

Tais sedimentos de formação superficial desenvolveram-se em zonas de interflúvios, constituídos por conglomerados oligomíticos com seixos de lateritas autóctones com nódulos ferruginosos. Sua origem é ligada ao mecanismo de separação das argilas dos oxihidróxidos de ferro, favorecido durante as fases de aplainamento de ciclos geomorfológicos, principalmente na zona de flutuação do nível freático (PORTO, 1996), e por processos geoquímicos resultantes do clima atual e do passado. Com o gradual rebaixamento da superfície ao longo do tempo, o ferro se acumula residualmente formando níveis concrecionarios ferruginosos (figura 09).

Os **Depósitos Aluvionares** holocênicos associam-se à rede de drenagem que flui sobre a Formação Araguaia, notadamente no rio Água Limpa e ribeirão Samambaia. Os depósitos são pouco extensos e somente foram cartografados os de maior extensão, compatíveis com a

escala do mapa. Estes compreendem as acumulações de sedimentos de calha e de planície de inundação, compostos por areias finas a grossas, cascalhos e lentes de material silto-argiloso e turfa.

A distribuição das unidades geológicas é expressa na tabela 05 e na figura 10.



Figura 09. Perfil laterítico com formação de níveis concrecionados ferruginosos.

Tabela 05. Unidades geológicas da área de estudo.

Unidades Geológicas	Área	
	Km ²	%
Depósitos Aluvionares	345,5	8,8
Formação Araguaia	2220,4	56,5
Complexo Alcalino	11,5	0,3
Suíte Serra do Impertinente	381,6	9,7
Ortognaisses do Oeste de Goiás	977	24,8
Total	3936	100

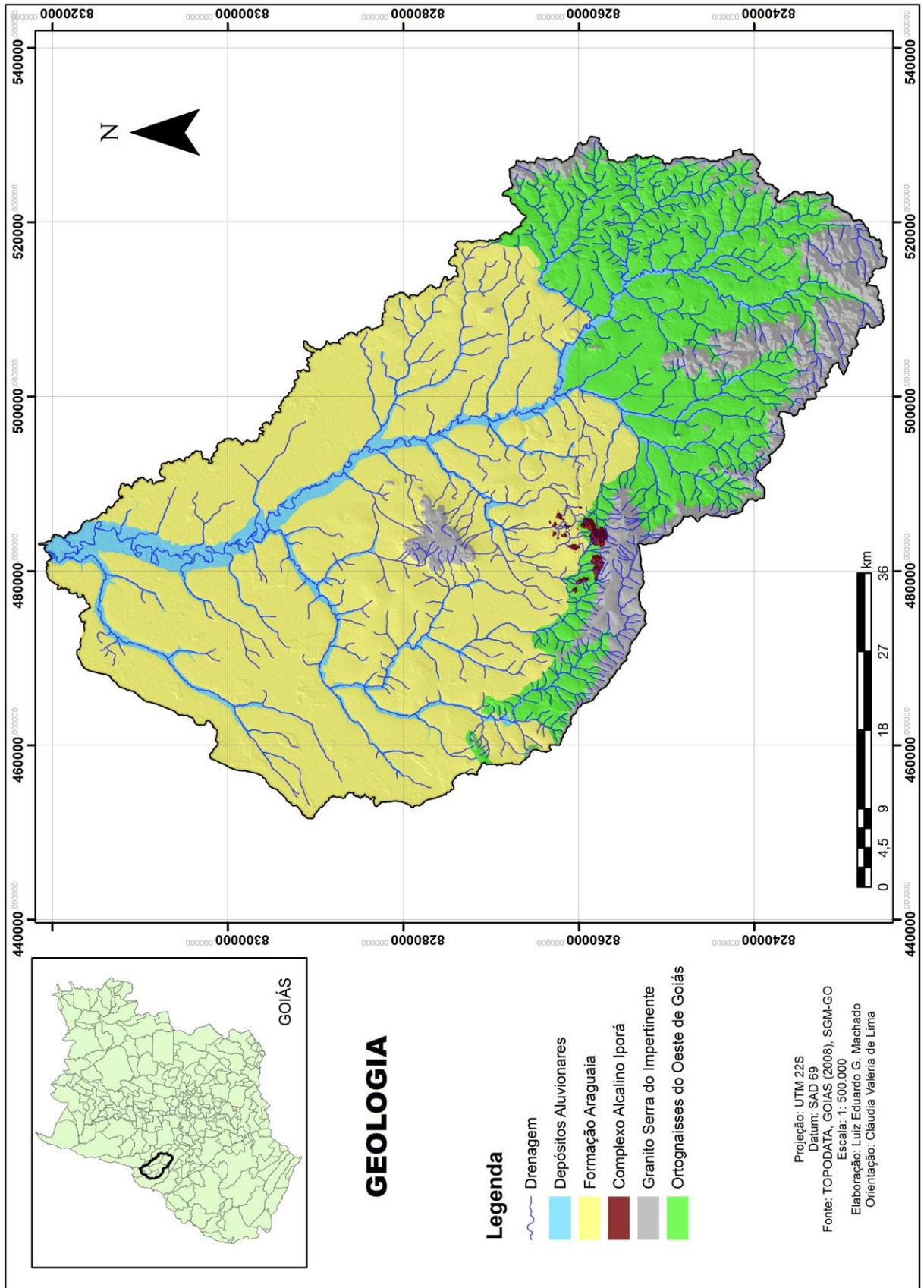


Figura 10. Mapa de unidades geológicas da bacia do rio Água Limpa.

3.4. Solos

Os solos desempenham papel importantíssimo na apropriação do relevo devido à suas propriedades favoráveis ou não ao uso agrícola. Compõem o substrato que controla a maior parte dos ecossistemas terrestres.

Verifica-se a ocorrência de Latossolo Vermelho limitada à porção central da bacia do rio Água Limpa, localizado principalmente no município de Santa Fé de Goiás, e a algumas manchas isoladas no município de Itapirapuã. Com horizonte B latossólico de coloração avermelhada, tal solo apresenta elevada quantidade de concreções ferruginosas ao longo do perfil, muitas vezes acima de 50% do volume (MACHADO & LIMA, 2011). A ocorrência de coberturas lateríticas esta estreitamente associada às regiões onde há o predomínio de solos do tipo Latossolo Vermelho.

Latossolos Vermelho-Amarelo desenvolvem-se principalmente nos municípios de Britânia, Itapirapuã e Jussara. Profundos, bem acentuados, distróficos, A moderado, textura média (LVd17) ocupam relevos mais aplainados da Formação Araguaia, e apresentam cores mais claras (amareladas) e teores mais baixos de hematita (BRASIL, 1981). Ocorrem em associações com Neossolo Quartzarênico, embora a escala da base cartográfica utilizada não represente tal classe. O Neossolo Quartzarênico é um solo profundo, bem drenado, essencialmente quartzoso, com 95% ou mais de quartzo nas frações areia grossa e areia fina (MACHADO & LIMA, 2011).

Ao longo das planícies holocênicas agradacionais dos principais rios da bacia do rio Água Limpa verifica-se a ocorrência de Gleissolos. Trata-se de solos minerais, hidromórficos, com horizonte glei abaixo do horizonte superficial e cores de redução (cinzentas ou gleizadas) em todo o perfil, ocasionadas pela forte redução do ferro devido à presença do lençol freático próximo da superfície, ou aflorante durante alguns meses do ano. São pouco desenvolvidos, mal drenados, pouco profundos, pouco permeáveis, muito argilosos e estão sob vegetação predominante de Floresta Aluvial.

Neossolos Litólicos ocorrem em áreas de declives mais acentuados, principalmente nas Serras e Morros residuais associados ao Arco Magmático, região de divisores de água. Não hidromórficos, pouco desenvolvidos, rasos, bem drenados, com seqüência de horizontes A,C,R ou A sobre a rocha matriz, são solos essencialmente minerais (IBGE, 1999). Em regiões acidentadas da Serra do Impertinente, também há a presença de solos do tipo litólico, assentados diretamente sobre a rocha matriz ou sobre um horizonte C ou Cr ou sobre material

com 90% ou mais de sua massa constituída por fragmentos de rocha. Admite um horizonte B em início de formação, cuja espessura não satisfaz a qualquer tipo de horizonte B diagnóstico.

Argissolo Vermelho-Amarelo ocorre restritamente a uma mancha localizada no município de Santa Fé de Goiás. São solos minerais, não hidromórficos, que se caracterizam pela presença de um horizonte B textural de cores vermelho-amareladas. São profundos a pouco profundos, bem drenados, com seqüência de horizonte A, Bt e C com distinta individualização entre si, no que diz respeito a cor, textura e estrutura. A textura predominante é média/argilosa (IBGE, 1999).

A distribuição das classes de solos é expressa na tabela 06 e na figura 11.

Tabela 06. Classes de solos da área de estudo.

Classes de Solos	Área	
	Km ²	%
Latossolo Vermelho Amarelo	2230	56,65
Latossolo Vermelho	1147	29,15
Argissolo Vermelho Amarelo	131	3,33
Neossolo Litólico	302	7,67
Gleissolo	126	3,2
Total	3936	100

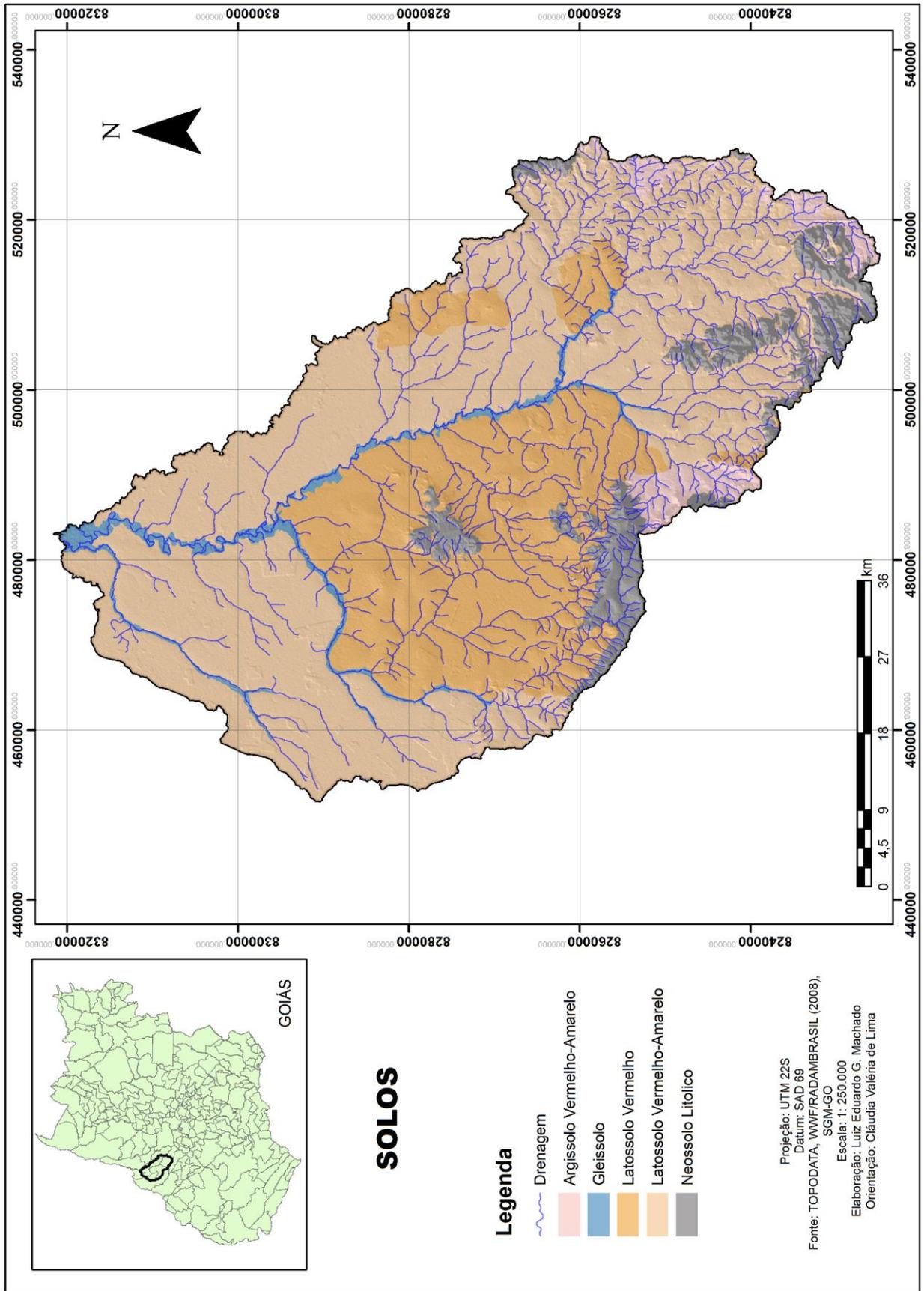


Figura 11. Mapa de sistemas pedológicos da bacia do rio Água Limpa.

3.5. Vegetação e Uso do Solo

A bacia do rio Água Limpa esta contida no bioma do Cerrado. Esse bioma esta presente em 21% do território nacional (com aproximadamente 2 milhões de km²) e é considerado a savana mais rica do mundo em termos de biodiversidade (KLINK & MACHADO, 2005). O bioma Cerrado é representado por formações de vegetação bastante complexas que mostram uma variação de fisionomias e composição florísticas, com cerca de 1,5% de plantas endêmicas, considerado como um dos 25 *hotspots* da Terra para a conservação da biodiversidade (MYERS *et al.*, 2000).

A área de estudo em questão apresenta diferentes tipos fitofisionomicos, que vão desde o extrato herbáceo-arbustivo ao arbóreo, característica típica das áreas de Cerrado. A nomenclatura utilizada para caracterizar tais fitofisionomias remanescentes é a mesma nomenclatura adotada nos mapas de vegetação brasileira, produzidos pelo IBGE, com base nos levantamentos do Projeto RADAMBRASIL e oficialmente usados para estabelecimento de políticas públicas em nível regional. Essa classificação tem embasamento teórico discutido no Manual Técnico da Vegetação Brasileira (IBGE, 1992).

A fitofisionomia remanescente de maior expressão na bacia é a Floresta Estacional Semidecidual Aluvial. Esta ocupa os terraços e planícies holocênicas ao longo do rio Água Limpa, principalmente no seu exutório no rio Vermelho, e em trechos do ribeirão Samambaia. Essa fisionomia apresenta uma composição florística bastante seletiva, em função da capacidade de suportar encharcamento periódico, tendo, às vezes, estruturas adaptadas, como raízes aéreas ou tabulares. É a formação que se apresenta com uma menor estacionalidade ou queda de folhas (IBGE, 1992). Podem atingir até 20 metros de altura.

Em algumas “manchas” de vegetação próximas às margens do rio da Água Limpa e ribeirão Samambaia desenvolve-se a chamada Floresta Estacional Semidecidual Aluvial-Vegetação Pioneira com influência fluvial (comunidades aluviais). Trata-se de comunidades vegetais das planícies aluviais que refletem os efeitos das cheias dos rios nas épocas chuvosas, ou, então, das depressões alagáveis todos os anos. Nestes terrenos aluviais, conforme a quantidade de água empoçada e ainda o tempo que ela permanece na área, as comunidades vegetais vão desde a pantanosa criptofítica (hidrófitos) até os terraços alagáveis temporariamente de terófitos, geófitos e caméfitos, onde, em muitas áreas, as *Palmae* dos gêneros *Euterpe* e *Mauritia* se agregam, constituindo o açazal e o buritizal (IBGE, 1992). As Veredas podem ser consideradas como um tipo de Formação Pioneira (RIBEIRO & WALTER, 1998).

Outra fitofisionomia com grande destaque na bacia é a Savana Florestada (Cerradão). Esse subgrupo de formação com fisionomia típica e característica, ocorre em áreas areníticas lixiviadas com solos profundos da Formação Araguaia e em algumas áreas laterizadas. Apresenta sinúsias lenhosas de micro e nanofanerófitos tortuosos com ramificação irregular, providos de macrófilos esclerófilos perenes ou semi-decíduos, ritidoma esfoliado corticoso rígido ou córtex maciamente suberoso, com órgãos de reserva subterrâneos ou xilopódio. O Cerradão é uma formação florestal, embora admitam que floristicamente tem maior similaridade com o Cerrado, propriamente dito. Apresenta dossel predominantemente contínuo e cobertura arbórea oscilando entre 50 a 90%, com altura variando de 8 a 15 metros. Em sua maioria, os solos onde ocorre são profundos e bem drenados (IBGE, 1992).

O subgrupo Savana Arborizada (Campo Cerrado, Cerrado “propriamente dito”) ocorre em pequenos fragmentos isolados na região da Formação Araguaia. Para Ribeiro & Walter (1998), essa formação é uma das formações savânicas do bioma Cerrado e corresponde ao tipo fisionômico Cerrado sentido restrito e em especial aos subtipos Cerrado Denso e Cerrado Típico, com a seguinte caracterização: O Cerrado Denso é um subtipo de vegetação predominantemente arbóreo, com cobertura de 50% a 70% e altura média de 5 a 8 metros. Representa a forma mais densa e alta de Cerrado sentido restrito. Os estratos arbustivos e herbáceos são mais ralos, provavelmente devido ao sombreamento resultante da maior densidade de árvores. O Cerrado Típico é um subtipo de vegetação predominantemente arbóreo-arbustiva, com cobertura arbórea de 20% a 50% e altura média de três a seis metros. Trata-se de uma forma comum e intermediária entre o Cerrado Denso e o Cerrado Ralo e é sujeita ao fogo anual (IBGE, 1999).

