



UNIVERSIDADE FEDERAL DE RORAIMA
MESTRADO PROFISSIONAL EM REDE NACIONAL EM GESTÃO E
REGULAÇÃO DE RECURSOS HÍDRICOS – PROFAGUA

DÉBORA STRÜCKER

COMPARTIMENTAÇÃO DA PAISAGEM DA BACIA HIDROGRÁFICA DO
CAUAMÉ - RR: uma análise da fragilidade a erosão do solo

BOA VISTA, RR
2020

DÉBORA STRÜCKER

**COMPARTIMENTAÇÃO DA PAISAGEM DA BACIA HIDROGRÁFICA DO
CAUAMÉ - RR: uma análise da fragilidade a erosão do solo**

Dissertação apresentada para conclusão do curso de Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Águas – ProfÁgua da Universidade Federal de Roraima. Linha de Pesquisa: Regulação e Governança de Recursos Hídricos.

Orientador (a): Prof.^a Dr.^a Luiza Câmara Beserra Neta

Coorientador (a): Prof.^o Dr. Stélio Soares Tavares Júnior.

**BOA VISTA, RR
2020**

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

S927c Strücker, Débora.

Compartimentação da paisagem da bacia hidrográfica do
Cauamé - RR: uma análise da fragilidade a erosão do solo /
Débora Strücker. – Boa Vista, 2020.
110 f. : il.

Orientador (a): Prof.^a Dr.^a Luiza Câmara Beserra Neta.
Coorientador (a): Prof.^o Dr. Stélio Soares Tavares Júnior.
Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Roraima,
Programa de Pós-Graduação Mestrado Profissional em Gestão e
Regulação de Águas.

1 – Bacia hidrográfica. 2 – Paisagem. 3 – Fragilidade. 4 –
Erosão. I – Título. II – Beserra Neta, Luiza Câmara (orientadora).
III – Tavares Júnior, Stélio Soares (coorientador).

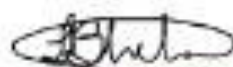
CDU – 551.3.053(811.4)

Ficha Catalográfica elaborada pela Bibliotecária/Documentalista:
Shirldonll Batalha de Souza - CRB-11/573 - AM

DÉBORA STRÜCKER

**COMPARTIMENTAÇÃO DA PAISAGEM DA BACIA HIDROGRÁFICA DO
CAUAMÉ – RR: uma análise da fragilidade a erosão do solo**

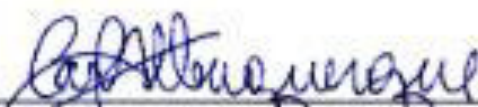
Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos, da Universidade Federal de Roraima, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos. Área de concentração: Regulação e Governança de Recursos Hídricos. Defendida em 26 de novembro de 2020 e avaliada pela seguinte banca:



Profa. Dra. Luiza Câmara Beserra Neta
Orientador / Curso de Geografia (UFRR)



Prof. Dr. Vladimir de Souza
Curso de Geologia (UFRR)



Prof. Dr. Carlössandro Carvalho de Albuquerque
Curso de Geografia (UEA)

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer primeiramente á Deus, por me possibilitar a participação no mestrado, a oportunidade de adquirir mais conhecimento e o desenvolvimento de novas habilidades profissionais.

Também ao programa de Mestrado Profissional em Rede Nacional-PROFÁGUA pela organização deste programa de mestrado que abrange muitas localidades brasileiras e discute este tema tão importante e essencial par a vida, a água.

Á UFRR, pelo acolhimento e disponibilização de salas de aulas, laboratórios e equipamentos, bem como do seu corpo docente para estabelecimento do mestrado.

Á professora Dr^a. Luiza Câmara Beserra Neta pela orientação no trabalho de pesquisa e ao professor Dr. Stélio Soares Tavares Júnior pela coorientação e auxílio imprescindível na parte geotecnológica, bem como todos os professores que nos deram aula e nos transformaram no decorrer do curso, entre eles o professor Dr. Antônio Tolrino de Rezende Veras (*in memorian*) que sempre será lembrado por nós.

Á minha família, em especial minha filha Melissa, e todas as pessoas que eu amo e foram minha base de sustentação e força para traçar esse caminho; e pela paciência pela minha ausência em alguns momentos para concluir mais essa etapa.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001, agradeço também ao Programa de Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos - ProfÁgua, Projeto CAPES/ANA AUXPE N°. 2717/2015, pelo apoio técnico científico aportado até o momento.

Água que nasce na fonte
Serena do mundo
E que abre um
Profundo grotão
Água que faz inocente
Riacho e deságua
Na corrente do ribeirão

Águas escuras dos rios
Que levam
A fertilidade ao sertão
Águas que banham aldeias
E matam a sede da
população

Águas que caem das pedras
No véu das cascatas
Ronco de trovão
E depois dormem tranqüilas
No leito dos lagos
No leito dos lagos

Água dos igarapés
Onde Iara, a mãe d'água
É misteriosa canção
Água que o sol evapora
Pro céu vai embora
Virar nuvens de algodão

Gotas de água da chuva
Alegre arco-íris
Sobre a plantação
Gotas de água da chuva
Tão tristes, são lágrimas
Na inundação

Águas que movem moinhos
São as mesmas águas
Que encharcam o chão
E sempre voltam humildes
Pro fundo da terra
Pro fundo da terra