A formação Floresta Estacional Semidecidual das Terras Baixas situa-se intermediariamente entre a das planícies holocênicas e a das florestas dos terrenos mais altos, sem nenhuma incidência de inundações. Na bacia posicionam-se geralmente em terrenos pleistocênicos e/ou plioleustocênicos com cotas altimétricas inferiores a 250 metros. É a floresta onde ocorre a palmeira bacaba (*Oenocarpus distichus*).

Ainda encontram-se fragmentos de Savana Parque, grupo de formação onde a camada graminosa domina amplamente sobre a camada de árvores. Desenvolve-se em áreas encharcadas de depressões periodicamente inundadas, caracterizadas pela presença de “covoais”, “monchões” ou “murunduns”. São árvores agrupadas em pequenas elevações do terreno, algumas vezes imperceptíveis. Os solos são hidromórficos, e melhor drenados nos murundus que nas áreas planas adjacentes. A flora que ocorre nos murundus é similar à que

ocorre no Cerrado sentido restrito, porém com espécies que provavelmente apresentam maior tolerância à saturação hídrica do perfil do solo. A flora herbácea predomina nas áreas planas adjacentes aos murundus, e é similar a que ocorre nos campos úmidos (IBGE, 1992).

Regiões litólicas como a Serra do Impertinente propiciam a ocorrência do Cerrado tipo Rupestre. É definido como um subtipo de vegetação arbóreo-arbustiva que ocorre em ambientes rupestres (litólicos ou rochosos). Possui cobertura arbórea entre 5% a 20%, altura média de 2 a 4 metros e estrato arbustivo-herbáceo também destacado. As espécies arbóreo-arbustivas concentram-se nas fendas das rochas, sendo muitas, endêmicas (IBGE, 1992).

Quanto ao uso das terras, Machado & Lima (2011) sustentam que as pastagens dominam a paisagem da bacia, perfazendo 72,14 % de toda a área, ou 2839 km² (figura 12). A pecuária é responsável também pelo avanço de áreas com massa de água, já que represas são construídas nas áreas de pastagem para colaborar no processo de dessedentação animal e também para manter o solo favorável ao crescimento de capim.

A pequena área de agricultura está localizada na porção de ocorrência de Latossolo Vermelho-Escuro, nos municípios de Britânia, Santa Fé e Jussara, em áreas de coberturas lateríticas (figura 13). Além de ser constituída de um solo mais fértil, esta mancha localiza-se próxima ao rio Água Limpa e o ribeirão Samambaia (estes têm suas vegetações ciliares seriamente comprometidas), o que facilita o uso da água em pelo menos 50 pivôs centrais. A vegetação remanescente corresponde a 23,14 % da bacia (tabela 07).

Tabela 07. Classes de usos do solo da área de estudo.

Usos do solo	Área	
	Km ²	%
Agricultura	67	1,7
Massa de Água	42	1,07
Bancos de Areia	0,01	0
Pastagem	2839	72,14
Perímetro Urbano	11	0,28
Pivôs	66	1,67
Vegetação Natural	911	23,14
Total	3936	100

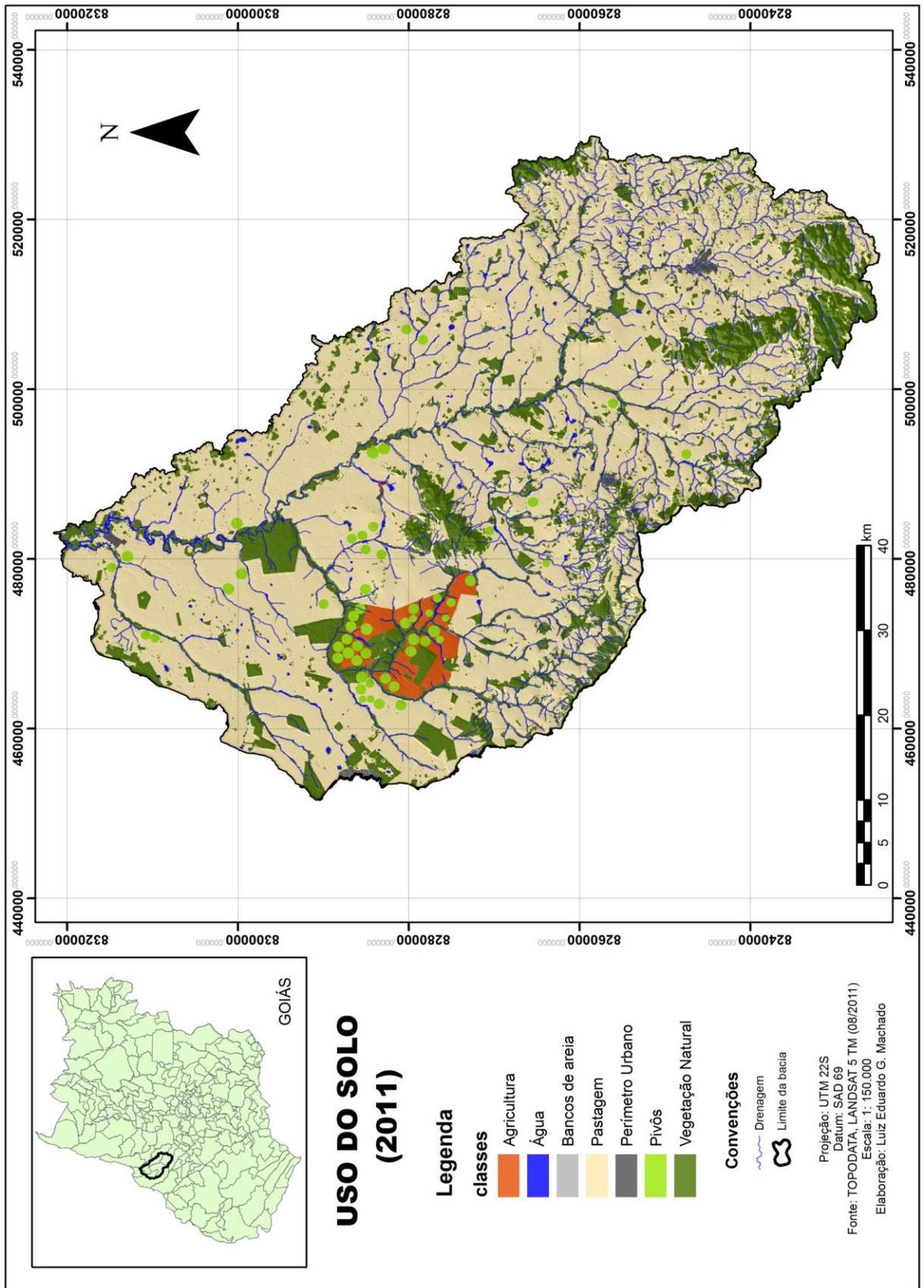


Figura 12. Mapa de uso do solo da bacia do rio Água Limpa.



Figura 13. Paisagens típicas da bacia do rio Água Limpa: (1) domínio da pecuária em relevo plano com solos arenosos; (2) e agricultura em relevo suave ondulado com solos ferruginosos.

CAPITULO IV. ANÁLISE MORFOMÉTRICA DA BACIA

Os dados de morfometria de uma bacia permitem indicar os processos atuantes e funcionamento do seu modelado. As suas características têm sido correlacionadas com fatores e propriedades ambientais (permeabilidade, processos de erosão, movimentos de massa, substrato rochoso, evolução pedológica, evolução do modelado, entre outros). Esses parâmetros também ajudam a entender o processo de ocupação antrópica e auxiliam no manejo da bacia.

A espacialização das feições morfométricas por unidades de bacia hidrográfica pode trazer uma perspectiva integradora dos diversos fatores que atuam sobre o modelado como geologia, clima, fatores antrópicos, entre outros. Numerosos parâmetros foram formulados para a análise e a descrição quantitativa da bacia de drenagem, considerando tanto atributos lineares e areais como referente aos atributos do relevo. Desta forma, existem vários índices e razões geométricas que são empregados na descrição dessa unidade ambiental para sua classificação geomorfológica.

O estudo morfométrico de uma bacia de drenagem é um instrumento básico para o desenvolvimento de planos de gestão que visem à utilização racional do meio ambiente e a compreensão dos processos naturais atuantes neste meio. Neste contexto, a morfometria é um método que permite a utilização de técnicas para se obter índices de relações numéricas existentes entre os atributos de uma bacia de drenagem, possibilitando o conhecimento das variáveis, inclusive das geomorfológicas.

4.1. Dados morfométricos de primeira ordem

Os dados morfométricos de primeira ordem representados foram a declividade e a orientação das vertentes, além da própria altitude (derivada de ordem zero). Estes foram obtidos através da manipulação do MDE TOPODATA em ambiente computacional. A integração desses dados permite a caracterização de elementos morfológicos da área de estudo.

O MDE TOPODATA foi fatiado obedecendo a intervalos de 50 metros. Sua representação é composta por sete classes (tabela 09, figura 14), e com graduação de cores variando do verde (menores altitudes) ao vermelho (maiores altitudes). Esta quantidade de

classes foi escolhida com o objetivo de permitir uma melhor distribuição altimétrica e evidenciar as quebras naturais no terreno.

A observação dos dados de altimetria indica que mais de 75% da área da bacia do rio Água Limpa apresenta cotas inferiores a 350 metros, evidenciando as superfícies de aplainamento e demonstrando o contexto regional da Depressão do Araguaia. Os maiores valores de elevação, acima de 500 metros, associam-se aos morros residuais do Arco Magmático, da Suíte Serra do Impertinente e do Complexo Alcalino e correspondem aos principais divisores de água da bacia, a exemplo da Serra do Impertinente, próximo à cidade de Jussara. Os menores valores ocorrem nas planícies de inundação dos principais rios da bacia.

Tabela 09. Classes de altimetria da área de estudo.

Altitude (m)	Área	
	Km ²	%
>550	54,7	1,39
500 – 550	53	1,35
450 – 500	72	1,83
400 – 450	147,2	3,74
350 – 400	561,2	14,26
300 – 350	1528	38,82
<300	1519,9	38,61
Total	3936	100

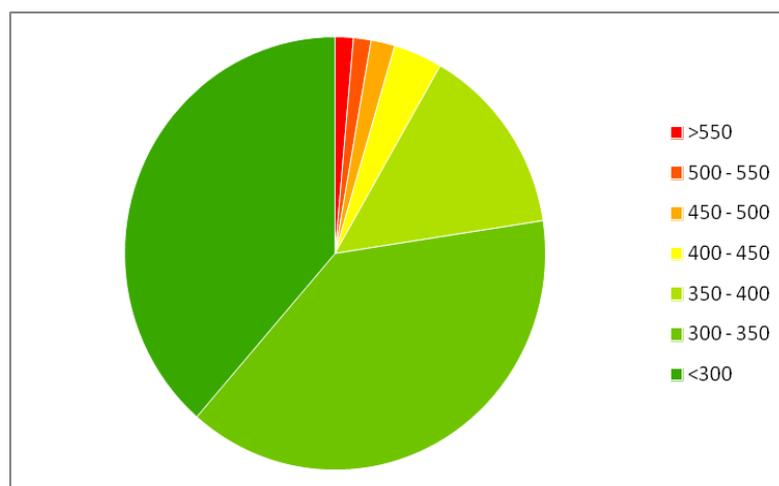


Figura 14. Distribuição das classes de altimetria.

Devido à sua estreita associação com processos de transporte gravitacional (escoamento, erosão, deslizamento) e com processos hidrológicos (umidade do solo,

infiltração), a declividade do terreno é uma variável básica para a segmentação de compartimentos geomorfológicos.

O mapa de declividade tem como objetivo demonstrar as inclinações de uma área em relação a um eixo horizontal. Nesse estudo a declividade foi trabalhada em porcentagem, variando de 0 a 117% e representada em quatro classes (tabela 10, figura 15), e obedecendo a mesma gradação de cores utilizada para a representação altimétrica, ou seja, variando do verde (menores valores de declividade) ao vermelho (maiores valores de declividade). Os intervalos e a quantidade de classes foram adaptados da proposta da Embrapa (1999) para a bacia do rio Água Limpa por possibilitar a futura integração entre os dados morfométricos para determinar os tipos de relevo.

Tabela 10. Classes de declividade da área de estudo.

Declividade (%)	Área	
	Km ²	%
0 - 3 (Suave)	1051,5	26,71
3 - 8 (Suave Ondulado)	2538,5	64,5
8 - 12 (Ondulado)	123,6	3,14
> 12 (Forte)	222,4	5,65
Total	3936	100

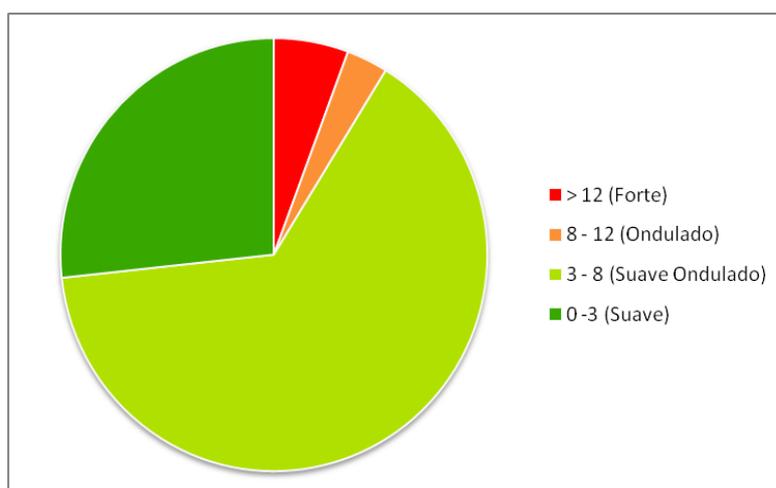


Figura 15. Distribuição das classes de declividade.

Verifica-se que mais de 90% da área da bacia do rio Água Limpa está limitada a 8% de declividade, fato que elucida a imensa área plana e pouco inclinada da região. O mapa de declividade realça os patamares acidentados associados aos morros residuais acima descritos,

cujas cotas altimétricas são superiores a 500 metros e declividade superam 8% (Ondulado e Forte). Naturalmente, os maiores declives localizam-se nos divisores de água, representados principalmente por rochas do Arco Magmático. Verifica-se também que a classe Suave Ondulado (3-8%) concentra-se nas áreas dissecadas que margeiam os morros residuais.

A orientação de vertentes compõe, com a declividade, a geometria de exposição da superfície do terreno em representações sob esquema de relevo sombreado, podendo apresentar valores entre 0 e 360 graus. A respeito dos deslocamentos oriundos de processos de transporte gravitacional, podemos dizer que a orientação de vertentes é a direção do vetor cujo módulo corresponde à declividade (VALERIANO, 2008). A principal utilização da orientação de vertentes advém de seu poder de descrição da estrutura de hidrologia superficial, uma vez que determina um caminhamento esperado do escoamento, ou as linhas de fluxo.

A orientação das vertentes foi representada em oito classes e com distintas cores, de acordo com as possíveis orientações (tabela 11, figura 16), segundo indicado por Valeriano (2008).

Tabela 11. Classes de orientação das vertentes da área de estudo.

Orientação	Área	
	Km ²	%
Norte	554,3	14,07
Nordeste	545,2	13,85
Leste	502	12,75
Sudeste	447,8	11,37
Sul	412	10,47
Sudoeste	433	11
Oeste	506,9	12,87
Noroeste	534,8	13,58
Total	3936	100

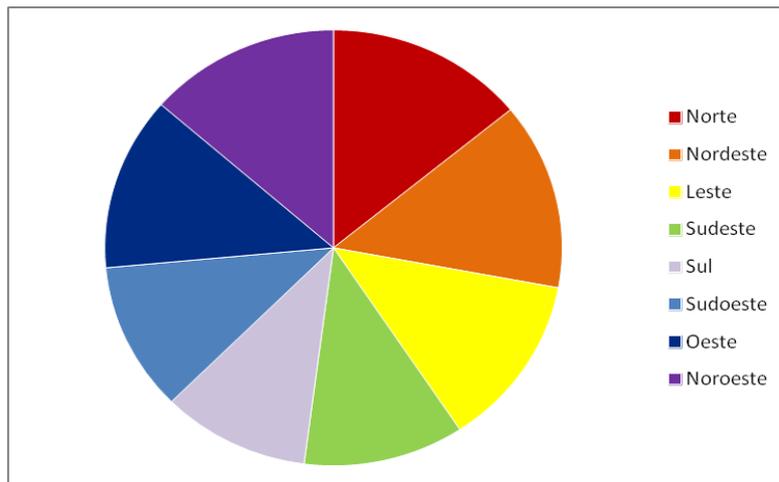


Figura 16. Distribuição das classes de orientação das vertentes.

O sombreamento das vertentes produzido sugere uma estrutura coerente com o relevo. Os canais de drenagem, os divisores de água e as regiões planas podem ser definidos em função do arranjo local de diferentes orientações, o que fica prontamente visível na representação da variável. Não existe, porém, uma classe de orientação dominante na bacia, já que o percentual relativo entre elas fica muito próximo.

Particularmente em áreas planas, observa-se que a orientação das vertentes varia em padrão desorganizado, sugerindo uma extrema granulação da superfície. Tal confusão na determinação da orientação das vertentes, previstas e desprezadas por Valeriano (2008), é de grande utilidade na visualização das superfícies aplainadas e na delimitação desses compartimentos. Isso acontece porque em relevos planos a determinação do padrão da orientação é difícil, uma vez que, nessa situação, o módulo da declividade é nulo ou quase nulo. Isso significa que a sequência de pontos (pixels) alinhados pela orientação de vertentes nesses compartimentos planos não determinam um caminamento esperado de escoamento. Todavia, a visão macro do padrão desorganizado facilita verificar e delimitar a ocorrência de relevos planos.

A representação das classes de altimetria, declividade e orientação das vertentes podem ser observadas nas figuras 17, 18 e 19, respectivamente.

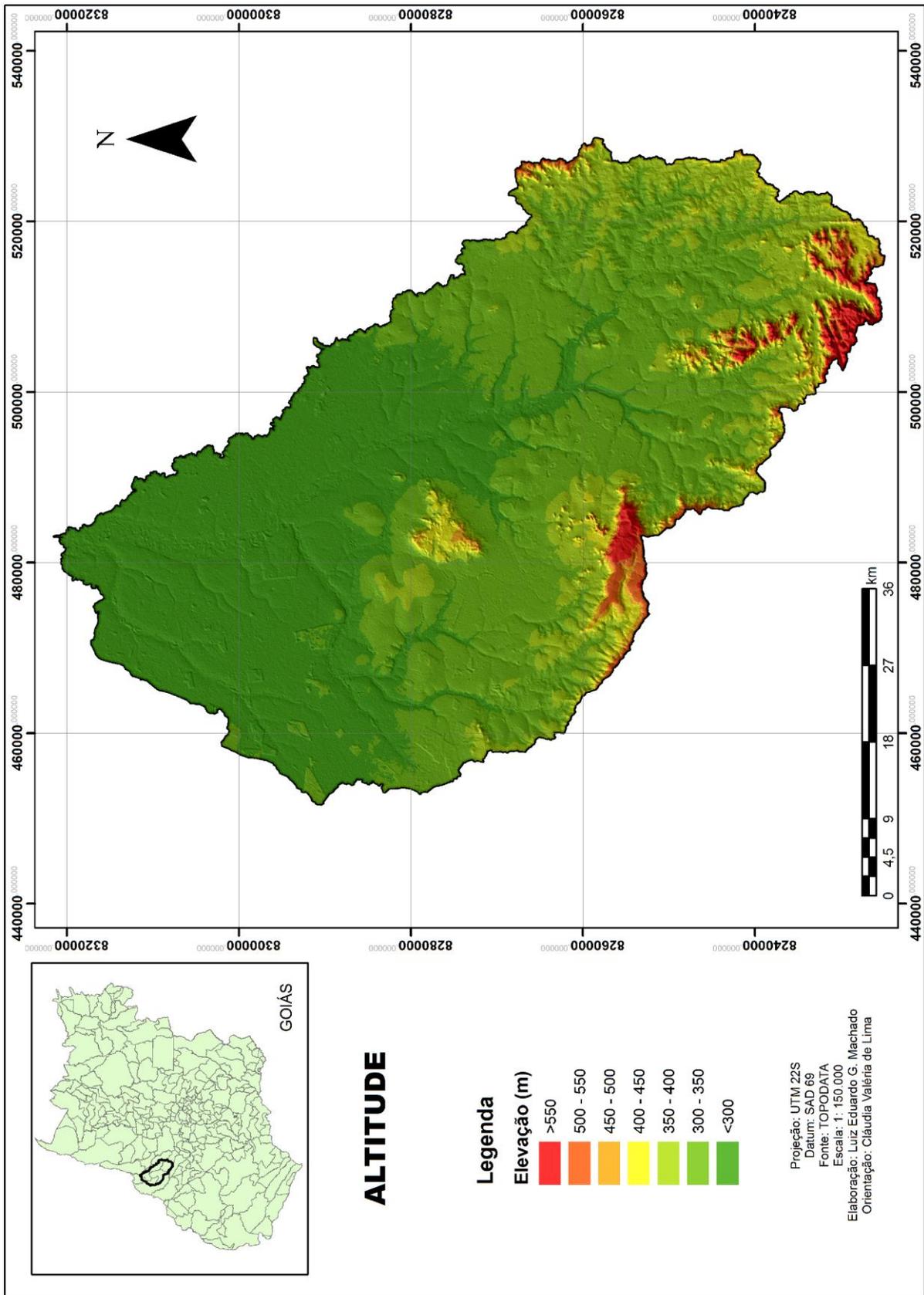


Figura 17. Mapa de altitude da bacia do rio Água Limpa.

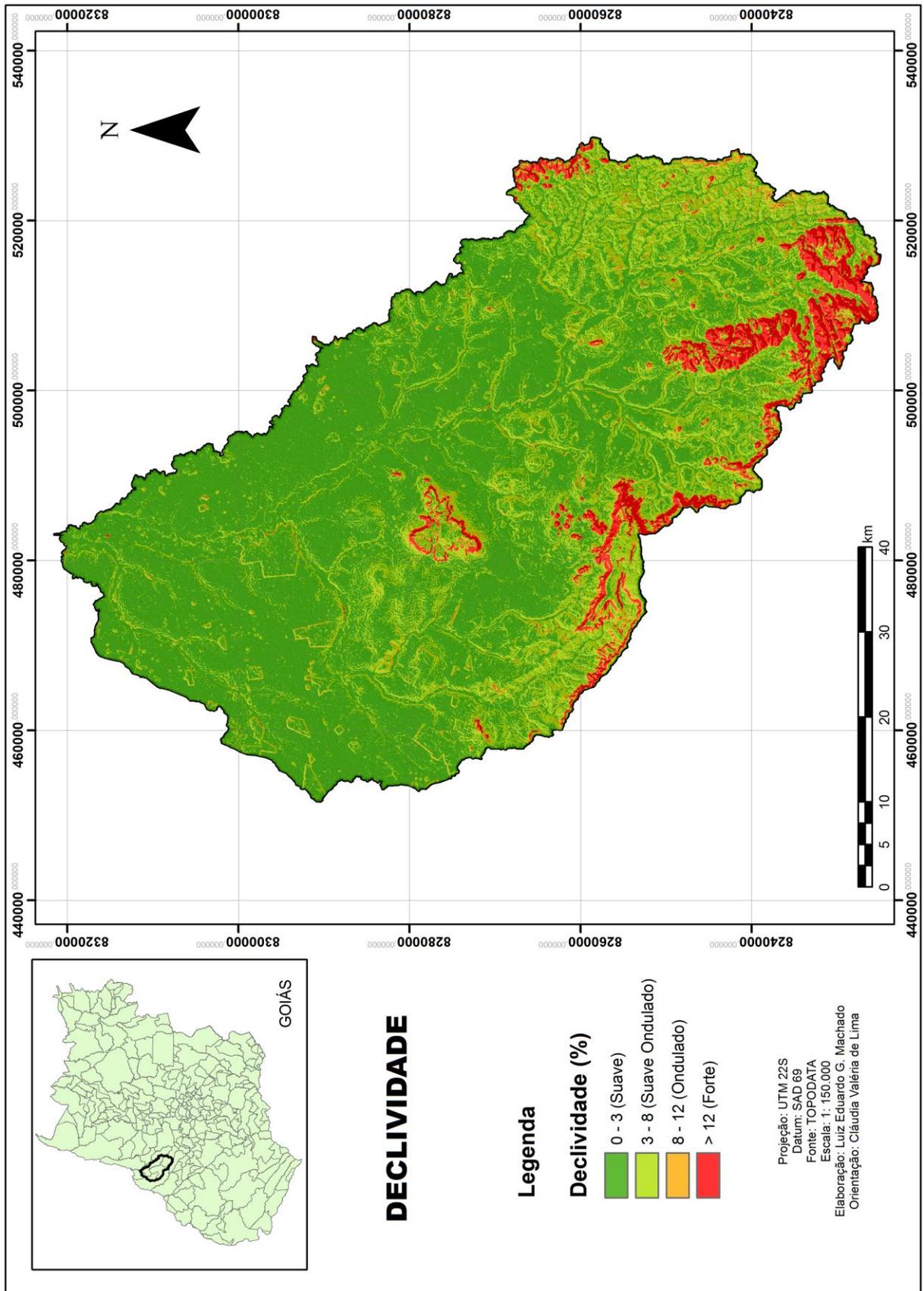


Figura 18. Mapa de declividade da bacia do rio Água Limpa.

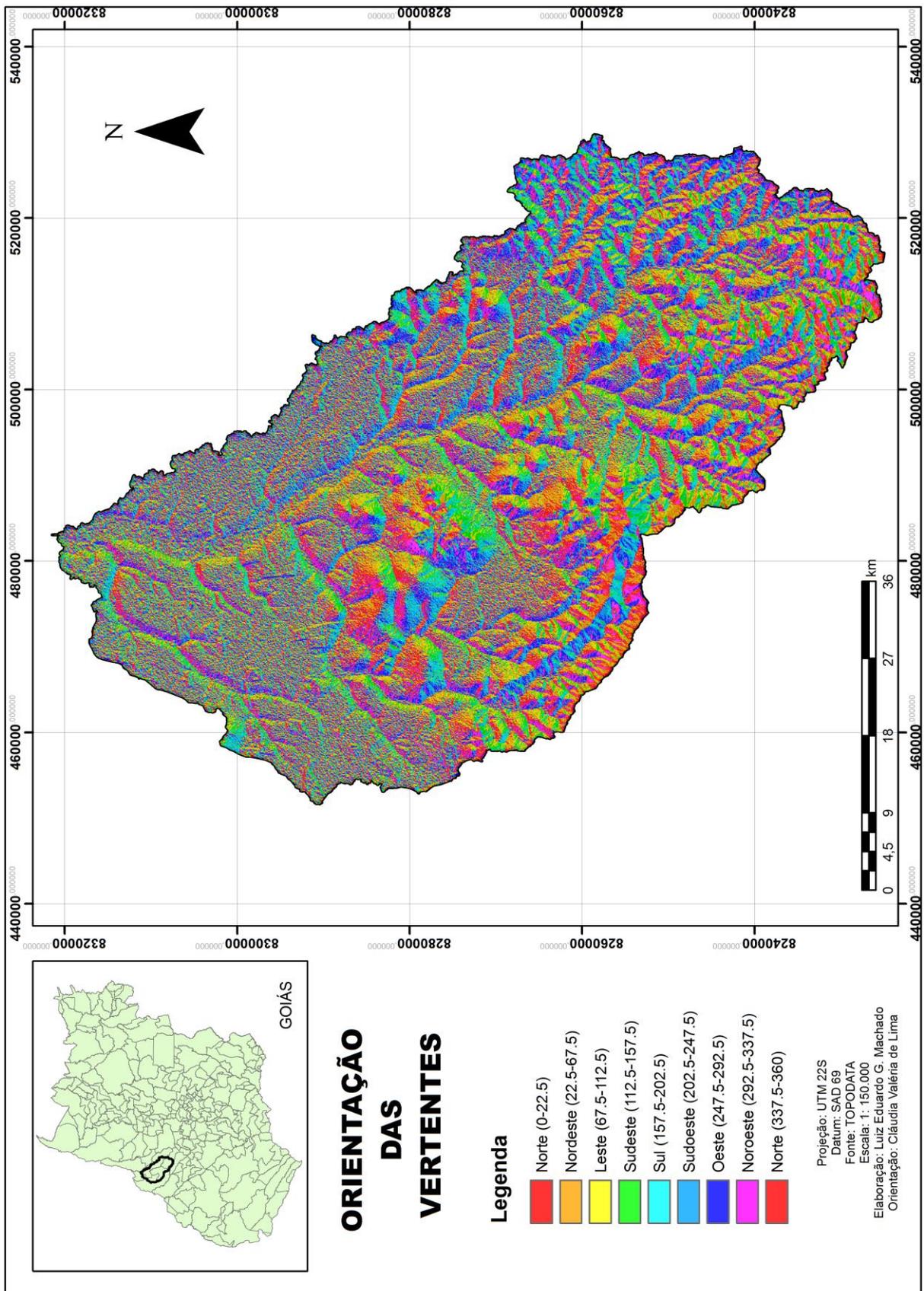


Figura 19. Mapa de orientação das vertentes (aspecto) da bacia do rio Água Limpa.

4.2. Dados morfométricos de segunda ordem

Os dados morfométricos de segunda ordem representados foram a curvatura vertical, a curvatura horizontal e as formas das vertentes. A partir da integração desses dados com os de primeira ordem é possível caracterizar os elementos morfológicos da área de estudo.

A curvatura vertical expressa o formato da vertente quando observada em perfil ou a variação da declividade ao longo de uma determinada distância. Refere-se ao caráter convexo/retilíneo/côncavo do terreno. Os estudos de compartimentação da topografia apontam a curvatura vertical das vertentes como uma das variáveis de alto poder de identificação de unidades homogêneas do relevo (DOOMKAMP & KING, 1971). A curvatura vertical influencia diretamente na aceleração do fluxo, interferindo na taxa de erosão e deposição da vertente (VALERIANO, 2003).

Nesse trabalho a curvatura vertical foi representada em três classes, sendo os valores positivos correspondentes a terrenos convexos e os negativos a terrenos côncavos (tabela 12, figura 20). Admitiu-se uma faixa entre $-0,010^{\circ}/m$ e $+0,010^{\circ}/m$ como valores de vertentes retilíneas, segundo o indicado por Valeriano (2008).

A distribuição espacial da curvatura vertical apresenta uma organização estruturada de tal forma que é possível a percepção de feições variadas. Na região dos morros residuais associados ao Arco Magmático e ao Complexo Alcalino, notadamente na Serra do Impertinente, verifica-se o domínio de formas côncavas das vertentes quando observadas verticalmente, fator que favorece a aceleração do fluxo e o processo de erosão (consequentemente dissecação acelerada). Estas formas bordeiam os morros residuais, que também tem grande ocorrência de formas convexas, em concomitância com as formas côncavas, principalmente em seus topos. As áreas planas e as planícies fluviais são delimitadas de maneira bem evidente pelas formas retilíneas, indicando áreas de acumulação de sedimentos.

Tabela 12. Classes de formas na curvatura vertical da área de estudo.

Formas Verticais	Área	
	Km ²	%
Côncavas	1536,9	39,05
Retilíneas	1315,8	33,43
Convexas	1083,3	27,52
Total	3936	100

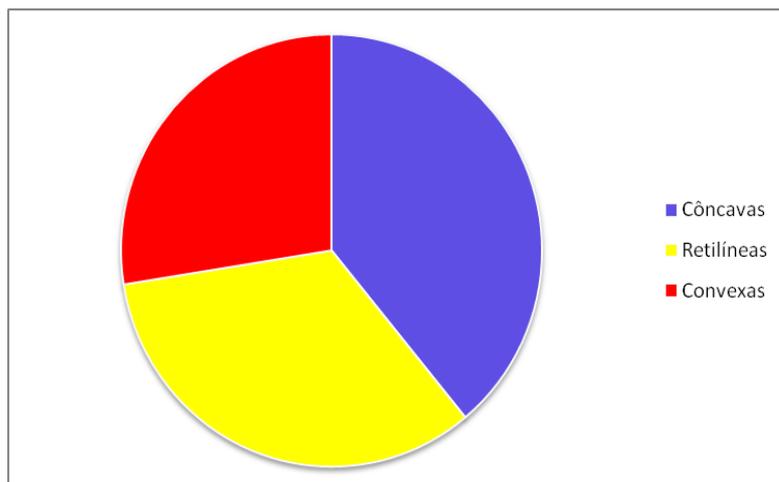


Figura 20. Distribuição das classes de curvatura vertical.

A curvatura horizontal, por sua vez, expressa o formato da vertente quando observada em projeção horizontal. Traduz-se no caráter de divergência ou convergência das linhas de fluxo. A curvatura horizontal interfere na intensidade dos processos de migração e acúmulo de água, minerais e matéria orgânica no solo através da superfície, proporcionados pela gravidade. Analogamente à curvatura vertical, desempenha papel importante sobre o balanço hídrico e o equilíbrio entre os processos de pedogênese e morfogênese (VALERIANO, 2008).

Nesse trabalho, a curvatura horizontal foi elaborada segundo três classes (tabela 13, figura 21), admitindo uma faixa entre $-0,010^{\circ}/m$ e $+0,010^{\circ}/m$ como valores de vertentes planares.

Tabela 13. Classes de formas na curvatura horizontal da área de estudo.