Terra! Planeta Água
Terra! Planeta Água
Terra! Planeta Água

Guilherme Arantes

RESUMO

A preocupação com o uso e a degradação do solo em uma bacia hidrográfica se deve pelos seus impactos diretos e indiretos sobre os recursos hídricos. A Bacia Hidrográfica do Cauamé apresenta-se como uma importante bacia hidrográfica do Estado de Roraima devido os seus usos múltiplos e contribuição para o abastecimento de água da cidade de Boa Vista. Assim, objetivou-se analisar o grau de proteção do solo da região da bacia hidrográfica do Cauamé a partir dos elementos formadores de paisagem (vegetação, solos, declividade, cobertura da terra e geomorfologia), tendo como finalidade a construção do mapa fragilidade á erosão do solo, que é uma ferramenta fundamental antes de qualquer estudo na bacia. Para realização desse estudo foram realizados trabalho de gabinete (levantamento bibliográfico e cartográfico) e de campo (visita para fotografar e checar as classes de cobertura da terra), que, analisados de forma integrada, resultaram no mapa de cobertura da terra. Visando alcançar os objetivos do trabalho foi adquirida uma imagem do sensor OLI, a bordo do satélite Landsat 8, de fevereiro de 2020, que serviu de referência para a classificação supervisionada por meio do classificador pixel a pixel de máxima verossimilhança (MAXVER). Na fase de treinamento, foram identificados na imagem os pixels correspondentes ás oito classes de cobertura do solo (área urbana, áreas úmidas, solo exposto, cultivo, lavrado, mata ciliar, floresta e corpos d'água) pretendidas. O mapa de cobertura da terra, juntamente com outros mapas temáticos elaborados (solos, geomorfologia, declividade e vegetação), passou pelo processo de análise AHP após ter sido transformado em mapa numérico (ponderação Fuzzy), gerando o mapa de fragilidade á erosão. O processamento dos dados foi realizado nos softwares Spring e ArcGis versão 10.5. Com o desenvolvimento do trabalho foi possível a elaboração do mapa da fragilidade á erosão do solo da Bacia Hidrográfica do Cauamé, dividido em cores, que demonstram as variações de fragilidade da mais baixa á mais alta. Concluiu-se que a área da Bacia Hidrográfica do Cauamé apresenta áreas de cultivo e uso do solo, porém em sua maior parte encontra-se ainda recoberta pela sua vegetação original. Também que as áreas mais frágeis á erosão são as áreas de APP, os relevos residuais, e áreas urbanas e de expansão devido os impactos antrópicos de retirada da cobertura vegetal.

Palavras chave: Bacia hidrográfica. Paisagem. Fragilidade. Erosão.

ABSTRACT

The concern with land use and degradation in a hydrographic basin is due to its direct and indirect impacts on water resources. The Cauamé Hydrographic Basin presents itself as an important hydrographic basin in the State of Roraima due to its multiple uses and contribution to the water supply of the city of Boa Vista. Thus, the objective was to analyze the degree of soil protection in the Cauamé hydrographic basin region from the elements that form the landscape (vegetation, soils, slope, land cover and geomorphology), with the purpose of building the fragility to erosion map from soil, which is a fundamental tool before any study in the basin. To carry out this study, office work (bibliographic and cartographic survey) and field work (visit to photograph and check land cover classes) were carried out, which, analyzed in an integrated way, resulted in the land cover map. In order to achieve the objectives of the work, an image of the OLI sensor was acquired, on board the Landsat 8 satellite, from February 2020, which served as a reference for the supervised classification using the maximum likelihood pixel to pixel classifier (MAXVER). In the training phase, the pixels corresponding to the eight classes of soil cover (urban area, humid areas, exposed soil, cultivation, plowing, riparian forest, forest and water bodies) were identified in the image. The land cover map, together with other elaborated thematic maps (soils, geomorphology, slope and vegetation), went through the AHP analysis process after being transformed into a numerical map (Fuzzy weighting), generating the erosion fragility map. Data processing was performed using Spring and ArcGis software version 10.5. With the development of the work it was possible to elaborate the map of the fragility to soil erosion of the Cauamé Basin, divided into colors, which demonstrate the fragility variations from the lowest to the highest. It was concluded that the Cauamé Basin area has areas for cultivation and land use, but for the most part it is still covered by its original vegetation. Also, the areas most fragile to erosion are the APP areas, the residual reliefs, and urban and expansion areas due to the anthropic impacts of the removal of the vegetation cover.

Keywords: Hydrographic basin. Landscape. Fragility. Erosion.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 -	Mapa do Brasil com destaque para o estado de Roraima, em seguida, o destaque em primeiro plano da Bacia do Rio Cauamé.....	29
Figura 2 -	Rio Cauamé no Contorno Oeste (A), margem direita do rio próximo á Br-174 (B e C).....	30
Figura 3 -	Área de planície (A), relevos residuais (Serra Nova Olinda) (B), e veredas de buritis na Bacia do Cauamé (C).....	32
Figura 4 -	Solos e rocha (E) na região da Bacia do Cauamé: Plintossolo (A), Neossolo flúvico (B), Latossolo amarelo (C), Neossolo Litólico (D), Petroplintita (E), Neossolo quartzarênico (F).....	33
Figura 5 -	Gramíneas na região de lavrado (A) e vegetação mais arbustiva (B).....	34
Figura 6 -	Gráfico de precipitação estação 82024 Boa Vista/RR anos de 2010 a 2015..	35
Figura 7 -	Gráfico de precipitação estação 82024 Boa Vista/RR anos de 2015 a 2019..	35
Figura 8 -	Gráfico de temperatura máxima estação 82024 Boa Vista/RR anos de 1961 a 2010.....	36
Figura 9 -	Gráfico de temperatura mínima estação 82024 Boa Vista/RR anos de 1961 a 2010.....	36
Figura 10 -	Fluxograma dos procedimentos metodológicos.....	39
Figura 11 -	Ponto de controle 1, plantação de mogno, localizada na cidade de Boa vista-RR.....	43
Figura 12 -	Ponto de controle 2, área e expansão urbana, bairro João de Barro.....	44
Figura 13 -	Ponto de controle 3, centro Sócio-Educativo em área de expansão urbana....	44
Figura 14 -	Ponto de controle 4, plantação de açaí e banana próxima a cidade de Boa vista-RR.....	44
Figura 15 -	Ponto de controle 7, plantação de milho na área rural de Boa vista-RR.....	45
Figura 16 -	Ponto de controle 8, plantação de manga.....	45
Figura 17 -	Ponto de controle 9, plantação de cana.....	45
Figura 18 -	Ponto de controle 10, plantação de milho.....	46
Figura 19 -	Ponto de controle 11, mata ciliar próxima á BR-174.....	46
Figura 20 -	Ponto de controle 12, área de retirada de barro.....	46
Figura 21 -	Ponto de controle 13, usina termelétrica.....	47
Figura 22 -	Ponto de controle 14, Granada mineração.....	47
Figura 23 -	Ponto de controle 15, Grameira esmeralda.....	47
Figura 24 -	Ponto de controle 16, lago no P.A. Nova Amazônia.....	48
Figura 25 -	Ponto de controle 17, plantação de milho no P.A. Nova Amazônia.....	48
Figura 26 -	Ponto de controle 19, relevo residual situado no Contorno oeste.....	48
Figura 27 -	Ponto de controle 20, relevos residuais situados no Contorno oeste.....	49
Figura 28 -	Mapa de solos Bacia Hidrográfica do Cauamé.....	57
Figura 29 -	Mapa de solos Fuzzy.....	59
Figura 30 -	Mapa de geomorfologia da Bacia Hidrográfica do Cauamé.....	62
Figura 31 -	(A) Área plana na cidade de Boa vista-RR inserida na Depressão Boa vista; (B) Área de produção agrícola com lago natural em superfície aplainada (Depressão Boa vista); (C) Conjunto de serras (relevos residuais).....	63
Figura 32 -	Mapa de geomorfologia Fuzzy.....	65
Figura 33 -	Mapa de declividade da Bacia Hidrográfica do Cauamé.....	67
Figura 34 -	Mapa de declividade Fuzzy.....	69
Figura 35 -	Mapa de vegetação da Bacia Hidrográfica do Cauamé.....	71
Figura 36 -	(A) Área de savana; (B) Mata ciliar composta de buritizais; (C) Floresta estacional semidecidual.....	72