Formas Horizontais	Área	
	Km ²	%
Convergentes	1156,2	29,4
Planares	1327,4	33,7
Divergentes	1452,4	36,9
Total	3936	100

A distribuição espacial dos valores numéricos da curvatura horizontal apresentaram distribuições de frequência distintas entre as diferentes condições de relevo e mostraram-se coerentes com o conhecimento prévio das áreas de estudo, indicando seu potencial para a caracterização de vertentes. Áreas de relevo semelhantes mostraram padrões semelhantes de curvatura, fato que facilita o mapeamento geomorfológico.

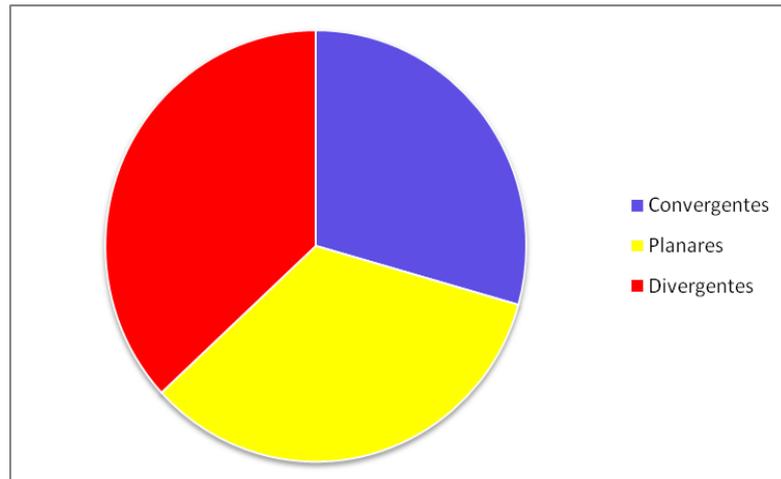


Figura 21. Distribuição das classes de curvatura horizontal.

Verifica-se o domínio de formas divergentes das vertentes quando observadas horizontalmente, fator que favorece o processo de erosão. Estas formas estão presentes principalmente nos divisores de água associados ao Arco Magmático e ao Complexo Alcalino, constituindo frentes de dissecação. Verifica-se que os valores da curvatura horizontal são bastante semelhantes aos valores da curvatura vertical nessa porção do relevo, sendo que as áreas convergentes e divergentes dispõem-se intercaladas entre si, em curtas distâncias.

Assim como o observado na curvatura vertical, os patamares das superfícies de aplainamento e as planícies fluviais são delimitados de maneira bem evidente pelas formas planares.

O cálculo da curvatura do perfil, a qual influencia diretamente na aceleração do fluxo, permite inferências quanto à taxa de erosão e deposição; bem como o cálculo da curvatura plana possibilita análises quanto à convergência ou divergência do fluxo e, conseqüentemente, quanto à umidade do solo subjacente (ROMÃO, 2008).

Da associação entre a curvatura plana e a curvatura do perfil das vertentes obtêm-se as formas do relevo, ou curvatura geral, segundo nove classes (tabela 14, figura 22). A curvatura geral consiste na representação das formas do terreno considerando a orientação das vertentes. Assim, pode-se, por meio da representação em um só mapa, fazer interpretações acerca da tendência de convergência ou divergência de fluxo, bem como da direção do mesmo. Adotou-se a representação visual das cores descrita por Valeriano (2008) (figura 23, figura 24) para o mapeamento das formas.

Tabela 14. Classes das formas do relevo da área de estudo.

Formas do relevo	Área	
	Km ²	%
Convergente/Côncava	669,95	17,02
Convergente/Retilínea	261,56	6,65
Convergente/Convexa	224,69	5,71
Planar/Côncava	485,6	12,34
Planar/Retilínea	287,23	7,3
Planar/Convexo	554,55	14,09
Divergente/Côncavo	381,32	9,69
Divergente/Retilínea	767,03	19,49
Divergente/Convexo	304,07	7,73
Total	3936	100

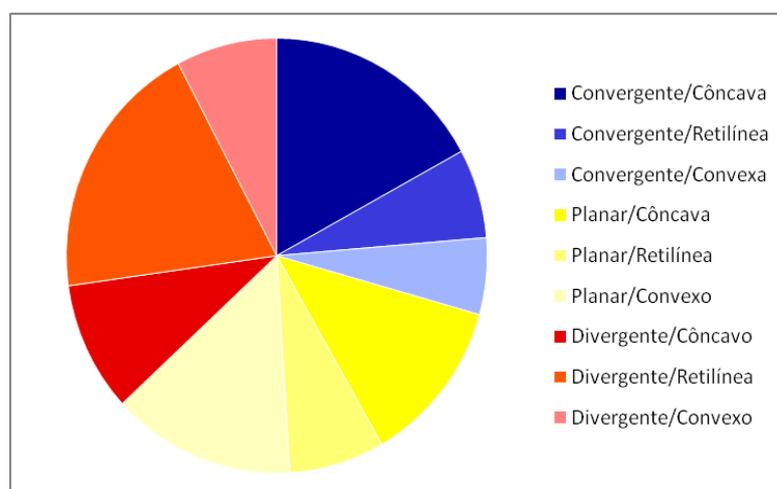


Figura 22. Distribuição das formas do relevo.

As formas corroboram com as observações descritas anteriormente no que se refere às curvaturas. As formas de perfil e plano de curvatura das encostas influenciam grandemente na distribuição lateral dos processos pedológicos, hidrológicos e geomorfológicos. Essa influência, segundo Pennock et al. (1987), tem sido relacionada principalmente ao controle que as formas côncavas e convexas exercem sobre a distribuição de águas e materiais solúveis das partes mais elevadas para as mais baixas.

As formas Convergente/Côncava e Divergente/Convexa prevalecem nas partes mais movimentadas e elevadas do terreno da bacia, correspondendo aos morros residuais associados ao Arco Magmático e ao Complexo Alcalino (divisores de água, frente de dissecação). Tais formas são ditas extremas por apresentar máxima concentração e acúmulo do escoamento – forma Convergente/Côncava – e máxima dispersão do escoamento – forma

Divergente/Convexa. Essa configuração favorece a convergência e divergência dos fluxos e, consequentemente, à erosão acelerada.

Ao mesmo tempo, destaca-se a configuração Planar/Retilíneo nas planícies fluviais, favorecendo a formação de ambientes de acumulação, bem como em áreas aplainadas.

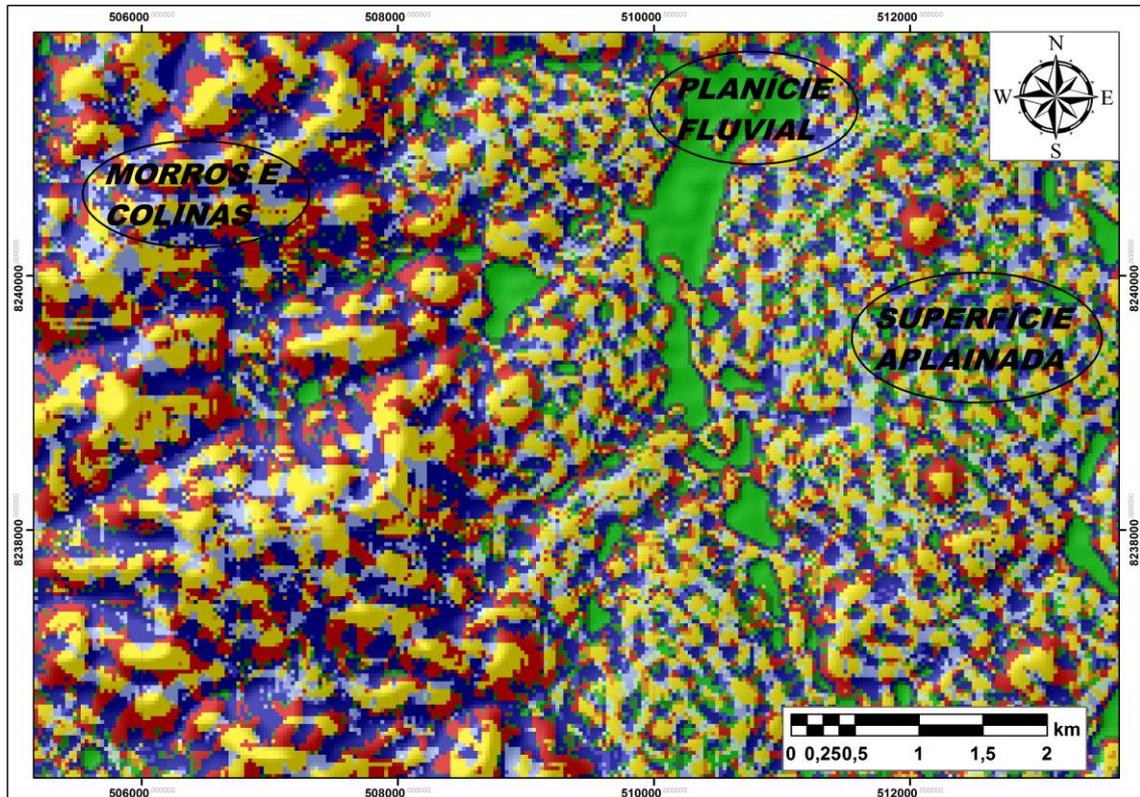


Figura 23. Figura indicando as formas do relevo com as respectivas associações.

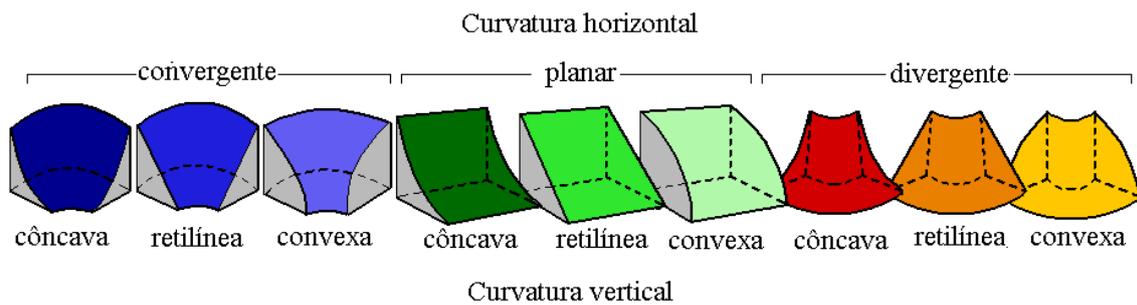


Figura 24. Paleta de cores utilizadas para caracterização das vertentes.

A representação da curvatura vertical, curvatura horizontal e formas do relevo podem ser observadas nas figuras 25, 26 e 27, respectivamente.

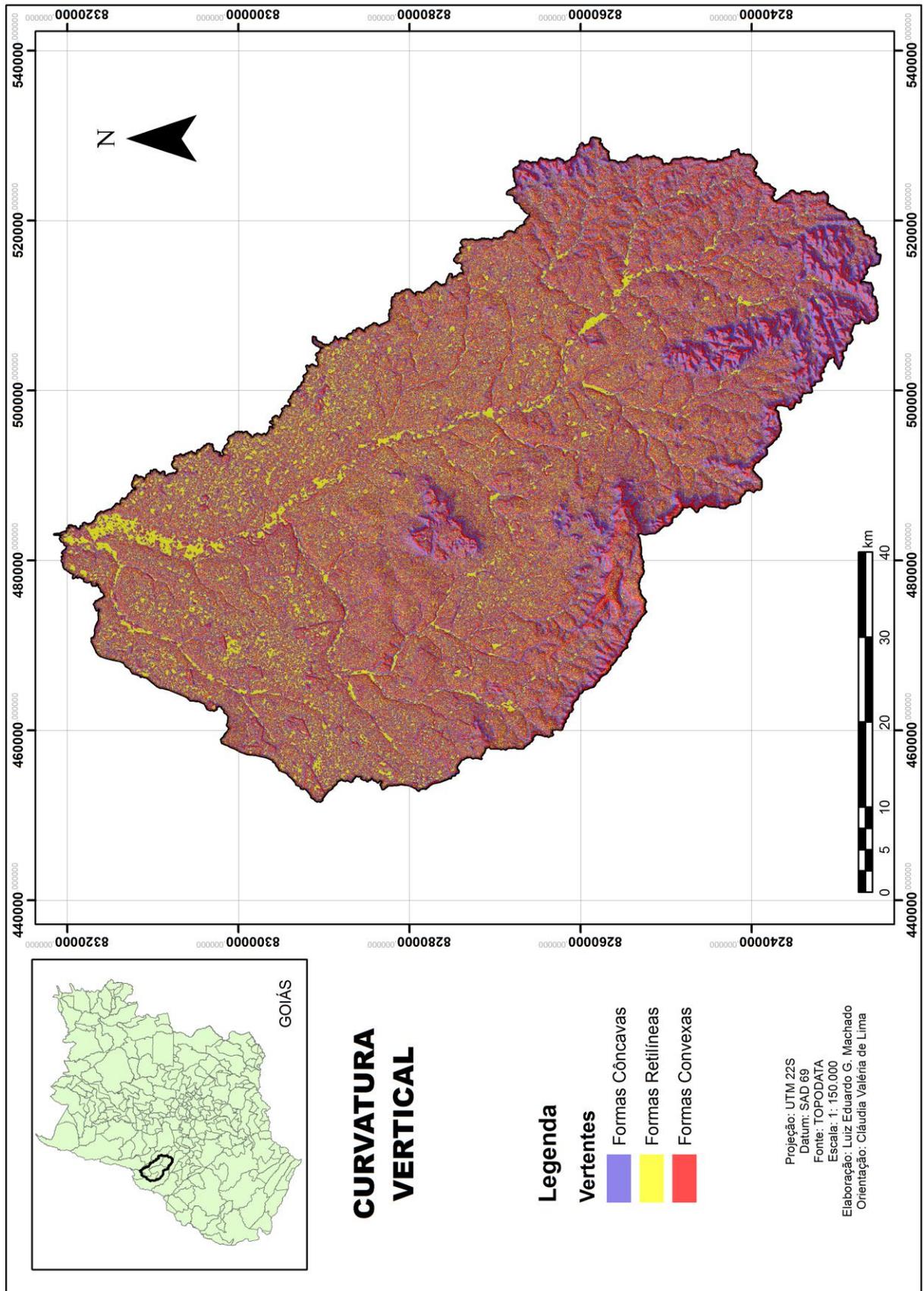


Figura 25. Mapa de curvatura vertical da bacia do rio Água Limpa.

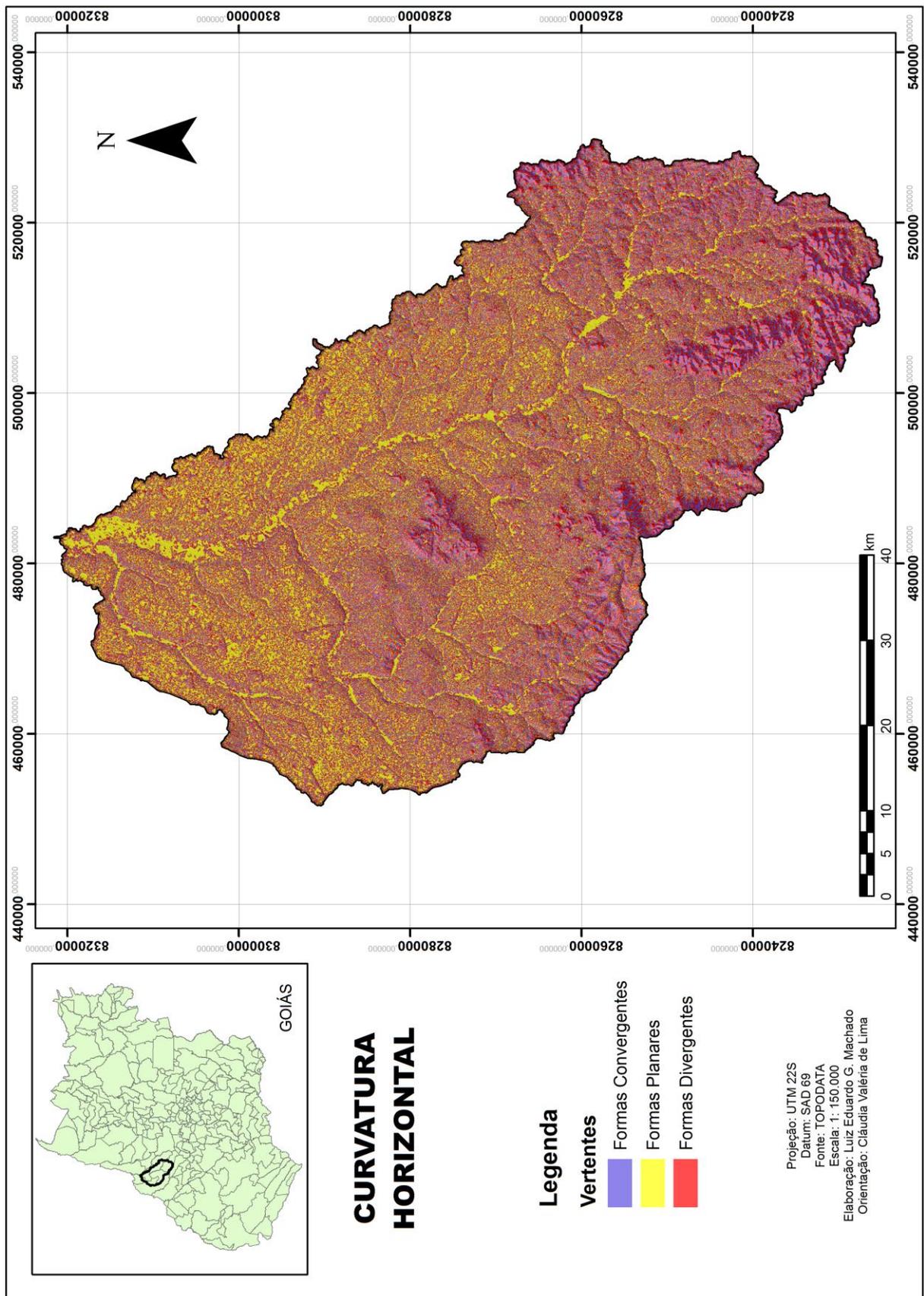


Figura 26. Mapa de curvatura horizontal da bacia do rio Água Limpa.

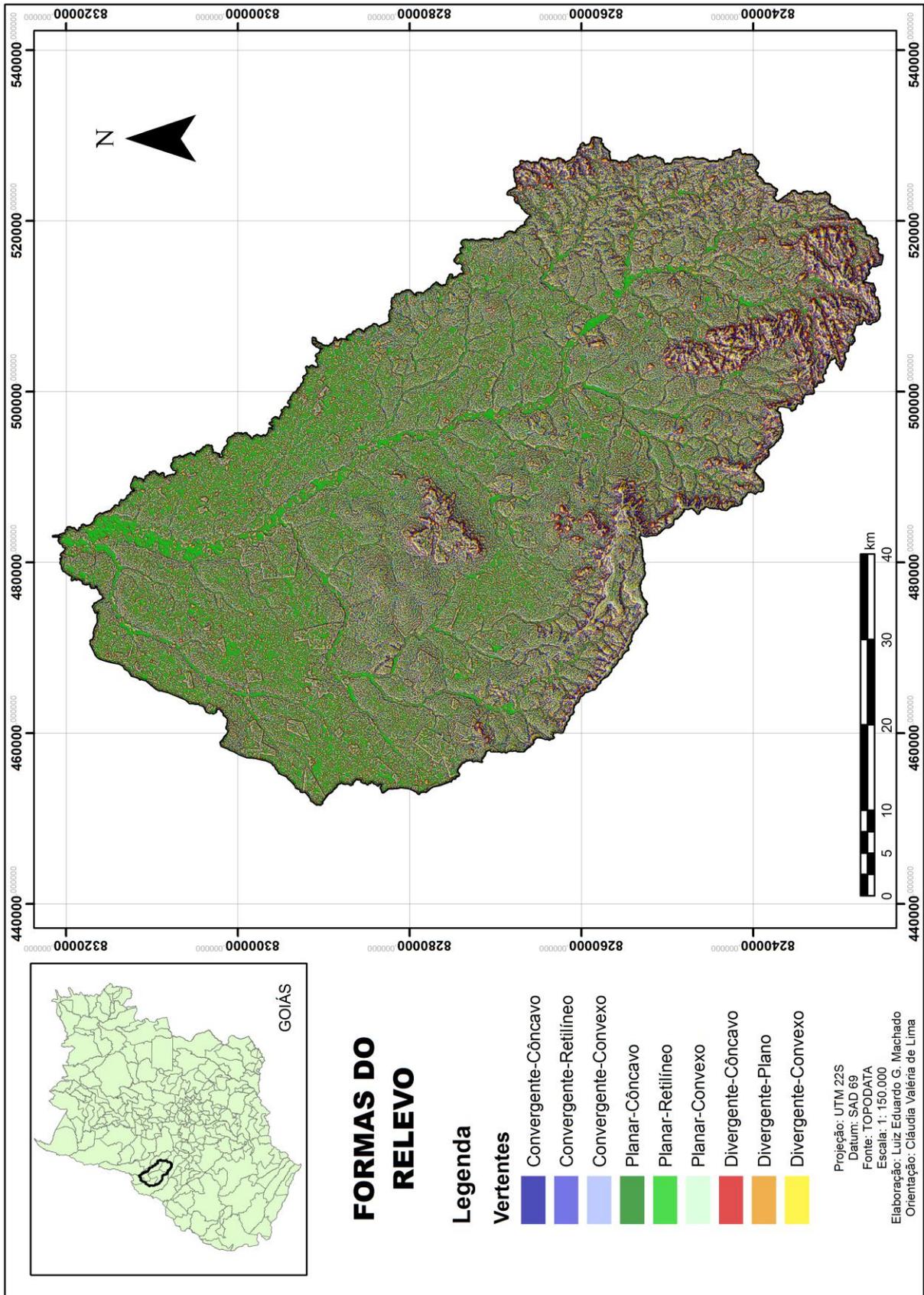


Figura 27. Mapa de formas das vertentes da bacia do rio Água Limpa.

4.3. Outros dados morfométricos e morfográficos pertinentes ao trabalho

Alem dos dados de primeira e segunda ordem, trabalhou-se também com o Índice de Concentração de Rugosidade (ICR) e o Sombreamento do Relevo (*hillshade*). A partir da integração desses dados com os de primeira e segunda ordem é possível caracterizar os elementos morfológicos da área de estudo.

O ICR é obtido pela aplicação do estimador *Kernel*, sobre os valores de declividade expressos em porcentagem e disponibilizados em formato de arquivo de pontos (SOUZA & SAMPAIO, 2010), por isso é necessário a transformação da matriz de declividade em um arquivo de pontos, em um *shape* de pontos, onde cada ponto detém o valor da respectiva matriz de declividade.

Durante a etapa de aplicação do estimador *Kernel* dois parâmetros são exigidos e podem afetar os valores de ICR: a resolução da grade regular dos arquivos de entrada e saída (pixel) e o raio de abrangência do estimador *Kernel*. A resolução do MDE TOPODATA utilizado é de 30 metros, e para o raio de abrangência diferentes valores foram utilizados, sendo encontrado como mais adequado o valor de 270 metros, ou 0,95 km². Este valor suaviza a matriz gerada e possibilita uma interpretação visual e estatística mais generalizada.

A última etapa necessária para obtenção do ICR corresponde ao fatiamento da matriz resultante da aplicação do *Kernel* (SAMPAIO, 2009), que neste trabalho consiste em estabelecer o número de classes assim como os seus respectivos intervalos. Os valores do ICR variam de zero ao infinito, e foram agrupados em seis classes de dissecação (tabela 15, tabela 16, figura 28), sendo: muito baixa (1); baixa (2); média (3); alta (4); muito alta (5).

Verifica-se que mais de 87% da bacia apresenta dissecação ou concentração de rugosidade baixa ou muito baixa. Tais valores estão em associação com os compartimentos rebaixados e aplainados. Os valores mais altos do índice ocorrem nas encostas dos morros residuais, bem como nas rampas próximas às planícies fluviais dos principais rios.

Tabela 15. Intervalo das classes de ICR.

Classe	Intervalo de classe
1	0 – 1.500
2	1.500 – 5.500
3	5.500 – 12.000
4	12.000 – 21.000
5	> 21.000

Tabela 16. Classes do índice de concentração de rugosidade da área de estudo.

Índice de concentração de rugosidade	Área	
	Km ²	%
Muito Baixa	1704,6	43,3
Baixa	1743,5	44,3
Média	243,1	6,2
Alta	122,7	3,1
Muito Alta	122,1	3,1
Total	3936	100

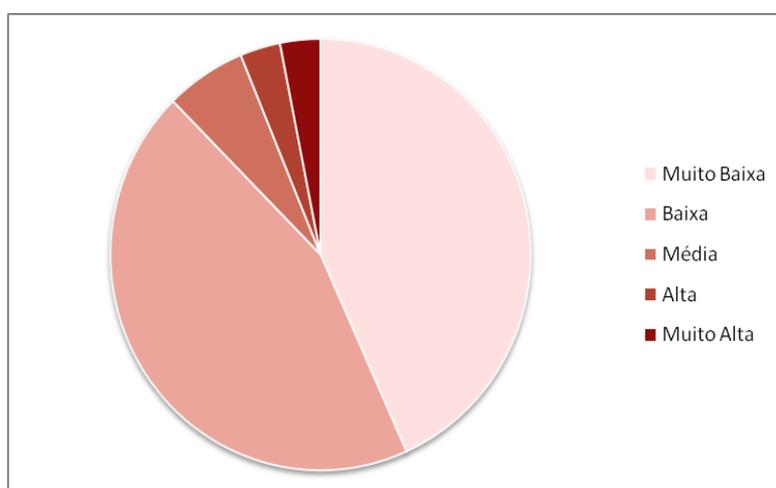


Figura 28. Distribuição das classes de concentração de rugosidade.

A visualização do *hillshade* (ou sombreamento do relevo) derivado do MDE corrobora com a distribuição espacial dos valores de ICR, bem como com a configuração das curvaturas das vertentes. O realce do relevo através da simulação de diferentes geometrias de iluminação produzido pelo *hillshade* proporciona a impressão de concavidade e convexidade do relevo, permitindo a identificação de feições estruturais, feições planares, áreas de serras e morros, bem como possibilita a identificação de padrões diferenciados de dissecação.

O ICR é representado na figura 29. As figuras 30 e 31 expressam o aspecto da textura nas imagens TOPODATA sombreadas (*hillshade*), indicando o grau de dissecação.

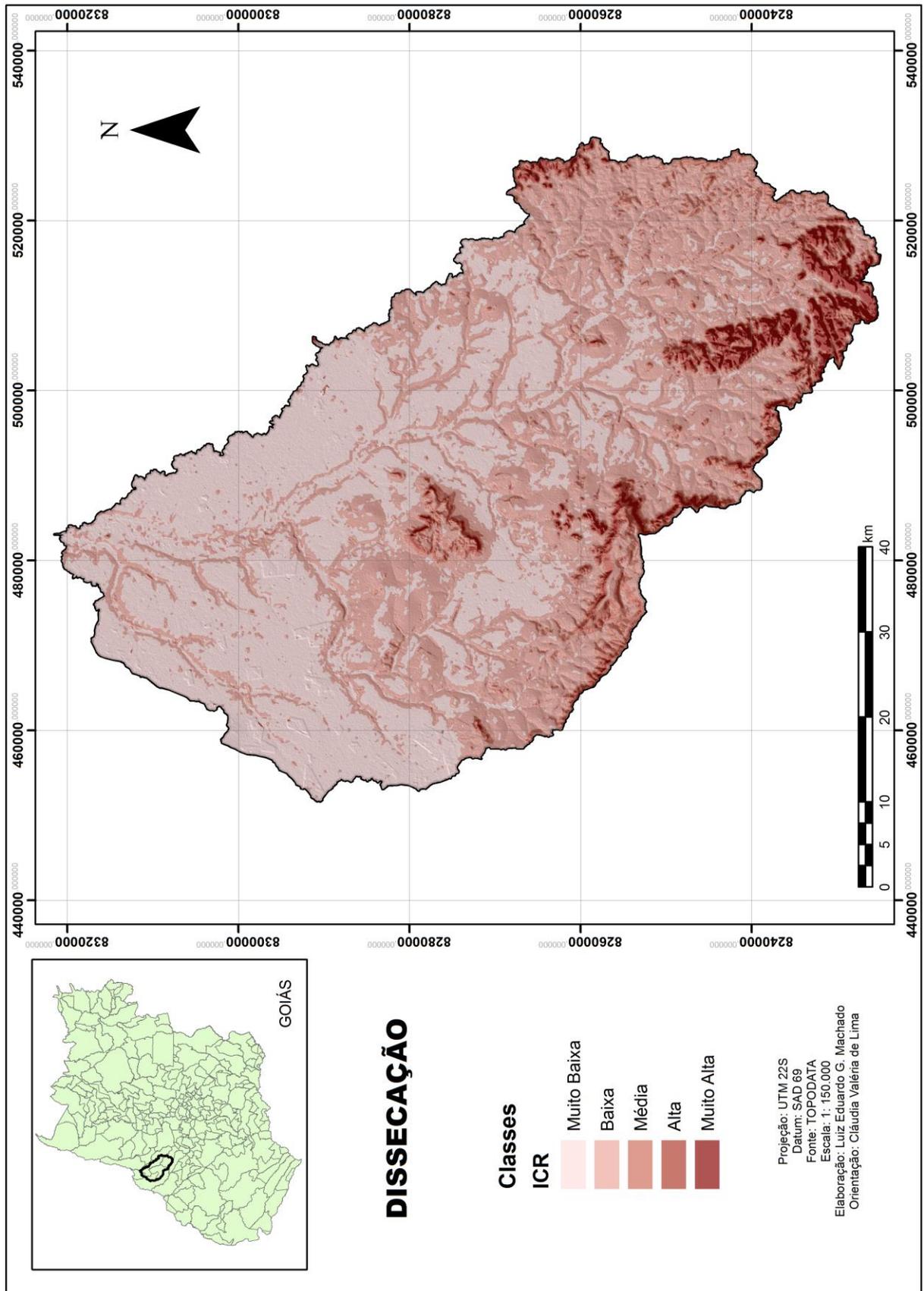


Figura 29. Mapa de dissecação com base no ICR do relevo, bacia do rio Água Limpa.

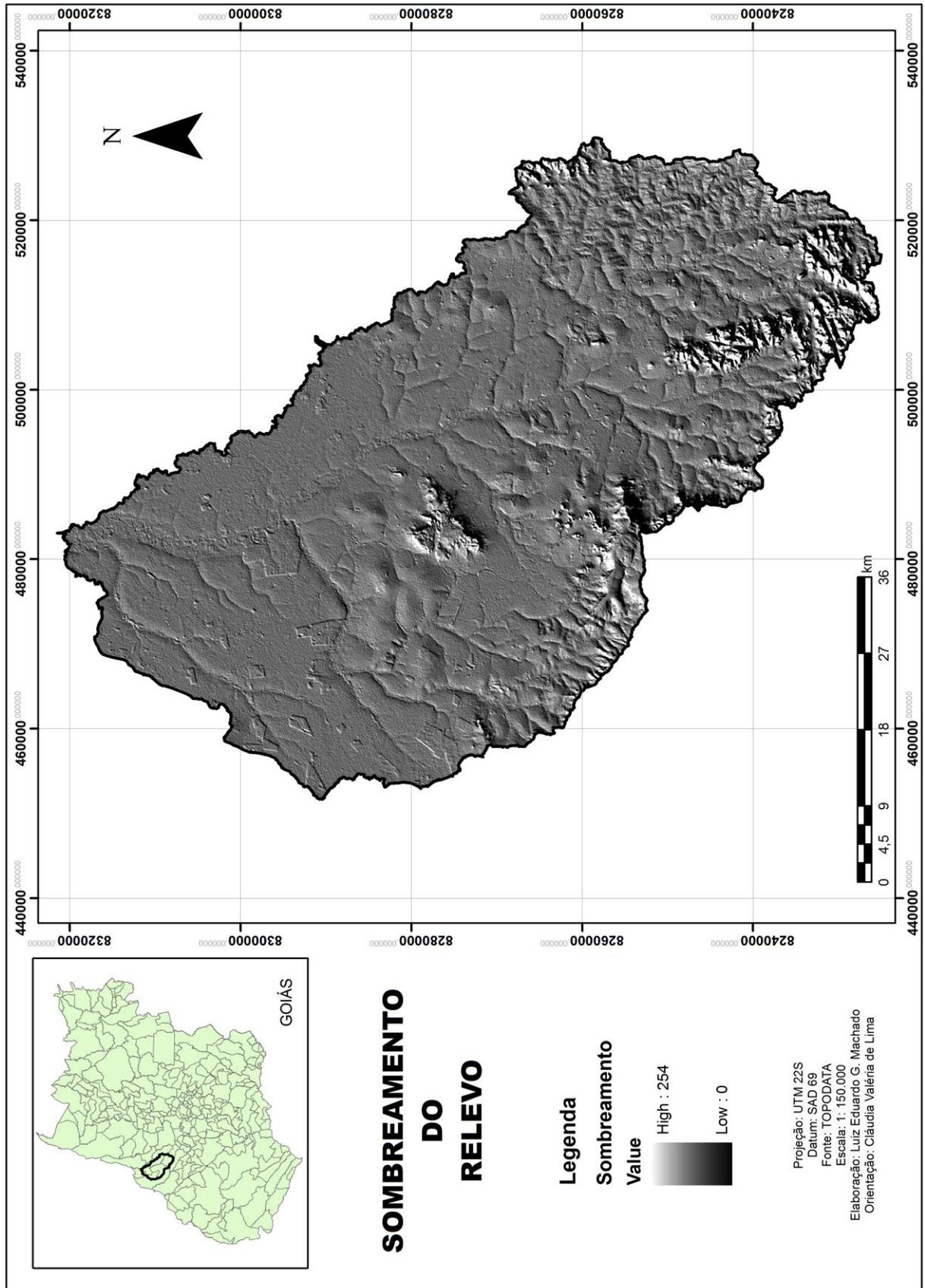


Figura 30. Mapa de sombreamento do relevo (*hillshade*) da bacia do rio Água Limpa.