Figura 37 -	Mapa de vegetação Fuzzy.....	74
Figura 38 -	Mapa de cobertura da terra da Bacia Hidrográfica do Cauamé.....	76
Figura 39 -	(A) Solo de savana com vegetação rasteira e esparsa; (B) Proximidade da área de expansão urbana da mata ciliar; (C) Proximidade de residências na cidade de Boa vista-RR, da mata ciliar do rio Cauamé.....	78
Figura 40 -	(A) Área urbana cidade de Boa Vista-RR; (B) Corpo d'água; (C) Cultivo de grama.....	80
Figura 41 -	Mapa de cobertura da terra Fuzzy.....	82
Figura 42 -	Mapa de fragilidade á erosão da Bacia Hidrográfica do Cauamé.....	84
Figura 43 -	Cultivo de milho.....	85
Figura 44 -	Solo descoberto preparado para plantio.....	85
Figura 45 -	Área de construção irregular localizada em APP.....	86
Figura 46 -	Relevo residual na bacia com indícios de erosão.....	87
Figura 47 -	Atividade pecuária.....	87
Figura 48 -	Erosão linear em área urbana (Boa vista, RR).....	88
Figura 49 -	Erosão linear em área urbana (Boa vista, RR).....	88
Figura 50 -	Erosão linear na bacia do Cauamé.....	88
Figura 51 -	Princípio de erosão em relevo residual.....	89
Figura 52 -	Princípio de erosão em relevo residual.....	89
Figura 53 -	Carta de ações mitigadoras.....	90

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 -	Dados cartográficos.....	34
Quadro 2 -	Pontos visitados em campo.....	39
Quadro 3 -	Classes de solos da Bacia Hidrográfica do Cauamé.....	52

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Ponderação Fuzzy: fragilidade das classes de solo na Bacia Hidrográfica do Cauamé.....	47
Tabela 2 -	Ponderação Fuzzy: fragilidade das classes de declividade na Bacia Hidrográfica do Cauamé.....	48
Tabela 3 -	Ponderação Fuzzy: fragilidade das classes de geomorfologia na Bacia Hidrográfica do Cauamé.....	49
Tabela 4 -	Ponderação Fuzzy: fragilidade das classes de vegetação na Bacia Hidrográfica do Cauamé.....	49
Tabela 5 -	Ponderação Fuzzy: fragilidade das classes de cobertura da terra na Bacia Hidrográfica do Cauamé.....	50
Tabela 6 -	Escala de valores AHP para comparação pareada.....	51
Tabela 7 -	Classes de solo.....	52
Tabela 8 -	Classes geomorfológicas.....	57
Tabela 9 -	Classes de vegetação.....	67
Tabela 10 -	Classes de cobertura da terra.....	72

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	14
1.2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	15
1.2.1	Estudo da paisagem e seus compartimentos.....	15
1.2.2	Bacias hidrográficas.....	17
1.2.3	Áreas de preservação permanente – APPs e matas ciliares.....	18
1.2.4	Fatores condicionantes á erosão do solo.....	18
1.2.4.1	Vegetação.....	19
1.2.4.2	Uso do solo.....	20
1.2.4.3	Solos.....	22
1.2.4.4	Relevo.....	22
1.2.4.5	Precipitação.....	23
1.2.5	Uso de geotecnologias em bacias hidrográficas.....	23
1.2.6	Classificação supervisionada.....	24
1.2.7	Inferência fuzzy ou nebulosa.....	25
1.2.8	Método AHP.....	26
2.	OBJETIVOS.....	27
2.1	OBJETIVO GERAL.....	27
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	27
3.	ASPECTOS FISIAGRÁFICOS.....	28
3.1	LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	29
3.2	CARACTERÍSTICA FISIAGRÁFICAS.....	30
3.2.1	Geologia.....	30
3.2.2	Geomorfologia e rede de drenagem.....	31
3.2.3	Solos.....	32
3.2.4	Vegetação.....	33
3.2.5	Clima.....	34
4.	MATERIAIS E MÉTODOS.....	37
4.1	MATERIAIS.....	37
4.4.1	Levantamento bibliográfico, cartográfico e de sensores remotos.....	37
4.4.2	Aplicativos computacionais (Softwares empregados).....	38
4.2	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	38
4.2.1	Extração da rede de drenagem.....	40
4.2.2	Delimitação da bacia.....	40
4.2.3	Confecção de mapas temáticos (solos, vegetação, declividade e compartimentação geomorfológica).....	40
4.2.3.1	Mapa de solos.....	40
4.2.3.2	Mapa de compartimentação geomorfológica.....	40
4.2.3.3	Mapa de declividade e altimetria.....	41
4.2.3.4	Mapa de vegetação.....	41
4.2.4	Mapa de cobertura da terra.....	41
4.2.4.1	Segmentação da imagem.....	41
4.2.4.2	Classificação da imagem.....	42
4.2.4.3	Pontos de controle de campo.....	42
4.2.5	Padronização dos critérios: Lógica fuzzy.....	49
4.2.5.1	Solos.....	49
4.2.5.2	Declividade.....	50
4.2.5.3	Geomorfologia.....	51
4.2.5.4	Vegetação.....	52
4.2.5.5	Cobertura da terra.....	52