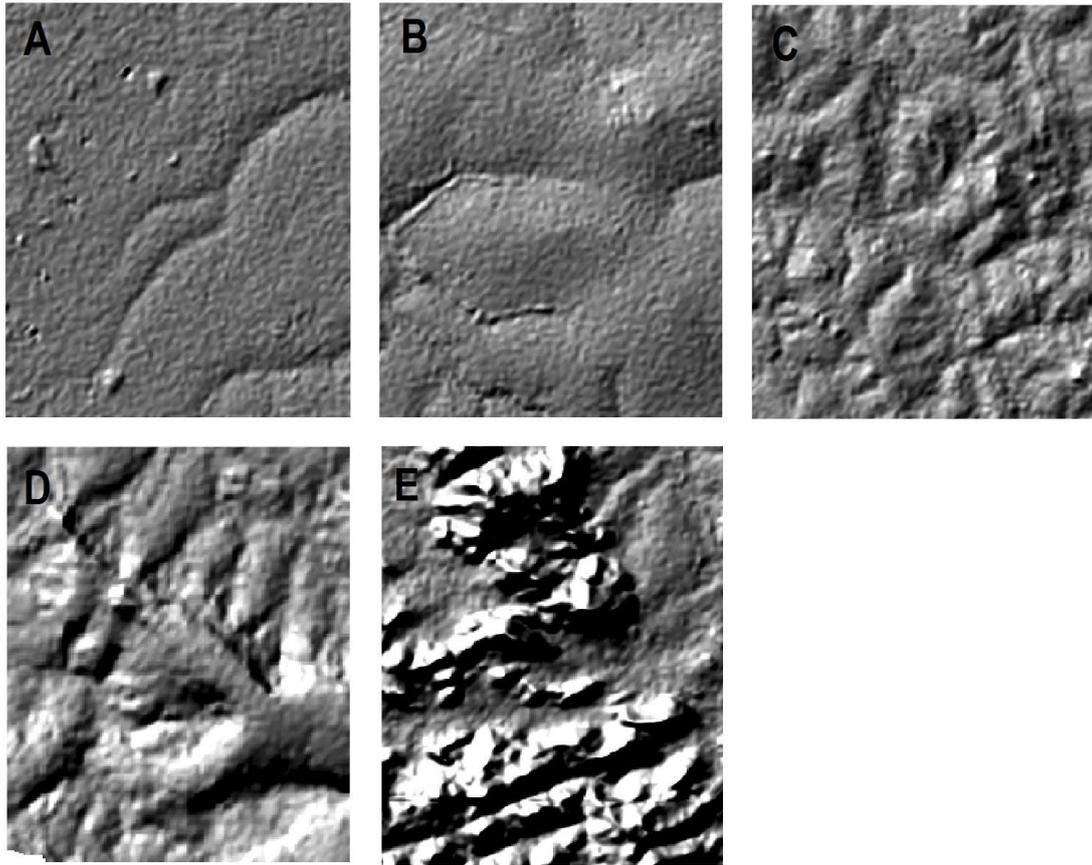


Figura 31. Aspecto da textura nas imagens TOPODATA sombreadas (*hillshade*), indicando o grau de dissecção. A) Dissecção Muito Fraca; B) Dissecção Fraca; C) Dissecção Média; D) Dissecção Forte e E) Dissecção Muito Forte.

CAPÍTULO V. REPRESENTAÇÃO DOS SISTEMAS DE RELEVO

Levando em consideração a proposta taxonômica definida por Ross (1992) e o nível escalar de informação adotado no presente trabalho (1:150.000 para a base de dados e 1:500.000 para a representação cartográfica), o mapeamento de Unidades Geomorfológicas do relevo da bacia do rio Água Limpa foi definido com base nas áreas com parâmetros morfométricos semelhantes, classificando-se até o quarto nível taxonômico, sintetizados na tabela 17.

Os domínios morfoestruturais representam grandes conjuntos estruturais que geram arranjos regionais de relevo. A área de estudo apresenta como unidades morfoestruturais a Província Estrutural Tocantins e a Bacia Cenozóica do Bananal. Associam-se, respectivamente, duas unidades morfoesculturais: o Planalto Central Goiano e a Depressão do Araguaia, referente ao 2º táxon.

Tabela 17. Classificação taxonômica do relevo da bacia do rio Água Limpa.

1º Táxon	2º Táxon	3º Táxon	4º Táxon
Unidades Morfoestruturais	Unidades Morfoesculturais	Unidades Morfológicas	Formas Individualizadas
Província Estrutural Tocantins	Planalto Central Goiano	Planalto do Alto Tocantins-Paranaíba	Formas Estruturais
Bacia do Bananal	Depressão do Araguaia	Depressão do rio Araguaia	Formas Denudacionais Formas Agradacionais

O Planalto Central Goiano é associado às áreas de dobramentos e rejuvenescimentos da orogenia brasileira. Trata-se de um dos mais notáveis e salientes blocos de maciço antigo do território brasileiro (NASCIMENTO, 1992). Na bacia do rio Água Limpa, o Planalto Central Goiano compreende a unidade morfológica Planalto do Alto Tocantins-Paranaíba. Trata-se do Arco Magmático de Goiás formado pela intrusão de corpos graníticos e granodioríticos, originando Formas Estruturais.

A unidade morfoescultural Depressão do Araguaia apresenta duas subunidades ou unidades morfológicas: a Depressão do rio Araguaia propriamente dita (contemplada na bacia), e a Planície do Bananal. A unidade morfológica Depressão do Araguaia possui tal denominação em função de seu posicionamento topográfico mais rebaixado em relação às demais unidades geomorfológicas circundantes. Trata-se de uma grande superfície de aplainamento degradada em consequência de mudanças do sistema morfogenético, onde se observam diferentes graus de dissecação. Desenvolve-se sobre uma grande variedade de rochas pré-cambrianas que constituem o Arco Magmático de Goiás. Aparece frequentemente inumada por grandes extensões recobertas por cobertura detrítico-laterítica, em depósitos aluvionares e coluvionares pleistocênicos.

Grande parte da bacia do rio Água Limpa esta inserida no sistema de aplainamento da unidade morfológica da Depressão do rio Araguaia, também chamada de Superfície do Araguaia. Os aspectos geomorfológicos dessa enorme planície despertaram muitos interesses na última década devido à grande extensão e profundidade do pacote sedimentar, aliando isso ao possível tectonismo que os afetou.

A marcante individualização dessa superfície de aplainamento é dada pela sua posição central, pela regularidade das cotas altimétricas entre 200 e 400 metros que se mantém por toda a área, pela magnitude da rede de drenagem comandada pelo rio Araguaia (regionalmente pelos rios Vermelho e Água Limpa), e pelas feições peculiares que apresenta. A Depressão do Araguaia é limitada por unidades mais elevadas, o que lhe confere o aspecto de um imenso corredor (BRASIL, 1981).

Com base nos produtos derivados do MDE TOPODATA e na metodologia apresentada, chegou-se ao 4º nível taxonômico. Foram delimitadas três formas de modelado, com a ocorrência de seis unidades geomorfológicas, as quais são brevemente descritas a seguir:

1) Formas Estruturais (E)

-*Esm* – *Serras e Morros (sm)* residuais, de topo parcial ou totalmente coincidente com a estrutura geológica, limitada por escarpas e retrabalhada por processos de etchplanação, e formando relevos residuais.

2) Formas Denudacionais (D)

-*Dsa I, II e III - Superfícies de Aplainamento (sa) I, II e III*, elaboradas por processos de etchplanação.

3) Formas Agradacionais (A)

-*Apf – Planícies e Terraços Fluviais (pf)* aplainadas resultantes de acumulação fluvial;

-*Apfl – Planícies Fluvio-lacustres (pfl)*, com mosaico de lagos naturais arredondados formados em área de relevo muito plano, periódica ou permanentemente alagada.

As unidades são sintetizadas a seguir:

Serras e Morros – São representados pelos patamares do relevo superiores a 500 metros e declividades acima de 8%, notadamente montanhoso. Soma-se a alta densidade de drenagem ($>0,72 \text{ km/km}^2$), a alternância entre formas convergentes/côncavas e divergentes/convexas (máxima concentração do escoamento e máxima dispersão do escoamento, respectivamente), índice de rugosidade muito alto e vertentes voltadas principalmente para o leste e oeste.

As Serras e Morros formam-se isolados na frente das escarpas, entalhadas à medida que a erosão avança. São remanescentes de litologias menos friáveis, muitas vezes com um forte controle estrutural, que foram preservadas à medida que as superfícies de aplainamento evoluíam com tendência recuante, notadamente pelas rochas do Complexo Alcalino (figura 32) e do Arco Magmático (figura 33). A relação tipo de solo-vegetação também é outra característica marcante da unidade: ocorrência de Cerrado tipo Rupestre, Cerrado Típico e Cerrado Limpo sobre Neossolos Litólicos.

Superfície de Aplainamento I - compreende superfície aplainada que se desenvolve margeando as Serras e Morros (figura 34), diferenciando-se das outras superfícies de aplainamento pelo alto índice de densidade de drenagem, pelo grande número de canais de primeira ordem e pela dissecação mais intensa do relevo. A Superfície de Aplainamento I encontra-se escalonada em patamares mais elevados entre as superfícies aplainadas mapeadas e estão delimitadas pelas quebras acentuadas do relevo, constituindo frentes de erosão recuante, como o indicado por Goiás (2006).



Figura 32. Serras e Morros residuais associados ao Complexo Alcalino ao fundo.



Figura 33. Serras e Morros residuais associados ao Arco Magmático.

A unidade apresenta altitudes entre 350 a 450 metros, declives entre 3 e 8%, vertentes orientadas principalmente para oeste e formas predominantemente convergentes/côncavas. O índice de rugosidade indica dissecação média a alta. A vegetação predominante é do tipo Cerrado Típico desenvolvido solos do tipo Argissolo Vermelho-Amarelo e Latossolo Vermelho-Amarelo. Desenvolve-se sobre Ortoganisses do Oeste de Goiás e sobre sedimentos da Formação Araguaia.



Figura 34. Superfície de Aplainamento I margeando as Serras e Morros.

Superfície de Aplainamento II – situada entre 300 e 350 metros e declives inferiores a 8%, caracterizando relevo suave ondulado (figura 35), a unidade é sustentada por sedimentos laterizados e ferruginosos. Suas extensas vertentes voltam-se em sua maior parte para sudeste e oeste e apresentam formas predominantemente convergentes/côncavas, divergentes/convexas e retilíneas/planares. A unidade é sustentada por ortognaisses e por sedimentos da Formação Araguaia. A dissecação é considerada baixa visto o ICR, enquanto a densidade de drenagem é média. A relação classe de solo/tipo de vegetação revela Savana Florestada (Cerradão) sobre Latossolo Vermelho e Latossolo Vermelho-Amarelo.

Uma importante característica dessa superfície é a ocorrência de nódulos ferruginosos endurecidos em meio aos sedimentos da Formação Araguaia. Esses materiais endurecidos sustentam a Superfície de Aplainamento II, garantem sua estabilidade na paisagem e sua posição intermediária entre as superfícies de aplainamento mapeadas. Tais materiais estão sendo desmantelados no clima atual e são geralmente expostos em remanescentes fragmentados na Superfície de Aplainamento II na forma de uma cobertura, disseminados em blocos ou concentrados em locais mais profundos do regolito, formando perfis ferruginosos (figura 36).

Em regiões tropicais, como é o caso da Depressão do Araguaia, o manto de alteração tem degradação química acelerada devido à contundência dos processos intempéricos - altas temperaturas e precipitação. A presença de Latossolo Vermelho garante o mecanismo de separação das argilas dos oxihidróxidos de ferro, levando a formação de níveis concrecionados ferruginosos.

A formação de tais perfis é favorecida durante as fases de aplainamento de ciclos geomorfológicos pretéritos, principalmente na zona de flutuação do nível freático (PORTO, 1996). A alternância entre condições mais e menos oxidantes favorecem sucessivas remobilizações do ferro. Com o gradual rebaixamento da superfície ao longo do tempo, o ferro se acumula residualmente formando crostas ou nódulos espaçados (figura 37).



Figura 35. Superfície de Aplainamento II sustentada por Latossolo Vermelho Laterítico em vertentes suaves onduladas.



Figura 36. Perfil de Latossolo Vermelho com destaque para a formação de nódulos ferruginosos.

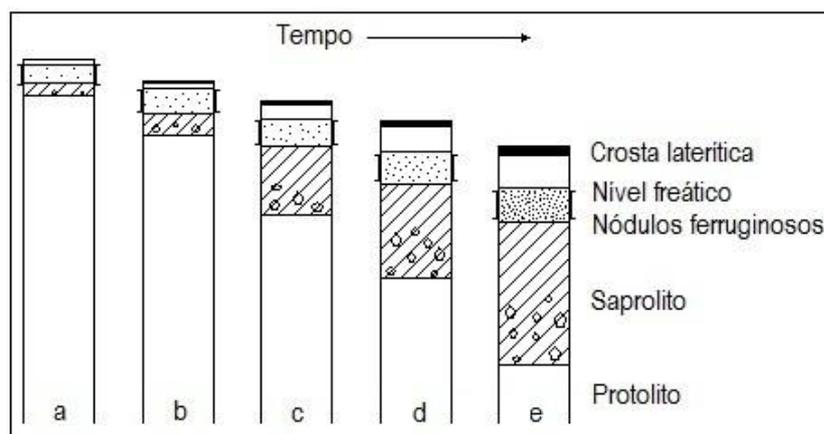


Figura 37. Formação do perfil ferruginoso com o rebaixamento da superfície. Adaptado de Porto (1996).

Superfície de Aplainamento III - situada em altitudes inferiores a 300 metros e declives menores que 3%, a unidade apresenta relevo muito plano (figura 38) e domínio de regolitos arenosos e profundos (figura 39). Trabalhada por processos de etchplanação, a unidade é sustentada por sedimentos da Formação Araguaia, formando profundo pacote sedimentar. A drenagem é pouco aprofundada e as vertentes são essencialmente amplas. Um sistema fluvio-lacustre desenvolve-se em meio à Superfície de Aplainamento III.

Não existe predomínio na orientação das vertentes devido ao marcante padrão desorganizado observado nas mesmas. As formas, em contrapartida, são predominantemente

retilíneas/planares. A dissecação é considerada muito baixa, assim como densidade de drenagem. Verifica-se a ocorrência de Savana Florestada (Cerradão) sobre Latossolo Vermelho-Amarelo e Neossolo Quartzarênico e o domínio da pecuária extensiva.



Figura 38. Superfície de Aplainamento III com solos arenosos, vertentes muito planas e extensas.



Figura 39. Perfil de regolito arenoso na Superfície de Aplainamento III.

Planícies e Terraços Fluviais – A unidade desenvolve-se nas planícies de inundação dos principais rios da bacia, notadamente na porção final do curso do rio Água Limpa (figura 40) e do ribeirão Samambaia (figura 41).

As Planícies e os Terraços apresentam relevo plano, com cotas altimétricas inferiores a 300 metros e declives abaixo de 3%. A deposição fluvial ao longo dos canais originou no passado geomorfológico planícies e terraços que compreendem acumulações de sedimentos de calha e de planície de inundação, compostos por areias finas a grossas, cascalhos e lentes de material silto-argiloso e turfa. Verifica-se também, que, devido à sinuosidade dos canais nessa porção da bacia (padrão meandriforme em alguns trechos), há uma quantidade considerável de meandros abandonados formando lagos, pequenas ilhas fluviais e bancos de areia formados pela deposição fluvial ao longo do leito (BRASIL, 1981).

Percebe-se o predomínio de formas planares/retilíneas nas vertentes que compõem a unidade, índice de rugosidade muito baixo e vertentes voltadas principalmente para o leste e oeste. A relação solo/vegetação indica o predomínio da Floresta Estacional Semidecidual Aluvial sobre Gleissolos. O grau de entalhamento fluvial da unidade é facilmente verificado através da visualização do *hillshade*.



Figura 40. Planície Fluvial do rio Água Limpa com depósitos de bancos de areia.



Figura 41. Planície Fluvial do ribeirão Samambaia.

Planícies Fluvio-lacustres- A unidade é formada pelo mosaico de lagos naturais e arredondados em relevo muito plano, em meio à Superfície de Aplainamento III, com declives inferiores a 8% e altitudes inferiores a 350 metros. Os lagos ocorrem em concomitância com regiões de Savana Parque, com a comum associação de murundus - agrupamento de árvores em pequenas elevações do terreno, em meio a áreas inundáveis (figura 42). A unidade desenvolve-se sobre sedimentos da Formação Araguaia e sobre Latossolos Vermelho-Amarelo.

Quanto à orientação das vertentes, verifica-se que, por se tratar de áreas muito planas, esta varia em padrão desorganizado, sugerindo uma extrema granulação da superfície e indicando que não existe um caminhamento esperado do escoamento superficial, fato que corrobora com o desenvolvimento dos lagos. Quanto às formas das vertentes, estas são marcadamente do tipo Planares/Retilíneas nesse ambiente de acumulação.

A disposição e evolução dos lagos são relacionadas com os sistemas de fraturas das rochas do embasamento cristalino, e ao comportamento hidrológico diferenciado do saprólito que produz fenômenos pseudo-cársticos por dissolução e mobilização de detritos de

granulometria fina. Os lagos apresentam em geral, formas arredondadas e pequenas dimensões (algumas dezenas de metros), podendo atingir até 150 m.



Figura 42. Planície fluvio-lacustre com murundus associados.

O mapeamento das Unidades Geomorfológicas da bacia do rio Água Limpa (figura 43) é apresentado a seguir:

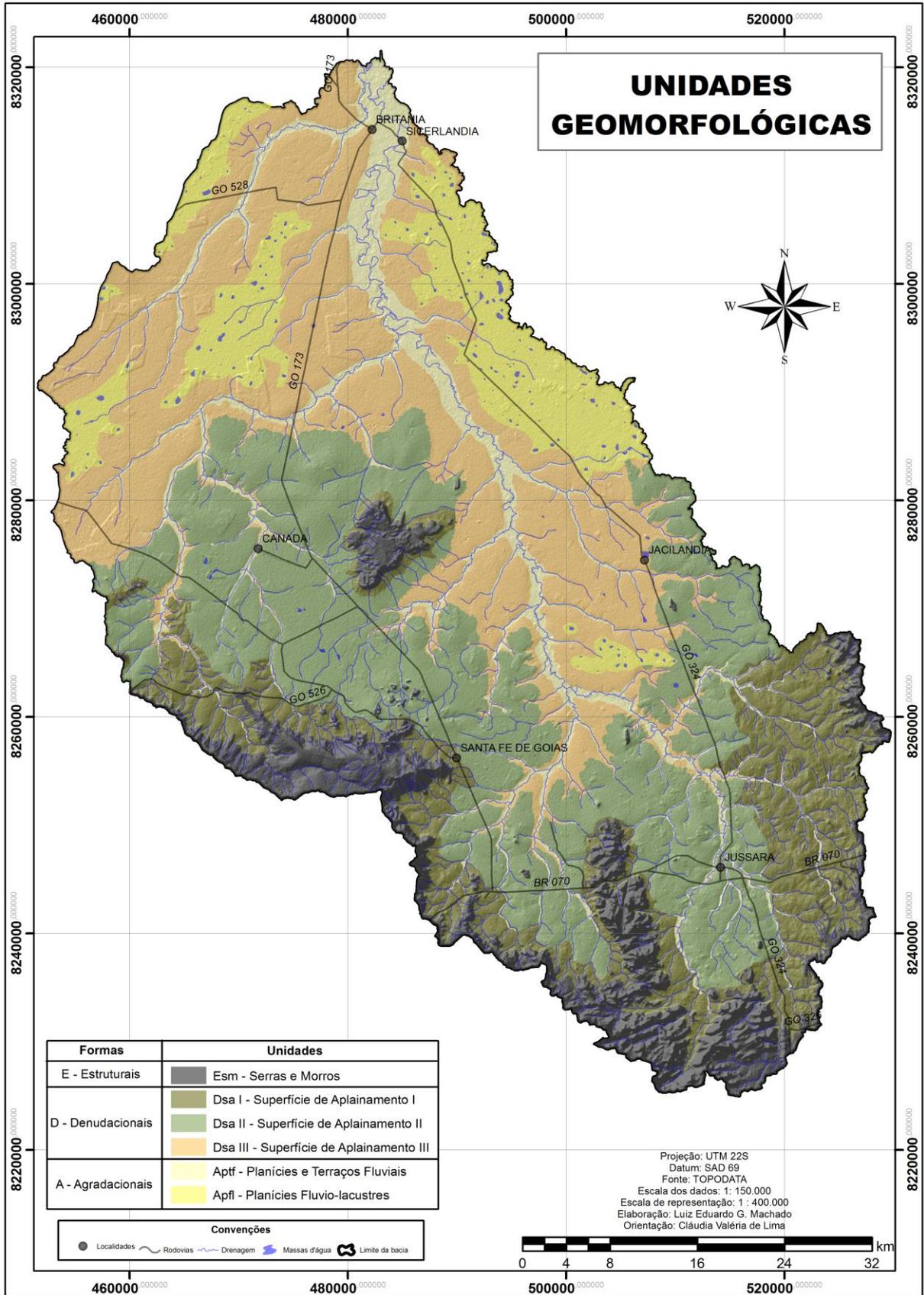


Figura 43. Mapa das unidades geomorfológicas da bacia do rio Água Limpa (GO).

Tabela 18. Sistemas geomorfológicos da área de estudo.

Sistemas Geomorfológicos	Área	
	Km ²	%
Planícies e Terraços Fluviais	345,5	8,8
Planícies Fluvio-lacustres	395,6	9,9
Superfície de Aplainamento I	553,1	11,9
Superfície de Aplainamento II	1177,5	32,1
Superfície de Aplainamento III	1071	27,2
Serras e Morros	393,3	10
Total	3936	100

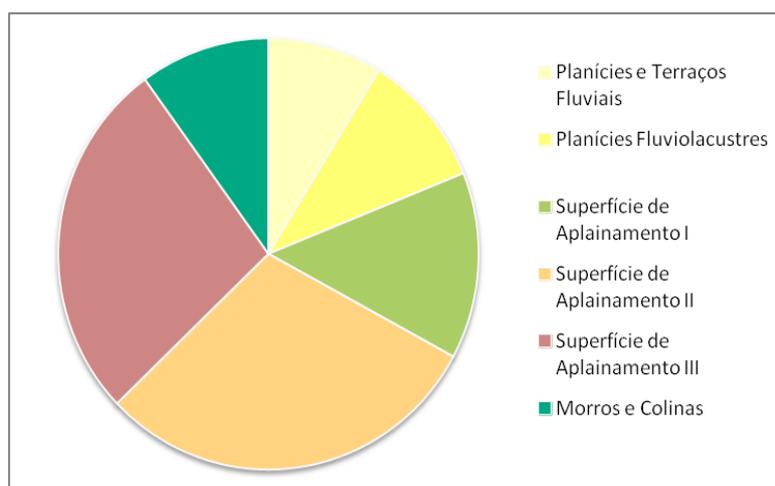


Figura 44. Distribuição das Unidades Geomorfológicas.

Nota-se o domínio das superfícies de aplainamento no que tange às unidades geomorfológicas da bacia do rio Água Limpa. Correspondem a 70% da área da bacia (figura 44). São amplas áreas planas tomadas pela pecuária e pela agricultura. O restante do percentual é dividido praticamente igualmente entre as outras unidades.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O trabalho realizado alcançou com sucesso os objetivos propostos, permitindo o mapeamento e a caracterização geomorfológica da área em questão, além de contribuir metodologicamente para estudos dessa natureza. Os dados aqui gerados auxiliam na caracterização dos ambientes da região da bacia do rio Água Limpa e no entendimento da dinâmica de aplainamento da Superfície do Araguaia.

O caminho metodológico adotado permitiu representar de forma digital as variáveis morfométricas eleitas, possibilitando a modelagem geomorfológica da bacia em ambiente SIG. A metodologia mostrou-se eficaz e adequada na obtenção de informações sobre os componentes da paisagem, sendo de grande relevância nos estudos geomorfológicos.

Para Florenzano (2008), a inserção dessas variáveis em estudos multidisciplinares poderá promover o desenvolvimento de novos modelos e importantes avanços na aplicação daqueles existentes e tal avanço permite o uso de métodos paramétricos de análise de paisagem, para fornecer uma base mais objetiva e padronizada para a identificação de sistemas terrestres.

Nota-se que as variáveis geomorfométricas têm encontrado aplicações abrangentes quando inseridas no contexto de sensoriamento remoto e geoprocessamento. Elas vêm sendo desenvolvidas em ambiente computacional, amenizando a demanda de trabalho manual e a subjetividade dessas atividades. As novas técnicas metodológicas com uma roupagem atualizada dos parâmetros conceituais e uma base tecnológica apoiada nas ferramentas informatizadas têm proporcionado à cartografia geomorfológica a aplicação do conhecimento geomorfológico de forma eficaz aos estudos e manejos ambientais.

As análises de padrões regionais de relevo a partir de parâmetros morfométricos expressam quantitativamente os efeitos dos processos de aplainamento, a dissecação e o entalhamento que atuam sobre o mesmo e que, apesar de indissociáveis, são passíveis de quantificações diferenciadas ou conjuntas. Entretanto, cabe ressaltar que nenhum desses “produtos” isoladamente deve ser entendido como capaz de simplificar a complexa dinâmica da bacia.

A identificação dos diferentes padrões de organização do relevo através do mapa geomorfológico assume grande importância, pois permite identificar áreas que são naturalmente vulneráveis a ação antrópica. Estudos dessa natureza são instrumentos básicos para o desenvolvimento de planos de gestão que visem a utilização racional do meio ambiente e a compreensão dos processos naturais atuantes neste meio. Dessa forma, esse trabalho

também atua como instrumento para o planejamento ambiental, fornecendo a administração pública municipal e à sociedade em geral um importante documento de compreensão da geomorfologia local.

A disponibilidade de produtos como os Modelos Digitais de Elevação constituem novas possibilidades de elaboração e interpretação dos aspectos relacionados ao relevo. Destaca-se que também que mais importante do que os produtos é o desenvolvimento e aplicação de uma metodologia adequada ao tratamento dos mesmos com finalidades previamente definidas. Dessa forma, destaca-se a necessidade de conhecimento tanto dos produtos, das possibilidades de tratamento metodológico por meio das novas tecnologias disponíveis nos programas de geoprocessamento, bem como das concepções teóricas que orientam um determinado tratamento (NUNES, 2010).

Cabe ressaltar que, além do conhecimento do processo de geração dos dados morfométricos e morfográficos, o conhecimento da área de estudo foi fundamental para obtenção de resultados que permitiram o mapeamento geomorfológico mais próximo à realidade. Daí a importância dos trabalhos de campo.

As informações derivadas do MDE TOPODATA, relacionadas à forma de relevo da unidade de paisagem natural, permitem que se quantifique empiricamente a energia potencial disponível para o escoamento superficial (“*runoff*”), isto é, a transformação de energia potencial em energia cinética responsável pelo transporte de materiais que esculpe as formas de relevo. Dessa maneira, podemos entender que em unidades de paisagem natural que apresentam valores altos de amplitude de relevo, declividade e grau de dissecação, prevalecem os processos morfogenéticos, enquanto que em situações de baixos valores para as características morfométricas prevalecem os processos pedogenéticos.

Os padrões morfométricos na bacia do rio Água Limpa são organizados de acordo com níveis altimétricos bem demarcados. Constatou-se a presença de seis unidades geomorfológicas - ou unidades morfológicas (4º táxon) - estabelecidas a partir da comparação do MDE e suas derivações de primeira ordem (altitude, declividade e orientação das vertentes), de segunda ordem (curvatura vertical, curvatura horizontal e formas do relevo) e de terceira ordem (índice de rugosidade e *hillshade*). A cobertura vegetal e os tipos de solos também foram elementos definidores das unidades geomorfológicas.

Dessa forma, as unidades morfológicas identificadas foram: Serras e Morros; Superfícies de Aplainamento I, II e III; Planícies Fluvio-lacustres; e Planícies e Terraços Fluviais. Sucintamente, as Serras e Morros sobressaem na paisagem por ser a unidade mais

elevada, com os maiores declives e materiais de origem formados por rochas do Arco Magmático de Goiás e do Complexo Alcalino.

Por se tratar de uma área predominantemente plana composta por sedimentos da Formação Araguaia, observa-se que as superfícies de aplainamento da bacia estão escalonadas em patamares distintos. A Superfície de Aplainamento I margeia as Serras e Morros, numa posição mais elevada que as outras superfícies. A Superfície de Aplainamento II ocupa posição intermediária e apresenta a particularidade de ser sustentada por níveis ferruginosos. A Superfície de Aplainamento III é a mais rebaixada, com o menor grau de dissecação e com a ocorrência de ambientes de acumulação com formação de lagos arredondados, denominados Planícies Fluvio-lacustres. As Planícies e Terraços Fluviais são formados por materiais depositados pela evolução fluvial dos canais de drenagem durante o Holoceno.

A representação das superfícies de aplanamento indica as áreas com maior potencialidade para aproveitamento agrícola em função das amplas superfícies mapeadas, que apresentam facilidades para a mecanização agrícola e implementação das modernas tecnologias de irrigação e agricultura de precisão, bem como a pecuária extensiva. Isso é evidenciado na Superfície de Aplainamento II, com incidência de Latossolo Vermelho. Através do mapa de uso do solo é possível verificar que os cultivos irrigados concentram-se nesse compartimento, aproveitando-se do tipo de solo mais fértil, do relevo de fácil mecanização e da disponibilidade abundante de água.

Já as áreas com maior dissecação localizadas nas bordas da bacia, constituindo as Serras e Morros, estão indicadas à preservação ambiental, pois apresentam uma maior quantidade de nascentes de canais de primeira ordem, bem como vertentes mais inclinadas e suscetíveis a processos erosivos mais intensos.

Na Superfície de Aplainamento III ocorrem formas com baixa dissecação, implicando em condições de relevo onde predominam declividades médias inferiores a 3%, com formas planares e retilíneas e domínio da pecuária extensiva.

Apesar da eficácia na metodologia aqui aplicada para os fins propostos, a escala de trabalho constituiu uma limitação na representação espacial dos dados morfométricos, notadamente na representação dos setores de vertentes. Isso porque os padrões setoriais de vertentes são mais perceptíveis quando analisando em escalas grandes. Ross (1992) já atentava que discernir os níveis de representação dos fatos geomórficos em função da dimensão deles e da escala de representação escolhida é um fato de grande complexidade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, F.F.M. *et al.* **Províncias estruturais brasileiras**. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO NORDESTE, 8, 1977, Campina Grande, Atas... Campina Grande: SBG, 1977. p.363-391.

ANA (Agência Nacional de Águas). **Séries históricas das Estações Fluviométricas 25130000 e 25140000**. Disponível em: www.ana.gov.br/hidroweb. Acesso em: 13 de março de 2012.

ARAUJO, J. B; & CARNEIRO, R. J. **Planície do Araguaia, reconhecimento geológico-geofísico**. Belém, PETROBRAS, relatório técnico interno. 1977.

BAYER, M. **Diagnóstico dos processos de erosão/assoreamento na planície aluvial do rio Araguaia, entre Registro do Araguaia (GO) e Cocalinho (MT)**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Goiás - UFG. Goiânia. 2002.

BARBOSA, O. *et al.* **Geologia Estratigráfica, Estrutural e Econômica da área do “Projeto Araguaia”**. Monografia da Divisão de Geologia e Mineralogia, Rio de Janeiro. n.19, p.1-94, 1966.

BERTALANFFY, L. O significado da teoria geral dos sistemas. In: **Teoria Geral dos Sistemas**. Petrópolis (RJ): Vozes, 1973. pp. 52-81.

BERTRAND, G. **Construire la géographie physique**. Hérodote, Paris, n. 26, 1982.

BERTRAND, G. Paisagem e Geografia Física Global. Esboço Metodológico. **Caderno de Ciências da Terra**. n. 13, p.1-27, Editora da UFPR, Curitiba. 1971.

BOLÓS, M.C. Problemática actual de los estudios de paisaje integrado. **Revista de Geografia**. Barcelona, v. 15, pp. 45-68. 1981.

BORDALO, C. **Gestão Ambiental em Bacias Hidrográficas: Gestão Ambiental da Microbacia do Igarapé Murutucum – PA**. NUMA/UFPA. Belém. 1995.

BOTELHO, R.G.M.; SILVA, A.S. **Bacia Hidrográfica e Qualidade Ambiental. Reflexões sobre a Geografia Física no Brasil**. Rio de Janeiro. Bertrand Brasil, p.153-192, 2004.

BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Projeto RADAMBRASIL. **Folha SD. 22 GOIÁS**. Geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação, uso potencial da terra. Volume 25. Rio de Janeiro, RJ. 1981.

BUDEL, J. **Climatic Geomorphology**. Princeton University Press, Princeton, 443p. 1982.

BUDEL, J. Die “Doppelten Einebnungsflächen” in den feuchten Tropen. **Z. Geomorphol.**, N.F., v. 1, p. 201-228. 1957.

CAMARGO, F. F. **Análise orientada a objeto aplicada ao mapeamento de unidades geomorfológicas a partir de dados ASTER/TERRA**. Dissertação de mestrado (Mestrado em Sensoriamento Remoto). INPE. São José dos Campos, SP. 2008. Disponível em <http://urlib.net/sid.inpe.br/mtc-m17@80/2008/02.12.12.07>. Acesso em 27/10/2010

CARDOSO, C.A. *et al.* Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do rio Debossan, Nova Friburgo-RJ. **Árvore**, Viçosa, v.30, n.2, p.241-248, 2006.

CASSETI, V. **Ambiente e apropriação do relevo**. São Paulo Ed .Contexto. UFG. 1991.

CASSETI, V. **Geomorfologia**. [S.l.]: [2005]. Disponível em: <<http://www.funape.org.br/geomorfologia/>>. Acesso em: 05 de junho de 2012.