4.2.6	Mapa de fragilidade á erosão.....	53
4.2.6.1	Critérios AHP.....	53
5.	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	55
5.1	ELEMENTOS DA PAISAGEM DA BACIA DO CAUAMÉ.....	55
5.1.2	Mapa de solos.....	55
5.1.3	Mapa de solos Fuzzy.....	58
5.1.4	Mapa de geomorfologia.....	60
5.1.5	Mapa de geomorfologia Fuzzy.....	64
5.1.6	Mapa de declividade.....	66
5.1.7	Mapa de declividade Fuzzy.....	68
5.1.8	Mapa de vegetação.....	70
5.1.9	Mapa de vegetação Fuzzy.....	73
5.2	BACIA DO CAUAMÉ E SUA FRAGILIDADE Á EROSÃO.....	75
5.2.1	Mapa de cobertura da terra.....	75
5.2.2	Mapa de cobertura da terra Fuzzy.....	80
5.2.3	Mapa de fragilidade á erosão.....	82
5.3	CARTA DE AÇÕES MITIGADORAS.....	90
5.3.1	Recomendações para medidas de prevenção á erosão na bacia.....	93
6.	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	95
	REFERÊNCIAS.....	96
	APÊNDICE.....	105

1. INTRODUÇÃO

A preocupação com os recursos hídricos na atualidade é um tema amplamente debatido nas diversas áreas do conhecimento (Ciências Exatas e da Terra, Ciências Biológicas, Engenharia/Tecnologia, Ciências da Saúde). Com o gradativo crescimento da população, é notória também a preocupação com o aumento do uso deste recurso, que é limitado (a água).

Segundo Cunha (1995), a partir do estudo das bacias hidrográficas consegue-se obter uma visão integrada do comportamento do ambiente em condições naturais e das ações humanas desenvolvidas na bacia, pois, quando ocorrem transformações significativas em qualquer destas unidades pode determinar mudanças e efeitos impactantes.

A Bacia Hidrográfica do Cauamé está situada na porção nordeste do estado de Roraima, abrangendo os municípios de Boa Vista e Alto Alegre. É considerada uma importante bacia hidrográfica devido os seus usos múltiplos; contribuindo para o abastecimento de água da cidade de Boa Vista, balneabilidade, pesca e captação de recursos hídricos para fins agropecuários.

A preocupação com o uso e ocupação do solo em uma bacia hidrográfica se deve aos seus impactos diretos e indiretos sobre os recursos hídricos como: assoreamento dos rios devido à erosão do solo, contaminação dos mananciais, retirada da mata ciliar, eutrofização, alterações hidrológicas e perda da biodiversidade.

Por estar inserida no município de Boa Vista-RR, esta bacia está sendo fortemente afetada pela expansão urbana da cidade, sofrendo consequências em função dos impactos antrópicos sobre o seu principal corpo hídrico (Rio Cauamé); e pressionada também na parte rural da bacia com o crescimento da atividade agropecuária e de lavouras irrigadas que utilizam a água sem uma gestão adequada.

As geotecnologias estão se tornando uma importante ferramenta na gestão de elementos componentes da paisagem e também no monitoramento do território, recebendo uma maior atenção e dedicação por parte de cientistas, universidades, empresas e gestores públicos.

A bacia hidrográfica do Cauamé tem sido objeto de estudo de alguns pesquisadores, como por exemplo Barroso (2009), que delimita a bacia por áreas e propõe os tipos de atividades que podem ser desenvolvidas em cada área devido a fragilidade do ambiente. Oliveira (2014), observou que os principais problemas ambientais que afetam o rio Cauamé são a ocupação irregular, destruição das matas ciliares e poluição doméstica devido à falta de saneamento básico.

De acordo com os usos múltiplos desta bacia prevê-se um possível cenário de conflito quanto ao uso da água pela falta de governança e conhecimento das características tanto físicas

quanto sociais da região; desta forma é fundamental que pesquisas acadêmicas sejam direcionadas para a Bacia Hidrográfica do Cauamé, visto que a mesma se encontra sobre pressão proporcionada tanto pelo crescimento urbano da cidade de Boa Vista, quanto pelo aumento da atividade agropecuária na maior parte da bacia, podendo ocasionar comprometimento da capacidade de suporte desta área.

Atualmente, a utilização de ferramentas de geoprocessamento nas pesquisas em conjunto com o levantamento da situação natural tem possibilitado um levantamento mais detalhado de suas fragilidades. Portanto, faz-se necessário um estudo na Bacia Hidrográfica do Cauamé que englobe as características intrínsecas da paisagem (solo, relevo, drenagem) e a ação antrópica (uso e ocupação do solo), proporcionando assim um melhor planejamento de uso e conservação das áreas ambientalmente frágeis.

Destacando a importância das bacias hidrográficas como unidade de estudo e abrangendo seus fatores de formação de paisagem de forma integrada, este trabalho tem como finalidade a construção do mapa vulnerabilidade à erosão do solo, importante instrumento para análise do grau de proteção do solo da Bacia Hidrográfica do Cauamé.

1.2 REFERENCIAL TEÓRICO

1.2.1 Estudo da paisagem e seus compartimentos

A paisagem pode ser interpretada como produto que deriva da combinação constante, portanto oscilante dos elementos do meio (biológicos e físicos) e antrópicos, que respondem dialogando uns com os outros, fazendo da paisagem um conjunto singular e indissociável, que se encontra em contínua evolução (BERTRAND, 1971).

Segundo Mendonça (1992), a paisagem é considerada um espaço físico decorrente de processos naturais, antrópicos e antroponaturais através do tempo. Portanto, pode ser entendida como tudo aquilo que é visível aos olhos, constituído por um grupo de elementos em uma porção qualquer do planeta.

Durante o início do século XIX, Humboldt (geógrafo, naturalista e explorador) concebeu o conceito de paisagem em um sentido natural e estético, motivado pela filosofia da natureza, conhecimento oriundo do simples ato de observação da natureza, permitindo descobri-la até a essência das coisas e possuía a necessidade de poetizar as ciências (GOMES, 2000). Para Humboldt a vegetação era considerada o dado mais significativo para caracterizar um aspecto espacial.

Outro estudioso dessa área foi La Blache, que com sua visão antropocêntrica realçou a separação entre os elementos físico-naturais e os elementos humano-sociais das paisagens ao

declarar o ser humano como agente central na conformação do planeta Terra (MENDONÇA, 1993).

Sotchava realizou estudos sistemáticos em 1960 com o intuito de aplica-los ao planejamento territorial, tendo como base a Teoria dos Sistemas e considerando a *landschaft*, paisagem, como um sistema conectado e organizado com influência socioeconômica. Para Rodriguez, Silva e Cavalcanti (2013), a paisagem é parte componente do geossistema, resultante das relações e integração dos elementos, relação homem-sociedade, biota-ambiente, dentre outras que compõem esse sistema.

Ainda no século XIX, Dokoutchaev ofereceu importante contribuição para a ciência da Paisagem. Ele denominou de complexo natural territorial, a interação de componentes bióticos e abióticos que se desenvolvem no interior de um complexo sistêmico (CAVALCANTI, 2006).

Segundo Moura e Simões (2010), com o passar do tempo o conceito de paisagem adquiriu vários significados, que percorreram do simples estudo dos componentes físicos que a integram à incorporação do homem como parte componente e transformadora da sua realidade.

Atualmente, no Brasil, destacam-se os trabalhos de Metzger, onde sugere “uma definição integradora de paisagem como sendo um mosaico heterogêneo formado por unidades interativas, sendo esta heterogeneidade existente para pelo menos um fator, segundo um observador e numa determinada escala de observação” (2001, p. 01).

Podemos observar a modificação do conceito de paisagem a partir das pesquisas desenvolvidas ao longo dos anos por parte dos estudiosos, com a incorporação e associação de elementos, formas de estudo e abrangência do tema.

De acordo com Martinelli e Pedrotti (2001), as unidades que compõem a paisagem podem ser entendidas como uma delimitação de conjuntos espaciais, que são agrupamentos de lugares reconhecidos por aglomerações de características, que seriam delineados com o auxílio de uma base topográfica. Já Beroutchachvilli e Bertrand (1978), entendem estas unidades como o resultado de um conjunto de fatores diversos, como a morfogênese do relevo, a trajetória geocológica, o clima em seu movimento, a dinâmica biológica e a participação da atividade humana durante sua evolução histórica.

Segundo Bolós (1992), com o conhecimento da conformação e funcionamento da paisagem, ou seja, sua fisiologia, consegue-se compreender e, até mesmo, quantificar a capacidade de suporte que a paisagem possui frente as atividades antrópicas e seus possíveis impactos ambientais.

O estudo da paisagem dividida por compartimentos tem demonstrado resultados positivos para análises de áreas; Calderano Filho et al. (2010) em uma delimitação de unidades

ambientais pôde observar a relação entre mudanças na paisagem realizadas pelo homem com a presença de vegetação original apenas em áreas de maior altitude. O mesmo autor relata que as atividades humanas degradam mais severamente os compartimentos mais delicados da paisagem. Farias e Silva (2015) em estudo de compartimentação da paisagem considera a importância dessa metodologia para o planejamento ambiental e a refere como uma das ferramentas mais eficazes para propor medidas de uso compatíveis com a capacidade dos recursos naturais encontrados na bacia.

1.2.2 Bacias hidrográficas

A Bacia hidrográfica define-se por ser uma área que é delimitada por um divisor de águas que drena a água de chuvas por meios como: ravinas, canais e tributários que desagüam em um curso d'água principal, e posteriormente diretamente no oceano ou num lago (ROCHA; KURTZ, 2001).

A bacia hidrográfica é o modelo de gestão utilizado atualmente pelos órgãos competentes, visando possibilitar um maior entendimento de todos os componentes (físicos, biológicos e antrópicos) que interferem significativamente nas características dos corpos hídricos.

A gestão das águas tendo como base o recorte da superfície nas bacias hidrográficas adquiriu força no começo da década de 90, período que os Princípios de Dublin foram estipulados em uma reunião que precedeu à Rio-92. Segundo o Princípio n.1 a gestão dos recursos hídricos, de forma palpável, deve ocorrer de maneira integrada considerando todos os aspectos, físicos, sociais e econômicos. Para que a integração seja feita satisfatoriamente, sugere-se que a gestão se mantenha voltada para bacias hidrográficas (INTERNATIONAL CONFERENCE ON WATER AND THE ENVIRONMENT, 1992).

Houveram registros de tentativas correlacionadas a tratados de uso já a partir do ano de 1616 no Rio Danúbio; o tratado Brasil-Peru referente á navegação do rio Amazonas datado em 1851 e do Brasil com a República das Províncias unidas do Rio da Prata em 1928 (GRANZIERA, 2001).

A partir da delimitação da bacia hidrográfica como unidade de gestão diversos trabalhos começaram a ser desenvolvidos para o aperfeiçoamento da gestão da água e levando em conta os diferentes elementos que integram a área da bacia. De acordo com Cotler e Priego (2004) as bacias hidrográficas possibilitam um enquadramento apropriado para a investigação dos processos ambientais e demandam uma exploração minuciosa que considere aspectos como solo, água e vegetação, sendo abordados mediante o uso de ferramentas e conceitos integrativos.

Nascimento (2013) ressalta que o delineamento das bacias como elementos de análise se justifica tanto pelo reconhecimento da relevância dos recursos hídricos, como também pela diversidade de variáveis a serem destacadas – vegetação, relevo, interferência humana, solo, dentre outras.

1.2.3 Áreas de preservação permanente – APPs e matas ciliares

As áreas de preservação permanente caracterizam-se por serem locais prioritários para conservação de recursos hídricos bem como suas áreas de recarga que seriam suas nascentes, margens de rios, reservatórios de água, lagos, topos de morro e áreas com altitude elevadas, e áreas muito íngremes (SPAROVEK, 2010).