CHORLEY, R.J.; KENNEDY, B.A. **Physical Geography: a system approach**. Londres, Editora Prentice Hall Inc. Co. 1971. p. 351.

CHORLEY, A. **Morphologie structurale et morphologie climatique**. Anais de Geographie, v. 59, p. 331-335, 1950.

CHRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de sistemas ambientais**. Editora Edgard Brucher. São Paulo. 1999.

CHRISTOFOLETTI, A. **Análise de sistemas em Geografia**. São Paulo, Hucitec, 1979.

COOK, R. U.; DOORNKAMP, J. C. **Geomorphology in environmental management: an introduction**. 2 ed. Oxford: Claredon Press, 1990. 413p.

DAVIS, W. M. The geographical cycle. **Geographical Journal**, [s.l.], v. 14, n. 5, p. 481-504, 1899.

DEMEK, J. Generalization of geomorphological maps. In **Progress Made in Geomorphological Mapping**. Brno, 35-66, 1967.

DOORNKAMP, J. C; KING, C. A. M. **Numerical analysis in Geomorphology: An Introduction**. London: Edward Arnold Ltd., 1971. 372p.

EMBRAPA, Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília: EMBRAPA Produção de Informação; Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos, 1999. 412p.

FERREIRA, I. L. **Cartografia geomorfológica sob diferentes aspectos metodológicos: uma abordagem comparativa da simbologia cartográfica**. 58 p. Monografia (Graduação em Geografia) – Instituto de Geografia. Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2003.

GANDOLFI, S; JOLY, C. A. **História natural de uma floresta estacional semidecidual no município de Campinas**. Tese de doutorado. Universidade Estadual de Campinas, Campinas. 2000.

GERRARD, J. **Soil Geomorphology: an integration of Pedology and Geomorphology**. 2 ed. London: Chapman & Hall, 269 p. 1995.

GOIAS (Governo do Estado de Goiás). Secretaria de Indústria e Comércio. Superintendência de Geologia e Mineração. **Geologia do Estado de Goiás e do Distrito Federal**. Por MOREIRA, Maria Luiza Osório; et al. Goiânia, GO. 2008.

GOIAS (Governo do Estado de Goiás). Secretaria de Indústria e Comércio. Superintendência de Geologia e Mineração. **Geomorfologia do Estado de Goiás e do Distrito Federal**. Por Latrubesse, E. M; Carvalho, T. M. Goiânia, GO. 2006.

GROHMANN, C. H; RICCOMINI, C; STEINER, S. S. Aplicações dos modelos de elevação SRTM em Geomorfologia. **Revista Geográfica Acadêmica**. Volume 2, numero 2. 73-83. 2008.

GUERRA, A. T; CUNHA, S. B. **Geomorfologia: Uma atualização de bases e conceitos**. Editora Bertrand Brasil. Rio de Janeiro. 1998.

GUERRA, A. T; GUERRA, A. T. J. **Novo dicionário geológico-geomorfológico**. Rio de Janeiro. Bertrand Brasil. p.648. 1997.

HACK, J.T. **Interpretation of Erosional Topography in Humid-Temperate Regions**. Amer. Journ. Sci, New Haven, Conn. v. 258-A, p. 80-97, 1960.

HALES, F.W. **Anomalias magnéticas de origem profunda na Fossa do Araguaia e no Pantanal: suas implicações geológicas**. Mineração e Metalurgia, Rio de Janeiro, 44(425):24-30. 1981.

HERMUCHE, P. M; et al. **Processamento Digital de Imagens Morfométricas para Subsidiar o Mapeamento Pedológico**. Anais XI SBSR, Belo Horizonte, Brasil, 05-10 abril 2003, INPE, p. 123-130

HIRUMA, S. T.; PONÇANO, W. L. Densidade de drenagem e sua relação com fatores geomorfo-pedológicos na área do Alto Rio Pardo, SP e MG. **Revista do Instituto Geológico**, v. 15, p. 49 – 57, 1999.

HOBSON, R. D. Surface roughness in topography: quantitative approach. In: Chorley (ed.), **Spatial analysis in geomorphology**. Harper and Row. New York, NY, p. 225- 245. 1972.

HORN, B. K. P. (1981). **Hill shading and the reflectance map**. Proceedings of the IEEE, 69 (1): 14-47.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual técnico da vegetação brasileira**. Rio de Janeiro, 1992. 92p.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Diagnostico Ambiental da bacia do Rio Araguaia – Trecho Barra do Garças (MT) – Luis Alves (GO)**. Por DEL'ARCO, Jeferson Oliveira, et al. Goiânia. 1999. Disponível em: http://200.101.121.204/publicacoes/diag_aval/diag_amb_bacia_araguaia.pdf. Acesso em: 15 de junho de 2009.

INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. 1990. **Dados de clima e pluviosidade**. Disponível em:<[http:// www.inmet.gov.br](http://www.inmet.gov.br)>. Acesso em 10/10/2009

IRIONDO, M. H. **Introducción a la Geología**. Paraná: Ediciones El Río, p.120–149. 1985.

KING, L. C. Canons of landscape evolution. **Bulletin of the Geology Society of America**, Washington DC, v. 64, n. 7, p. 721-732, 1953.

KING, L. C. **A Geomorfologia do Brasil Oriental**. IBGE, Rio de Janeiro, 265 p. Ano XVIII, n.2, 1956.

KING, L.C. **Morphology of the Earth**. Edinburgh: Oliver, 1967.

KLINK, C; & MACHADO, R. A conservação do Cerrado brasileiro. Revista **Megadiversidade**. Volume 1. Nº 1. Julho. 2005.

KNIGHTON, D. **Fluvial Forms and Processes: A new perspective**. London. 1998.

LACERDA FILHO J.V. *et al.* **Geologia e Recursos Minerais do Estado de Goiás e do Distrito Federal – Relatório do Mapa Geológico do Estado de Goiás – Escala 1:500.000**. Goiânia: CPRM/METAGO/UnB, 1999.

- LATRUBESSE, E. M. **The Late Quaternary Paleohydrology of Large South- American Fluvial Systems**. In: *3rd Latinoamerican Congress of Sedimentology*, 193-212. 2003.
- LIMA, W.P.; ZAKIA M.J.B. Hidrologia de matas ciliares. In: RODRIGUES; R.R.; LEITÃO FILHO; H.F. (Ed.) **Matas ciliares: conservação e recuperação**. 2.ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2000. p.33-43.
- MACHADO, L.E.G.; LIMA, C. V. **Análise do processo de ocupação e uso atual do solo da bacia hidrográfica do Rio Vermelho (GO) utilizando imagens LANDSAT 5 TM**. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, 2011, Curitiba-PR. p.6719 – 6726
- MARQUES, J. S. Ciência Geomorfológica. In GUERRA, A. J. T; CUNHA, S. B. da. (Org.). **Geomorfologia: Uma atualização de bases e conceitos**. 7º Edição. São Paulo: Editora Bertrand Brasil. p. 23 - 45.1994.
- MATTOS, S. H. V. de; PEREZ FILHO, A. Complexidade e Estabilidade em Sistemas Geomorfológicos: uma introdução ao tema. **Revista Brasileira de Geomorfologia**. Ano 5, nº1, 11-18. 2004.
- MEIS,M.R.; MIRANDA,L.H.G. & FERNANDES,N.F. 1982. **Desnívelamento de altitude como parâmetro para a compartimentação do relevo: bacia do médio-baixo Paraíba do Sul**. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 32, 1982. Salvador. Anais... Salvador: SBG. 4:1489-1509
- MELFI, A. J. **Lateritas e processos de laterização**. Universidade Federal de Goiás. Escola de Engenharia de São Carlos. Aula inaugural. 1994.
- MEIJERINK, A. M. J., BROUVER, H. A. M., MANNAETS, C. M., VALENZUELA, C. (1994). **Introduction to Use of Geographic Information Systems for Practical Hydrology**. ITC, UNESCO, The Netherlands, 242 p.
- MISSURA, R. **Análise morfoestratigráfica da Bacia do Ribeirão dos Poncianos/MG**. Rio Claro-SP. 2005. Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas.
- MYERS, N; MITTERMEIER, R.A.; MITTERMEIER, C.G; FONSECA, G.A.B; KENT, J. 2000. **Biodiversity hotspots for conservation priorities**. Nature 403:853-858.
- MORIN, E. O método I: **a natureza da natureza**. Europa, 277p.1970.
- NASCIMENTO, M. A. **Geomorfologia do Estado de Goiás**. Boletim Goiano de Geografia. 12(1): 1-22. Goiania. 1992.
- NUNES, E. D. **Ensaio sobre modelagem de bacia hidrográfica no contexto dos sistemas dinâmicos** - Ribeirão Lajeado – Goiânia – GO. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Goiás – UFG. 2011.
- PAREDES, E. A. **Sistema de Informação Geográfica**. São Paulo, Érica, 1a edição, p. 1- 95. 1994.
- PAZ, A. R. ; COLLISCHONN, W. . **Rede de drenagem para a modelagem hidrológica distribuída**. In: XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2007, São Paulo. Anais do XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2008.
- PENA, G.S.; PEREIRA, A.D.C.; TAKAHASHI, A.T. et al. 1975. **Projeto Goiânia II Goiânia**, CPRM, v. 1. - Relatório Final. Convênio CPRM/DNPM.

PENK, W. *Morphological analysis of landforms: a contribution to physical geology*. London: MacMillan, 1953. First edition ©1924.

PENNOCK, D. J.; ZEBARTH, B. J.; DE JONG, E. Landform classification and soil distribution in hummocky terrain, Saskatchewan, Canada. **Geoderma**, v. 40, p.297-315, 1987.

PORTO, C. G. Intemperismo em regiões tropicais. In: Guerra, A. J., Cunha, S.B. (orgs) **Geomorfologia e meio ambiente**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 372 p.1996.

PORTO, M. F. A.; PORTO, R. L. L. **Gestão de bacias hidrográficas**. Estud. av. vol.22 no.63 São Paulo. 2008.

RIBEIRO, J.F. ; WALTER, B.M.T. Fitofisionomias do Bioma Cerrado. In: **Cerrado ambiente e flora**. Ed. Sueli Matiko Sano e Samíramis Pedrosa de Almeida. Planaltina: EMBRAPAC/PAC, 1998. p87-166.

RODRIGUES, S. C. Cartografia e simbologia geomorfológica: evoluindo da cartografia tradicional para o uso de simbologia digital. **Revista Brasileira de Geomorfologia** - v. 11, nº 1 (2010).

ROMÃO, P. A. **Modelagem de terreno com base na morfometria e em sondagens geotécnicas - Região de Goiânia, GO**. Brasília: Universidade de Brasília, 2006. 192p. Tese Doutorado.

ROSS, J. Registro cartográfico dos fatos geomorfológicos e a questão da taxonomia do relevo. **Revista Geografia**. São Paulo, IG-USP, 1992.

ROSS, J. **Geografia do Brasil**. São Paulo. Edusp. 1996

ROSS, J. **Ecogeografia do Brasil. Subsídios para Planejamento Ambiental**. São Paulo: Oficina de textos, 2006. pp. 13-23.

ROSS, J. **Geomorfologia ambiente e planejamento**. S. Paulo:Contexto, 1990, 85p.

SALGADO, A. A. R. Superfícies de aplainamento: antigos paradigmas revistos pela ótica dos novos conhecimentos geomorfológicos. **Revista Geografias**. Belo Horizonte 03(1) 64-78 janeiro-junho de 2007.

SAMPAIO, T. V. M. **Índice de Concentração de Rugosidade (ICR): uma proposta para o mapeamento morfométrico via emprego de Geotecnologias**. Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada. Viçosa-MG, 2009. Disponível em: http://www.geo.ufv.br/simposio/simposio/trabalhos/trabalhos_completos/eixo1/094.pdf Acesso em 05 jun. 2012

SAMPAIO, T.V. M. **Parâmetros morfométricos para melhoria da acurácia do mapeamento da rede de drenagem – uma proposta baseada na análise da Bacia Hidrográfica do Rio Benevente – ES**. Tese de Doutorado. IGC/UFMG. Belo Horizonte, 2008.

SANTOS, M. **A Natureza do Espaço. Técnica e Tempo. Razão e Emoção**. 2ª Edição. Editora Hucitec. São Paulo. 1999. pp. 50-67; 250-274.

SCARAMUZZA, C. A. M. et al., **Áreas prioritárias para a conservação da biodiversidade em Goiás**. A encruzilhada socioambiental: Biodiversidade, economia e sustentabilidade no Cerrado. Org. Laerte Guimarães Ferreira Jr. Editora UFG. 2008.

SCHIMIDT, J. & DIKAU, R. **Extracting geomorphometric attributes and objects from digital elevation models – Semantics, methods, future needs.** GIS for Earth Surface Systems – Analysis and Modeling of the Natural Environment. Dikau, R. & Saurer, H. Borntraeger, (eds.). Stuttgart, 197 p.1999.

SILVA, L. F., **Solos tropicais: aspectos pedológicos, ecológicos e de manejo.** São Paulo: Terra Brasilis. 1995.

SILVA, Thallita Isabela; RODRIGUES, Silvio Carlos. Tutorial de Cartografia Geomorfológica. Manuais Técnicos – **Rev. Geográfica Acadêmica**, v.3, n.2. 2009.

SOUZA, Luiz Humberto de Freitas. **Representação gráfica de feições lineares do relevo: proposta de aplicação de simbologia linear digital na cartografia geomorfológica.** Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia, MG – 2006.

SOUZA, L. F; SAMPAIO, T. V. M. **Aplicação do índice de concentração da rugosidade à identificação de classes de dissecação do relevo: uma proposta de quantificação e automatização em ambiente SIG.** Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação Recife - PE, 27-30 de Julho de 2010.

SUGUIO, K. **Geologia do Quaternário e Mudanças Ambientais: (passado+presente=futuro?).** Editora Paulo's Comunicação e Artes. São Paulo. 1999.

TEODORO, V. L.; TEIXEIRA, D.; COSTA, D.J. L. e FULLER, B. B. O conceito de bacia hidrográfica e a importância da caracterização morfométrica para o entendimento da dinâmica ambiental local. In. **Revista Uniara: Revista do Centro Universitário de Araraquara, Araraquara/SP.** N. 20, 2007, p. 137-156.

TOLEDO, M. C. M.; OLIVEIRA, S. M. B. de; MELFI, A. J.; Intemperismo e formação do solo. Capítulo 8. In. **Decifrando a Terra.** Organização: TEIXEIRA et al. São Paulo. Companhia Editora Nacional, 2008.

TONELLO, K. C. **Análise Hidroambiental da Bacia Hidrográfica da Cachoeira das Pombas, Guanhães, MG.** 69p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2005.

TRICART, J. **Ecodinâmica.** Supen. R. de Janeiro. Fund. IBGE, 1977

TRICART, J. **Principes et méthodes de l geomorphologie.** Paris:Masson Ed., 1965, 201p.

TUCCI, C. **Hidrologia. Ciência e Aplicação.** Editora da Universidade Federal. UFRGS. Porto Alegre, RS. 1993.

TUCCI, C. E. M & BELTRAME, L. F. S.. **Hidrologia: ciência e aplicação.** 2ª ed.. Porto Alegre: Editora da Universidade/UFRGS- ABRH, 2000.

VALENTE, Sidney Rodrigues. **Controles físicos na evolução das unidades geoambientais da bacia do rio Araguaia, Brasil Central.** Tese de doutorado em Ciências Ambientais. UFG. Goiânia-GO. 2007.

VALENTE, C. R., LATRUBESSE, E. M. Paleohydrological characteristics and river channel avulsions during Middle and Upper Pleniglacial in Bananal Basin, Brazil. **Quaternary Science Reviews** (in press). 2007.

VALERIANO, Márcio de Morisson. **Modelo Digital de Elevação com dados SRTM disponíveis para a América do Sul.** INPE. São José dos Campos, SP. 2004. Disponível em www.inpe.br/documentos. Acesso em 21/09/2009.

VALERIANO, Márcio de Morisson. **TOPODATA: guia de utilização de dados geomorfométricos locais.** Márcio de Morisson Valeriano. - São José dos Campos: INPE, 2008.

VALERIANO, Márcio de Morisson. **Curvatura vertical de Modelos Digitais de Elevação.** Anais XI SBSR, Belo Horizonte, Brasil, 05-10 abril 2003, INPE, p. 409-411.

VIANELLO, R.L; ALVES, R. **Meteorologia básica e aplicações.** Imprensa Universitária. Universidade Federal de Viçosa, p. 449. Viçosa, MG. 1991.

VIEIRA, Pedro Alves. **Caracterização das unidades geomorfológicas Geoambientais da Planície do Bananal.** Dissertação de Mestrado em Geografia. Instituto de Estudos Socioambientais. Universidade Federal de Goiás - Goiânia, 2002.

VITTE, Antonio Carlos. **Considerações sobre a teoria da etchplanação e suas aplicações nos estudos das formas de relevo nas regiões tropicais quentes e úmidas.** Revista Terra Livre. N.16, p 11-24. São Paulo. 2001.

VITTE, Antonio Carlos. **Etchplanação dinâmica e episódica nos trópicos quentes e úmidos.** Revista do departamento de Geografia. N. 16, p 105-118. São Paulo. 2005.