Segundo Barbosa (2006) e Reichardt (1989) a importância das matas ciliares se destaca devido à sua regulação do fluxo hídrico, elas contêm a entrada de sedimentos e poluentes nos cursos d'água agindo como filtros naturais, também auxiliam na proteção do solo em regiões cuja topografia apresenta-se acidentada evitando processos erosivos.

As matas ciliares quando presentes também conseguem elevar a rugosidade da superfície da bacia hidrográfica e o tempo que a água permanece na superfície do solo, consequentemente aumentando a infiltração (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2005).

Podemos observar, portanto, a importância destas áreas de floresta natural continuarem sendo preservadas, Guimaraes (2008) por exemplo, reconhece que a remoção da vegetação desencadeia uma série de mudanças, como: rompimento do efeito estabilizador das florestas, exposição do terreno a novas condições; interrupções das funções exercidas pela cobertura vegetal (interceptação, retenção, evapotranspiração, etc.); remoção do horizonte húmico elevando desta forma o grau de saturação do maciço e com a deterioração das raízes reduzindo a resistência mecânica do solo.

1.2.4 Fatores condicionantes à erosão do solo

Durante o processo de erosão ocorrem a retirada de material particulado de um local, e o transporte e deposição de sedimentos em uma outra área. Guerra, Silva e Botelho (2005) apresentam o processo erosivo nas seguintes etapas: a partir da evolução da ação do *splash* ocorre a formação de poças, que desencadearão posteriormente o surgimento de microrravinas e ravinas, uma vez que a água iniciar o seu escoamento na superfície em lençol, passando para fluxos lineares. Após criadas as poças, a água passará a escoar na superfície em lençol, de maneira proporcional à inclinação do terreno, passando para fluxos lineares, que formaram as ravinas e microrravinas.

A erosão superficial pode ser dividida em fases por ordem cronológica: na erosão laminar ocorre a remoção de uma fina camada de solo de forma relativamente uniforme pela chuva e escorrência superficial generalizada e não canalizada. Neste tipo de processo erosivo geralmente não se observa traços visíveis e pode continuar esta ação durante anos, só sendo perceptível com o empobrecimento do solo ou com o assoreamento de áreas à jusante. As consequências desse tipo de erosão são mais vistas nas zonas rurais, pois além de carrear grande parte dos nutrientes, desestabiliza as plantações alcançando a cobertura de suas raízes (CARVALHO et. al, 2001).

Carvalho et. al (2001) cita também que a erosão em sulcos é um processo erosivo de incidência em campos inclinados, onde numerosos canais aleatórios se formam com poucos centímetros de profundidade, ocasiona-se principalmente em solos que foram recentemente cultivados.

O ravinamento equivale ao canal de escoamento pluvial concentrado, exibindo suas feições erosionais com traçado bem definido. Com o passar dos anos o canal se aprofunda devido à erosão das enxurradas podendo chegar até metros de profundidade (MAGALHÃES, 2001).

A voçoroca forma-se no desenvolvimento de canais nos quais o fluxo superficial é concentrado. Se estabelece devido à variação da resistência à erosão, que em geral resulta de pequenas mudanças na elevação ou declividade dos terrenos. Esse estágio é o mais avançado de erosão acelerada equivalendo à passagem gradual do processo de ravinamento, até atingir o lençol freático, com o aparecimento de surgências d'água (MAGALHÃES, 2001).

Para compreensão do processo erosivo, é necessário observar que de acordo com o tipo de solo há um certo índice de agregação entre suas partículas. A erosão ocorre quando o potencial de carreamento da água e/ou do vento extrapola o limite de agregação das partículas de solo, soltando-as umas das outras e permitindo que possam então ser deslocadas. Sendo assim, a erodibilidade dos solos depende, em sua maior parte, de suas características, tais como teor de matéria orgânica, porosidade e estabilidade de agregados, teor de areia, silte e argila, densidade aparente, entre outras (GUERRA & CUNHA, 1996).

Cavalheiro et al. (2002), utilizaram a sobreposição manual de informações do meio físico para investigar a potencialidade ao desenvolvimento de processos erosivos e definir compartimentos fisiográficos determinados pelo grau de degradação do terreno.

Como outros exemplos, pode-se citar Hiruma e Ponçano (1994), os quais determinaram o quadro erosivo de uma região situada a montante do Rio Pardo (SP e MG) pela correlação qualitativa da densidade de drenagem, mediante interpretação visual de fotografias aéreas; e

Crepani e Medeiros (1998), que aplicaram metodologias tradicionais para interpretar visualmente imagens de satélite e técnicas automáticas de álgebras de mapas para indicar áreas suscetíveis a processos de deslizamento e de erosão em Caraguatatuba - SP.

Valle et al. (2016), pôde concluir em seu estudo que a maioria dos processos erosivos aparentes observados foi registrada em encostas de alta declividade e solo pouco desenvolvidos (Neossolos), os quais combinados com a forte intensidade das chuvas determinam as maiores manchas de fragilidade do solo, confirmando a alta susceptibilidade do ambiente natural e a pouca estabilidade das vertentes ante a morfodinâmica da área analisada.

São variados os fatores que influenciam a fragilidade á erosão do solo, geralmente estes fatores são elementos da paisagem (físicos e químicos) incluindo-se também a ação do homem que atua no uso e ocupação do solo atuando diretamente no agravamento destes processos.

De acordo com Lepsch (2003), a fragilidade dos solos encontra-se intimamente relacionada também a fatores como fertilidade, capacidade de retenção de água no solo, profundidade efetiva, permeabilidade e drenagem interna, e motomecanização.

Observa-se que estes fatores, que se relacionam diretamente, devem ser estudados devido às suas características peculiares que o poder de determinar a existência de áreas com solo muito fragilizado em uma bacia.

1.2.4.1 Vegetação

A cobertura vegetal pode ser considerada um dos fatores mais relevantes no equilíbrio da paisagem relacionado aos processos geomorfológicos. Nesta perspectiva, Abdon (2004) explicita que o tipo de cobertura vegetal, ao mesmo tempo que protege o solo reduzindo o impacto das chuvas sobre ele e afetando no escoamento superficial, afeta o cálculo da erodibilidade do solo e, por consequência, a estimativa de perda de solo.

Em bacias que são cobertas por floresta natural a vegetação naturalmente fornece a defesa contra a erosão do solo, a lixiviação excessiva dos nutrientes e a sedimentação (SOPPER, 1975), tornando essas áreas muito importantes para manutenção do abastecimento de água com uma boa qualidade.

Os tipos de vegetação e sua conservação são fatores que influenciam na determinação de áreas frágeis a erosão, como exemplo uma área de vegetação mais densa como uma floresta pode dispersar e diminuir o impacto da erosão hídrica de mais eficientemente que uma área de lavrado com vegetação mais esparsa.

As regiões de matas são locais com maior cobertura e estabilidade, que possuem maior capacidade de infiltração e armazenamento de água no solo somando, assim, o tempo que a

água percorre até o leito do manancial. Como consequência, as áreas com essas ocupações tendem a diminuir o escoamento superficial, efeito este já visualizado por Silva et al. (2005), ao confirmar que a cobertura completa do solo impede a desagregação gerada pelo impacto das gotas de chuva e a criação do selamento superficial facilitando, conseqüentemente, a infiltração da água no solo e a diminuição do escoamento superficial.

Segundo Gomes et al. (2007), provavelmente a dinâmica de uso e ocupação do solo influencie na variação de alguns atributos físicos do solo, em especial, daqueles que sofrem intervenção por meio do manejo, como a densidade e matéria orgânica; nessas áreas a modificação dos atributos físicos é caracterizada, sobretudo pela atenuação da capacidade de infiltração e armazenamento de água possibilitando o aumento do escoamento superficial e restringindo a contribuição para o escoamento subterrâneo, fator importante na disponibilidade de água na época seca.

1.2.4.2 Uso do solo

O uso do solo institui qualquer forma de ocupação do solo, podendo ocorrer tanto pela existência de cobertura vegetal natural, quanto pelas diversas atividades humanas como: atividades agropecuárias, mineradoras, industriais e extrativistas ou áreas urbanas (CHEPAK, 2008).

As taxas de erosão encontram-se diretamente interligadas com os diversos usos do solo. Em pesquisa desenvolvida por Lepsch (1977), regiões de mata obtiveram uma perda de solo de 4Kg/ha/ano; locais de pastagens 700Kg/ha/ano; áreas de cafezal de 1.000Kg/ha/ano; e áreas cultivadas por algodão de 38.000Kg/ha/ano.

Hermuche, Guimarães e Castro (2009), que realizaram estudos sobre o uso e aptidão agrícola das terras a partir da análise dos compartimentos morfopedológicos no município de Jataí/GO, verificaram problemas ambientais como processos erosivos e arenização oriundos do uso intensivo, manejo inadequado e discrepância entre aptidão e uso do solo.

Alves (2012), em estudo que realizou a análise da evolução do uso da terra em conjunto com as análises de fertilidade, da textura e dos mapas de solos; teve conclusões que áreas mais frágeis com manejo inadequado do solo causam degradações que geram problemas de fertilidade, erosão e restrição ao desenvolvimento vegetal. O mesmo autor verificou também que em um mesmo tipo de solo com diferentes formas de uso (pastagem degradada e Cerradão), apresenta valores de porosidade diferentes. Outro fator confirmado pelo estudo foi que o local de fragilidade mais acentuada se deu em locais que combinam solo descoberto e declividade acentuada.

1.2.4.3 Solos

As variações de classes de solos conforme suas diferentes características físicas, químicas e biológicas são afetadas de forma distinta pela erosão, seja ela natural ou antropogênica.

Silva (2009) em seus estudos concluiu que os solos mais escuros costumam ter uma menor susceptibilidade à erosão, devido a maior presença de matéria orgânica na sua composição, o que confere maior estabilidade aos agregados do solo. O solo que apresenta suas cores amareladas ou brunadas possui correlações mais amplas e se referem ao teor de umidade do solo e o desenvolvimento da vegetação. Nos solos, quando há pouca umidade ocorre a inibição do crescimento da cobertura vegetal, incrementando, desta maneira, o risco à erosão e consequentemente a movimentos de massa. Em locais onde as vertentes recebem maior insolação apresentam menos umidade, são áreas de solos mais claros, mais rasos e vegetação de menor porte e mais espaçada, portanto, de maior incidência de processos erosivos e movimentos de massa do que as vertentes que se encontram mais protegidas da luz do sol.

Outros autores como Nobrega e Cunha (2011), verificaram que os Neossolos Quartzarênicos, quando presentes na parte baixa da cabeceira de drenagem, se constituem por grãos de areia simples e não apresentam coesão, sendo, portanto, facilmente mobilizados pelos fluxos hídricos superficiais e subsuperficiais, o que resulta em alta suscetibilidade à erosão. Ao contrário, os Latossolos, mesmo os de textura média já apresentam certo grau de coesão exercido pela fração argila presente. A estrutura pedológica é mais estável e se o solo apresentar uma cobertura vegetal adequada opõe uma resistência maior à erosão.

1.2.4.4 Relevô

De maneira geral, a inclinação do terreno interfere na intensidade do processo erosivo, pois quanto maior a angulosidade da vertente, irá aumentar a energia cinética da água que esco superficialmente, e diminuir a infiltração de água no solo, resultando em escoamento superficial. Com o escoamento superficial partículas de solo e nutrientes são carregadas pela água. Assim, os nutrientes que se encontram presentes nas camadas superiores do solo acabam sendo perdidos facilmente por erosão. Por fim, os nitratos se conectam à água do escoamento superficial por serem altamente solúveis e os fosfatos se ligam às finas partículas do solo, sendo transportado juntamente aos sólidos arrastados. Sendo assim, sabe-se que o material erodido é mais abundante em nutrientes que o solo que sofreu erosão. (GUERRA, SILVA e BOTELHO, 2005).

1.2.4.5 Precipitação

O potencial da chuva de gerar erosão no solo (erosividade da chuva) vai decorrer de várias das suas características, mas, sobretudo, da intensidade, duração e probabilidade de ocorrência ou período de retorno da chuva. Na intensidade da chuva, por exemplo, o potencial de erosão resulta da razão entre quantidade e duração da mesma, enquanto esta última é a que vai determinar a quantidade total de chuva. (VOLK, 2006).

A energia com que as gotas atinge o solo é responsável pela fragmentação da maior parte do material que será carregado pelo escoamento superficial. Esse escoamento começa quando a intensidade da chuva excede a taxa de infiltração instantânea do solo. O efeito do escoamento superficial na erosão pluvial também vai ser influenciado pela velocidade da água, que aumenta com o grau de declive e com a quantidade de escoamento (MEYER e MONKE, 1965 *apud* NUNES, 2006).

1.2.5 Uso de geotecnologias em bacias hidrográficas

O termo geoprocessamento segundo Rosa e Brito (1996) refere-se a um conjunto de tecnologias que se destina ao recolhimento e tratamento de dados relativos a informações espaciais, bem como o desenvolvimento de novos mecanismos e aplicações, com variados níveis de sofisticação.

De acordo com Novo (1992) o sensoriamento remoto compreende a interpretação de imagens de satélite adquiridas por sensores (satélites, radares, fotografias aéreas, etc.). Estas imagens ajudam na observação de distintas variáveis podendo ser empregadas para a análise ambiental de uma área.

O Sistema de Informação Geográfica (SIG), por sua vez, podem ser explicados como sistemas de informações produzidos especialmente para armazenar, analisar e manipular dados geográficos. O SIG pode ser aproveitado em diversas áreas. Exemplos são seu uso no controle de epidemias e planejamento urbano, melhoramento de tráfego, controle cadastral, gerência de serviços de utilidade pública, demografia, cartografia, administração de recursos naturais, monitoramento costeiro (CÂMARA et al., 1996).

Para validar empiricamente estudos espaciais são utilizados os métodos multicritérios. A literatura referente ao tema, quando consultada, observa-se que diferentes categorias recebem pesos e são associadas para verificação da susceptibilidade à erosão com base em um mapeamento resultante (WISCHMEIER; SMITH, 1978; DIAS et al., 2003).

A análise multicritério entende-se como uma ferramenta matemática que possibilita combinar diferentes alternativas e/ou cenários com base em variados critérios (ROY, 1996). Segundo Malczewski (2004), as interações entre a análise de multicritério e os SIG englobam a utilização de dados geográficos seguindo regras específicas usadas pelos gestores no processo de tomada de decisão.

Segundo Silva, Pontes e Cabral (2016), o emprego de geotecnologias na produção de documentos cartográficos que se destinam a pesquisa e a gestão do ambiente torna-se mais comum com o passar do tempo, isso se dá devido o maior acesso a esses recursos (técnicas), e suas características funcionais e multidisciplinares.

Em estudos que verificaram a eficiência das geotecnologias para atuação em monitoramento e gestão das bacias hidrográficas, Campos et al. (2004) aplicaram o Sensoriamento Remoto e SIG na pesquisa do uso da terra nas microbacias hidrográficas de Botucatu/SP, o qual conseguiu resultados de que o uso da terra nas áreas estudadas, revelaram que grande parte dessa encontra-se ocupada por cobertura.

Tancredi e Borges (2009) utilizaram as geotecnologias em estudo de análise ambiental das bacias hidrográficas dos rios Igarapé, Juruti Grande e Rio Aruã, todas localizadas na região de Juruti, no estado do Pará. Durante o estudo puderam constatar cerca de 350 km de estradas que se encontram dentro das áreas das bacias, nestes locais também se notou um decréscimo da área florestal num percentual de 1,65%, entre os anos de 1997 e 2001.

Almeida et al. (2009) implementaram o mapeamento da cobertura do solo como parte de um trabalho que realiza a composição de uma carta geotécnica de susceptibilidade à erosão em uma área circunvizinha de uma usina hidrelétrica.

1.2.6 Classificação supervisionada

A classificação supervisionada é realizada por um analista, onde é disponibilizado ao programa um conjunto de amostras de treinamento para cada classe que deve ser distinguida na imagem. Estas amostras de treinamentos fornecidas são polígonos da imagem que refletem melhor as classes escolhidas. Elas devem ser definidas pelo analista que, no que lhe concerne, deve dispor de conhecimento prévio das classes e da área de estudo (RICHARDS, 1986; NOVO, 1992). De acordo com Noguchi (2004), para que a classificação tenha êxito é de fundamental importância que haja uma boa seleção das amostras de treinamento. As amostras, por sua vez, devem ser homogêneas e representar toda a variação possível dentro da classe. Ademais, para que a estimativa das características espectrais da classe de interesse seja feita corretamente, o campo amostral precisa ser grande o bastante.

1.2.7 Inferência fuzzy ou nebulosa

Com a proposição de tratar com conceitos inexatos e a preocupação no tocante aos modelos matemáticos tradicionais que apresentavam acelerada diminuição da qualidade da informação conforme aumentava a complexidade do sistema, Zadeh (1965) estabeleceu a inferência *fuzzy*, também denominada de nebulosa (CÂMARA et al., 2001; MOREIRA, 2001).

Diante desse entendimento, a inferência nebulosa é conhecida por ser uma metodologia de caracterização de classes, de forma que não são definidos limites rígidos (bordas) entre as classes (BURROUGH; MCDONNELL, 1998 apud CÂMARA et al., 2001), havendo uma faixa gradual entre as situações favoráveis e não favoráveis. Já no caso da inferência booleana, esta é representada apenas por duas classes: verdadeiro e falso ou favorável e não favorável.

Moreira (2001) utilizou e avaliou o desempenho de oito diferentes metodologias de análise espacial – inferência booleana, média ponderada, inferência fuzzy (mínimo-máximo, média, ponderado e gama), bayesiana e redes neurais artificiais – tendo como objetivo a seleção de áreas com maior propensão à ocorrência de minerais radioativos no complexo alcalino de Poços de Caldas-MG. Como conclusão, percebeu que a representação gerada por intermédio do fuzzy ponderado (técnica AHP) demonstrou melhor desempenho quando comparada às demais.

Segundo Meirelles et al. (2007) essa técnica possibilita flexibilizar a importância dos dados por regiões. Os conjuntos fuzzy designados a partir de uma função de pertinência devem assegurar que o valor do membro no centro do conjunto é “1”, e que este decai de maneira lógica por meio da fronteira fuzzy (zona de transição) para as regiões que estão fora do conjunto onde o valor deve ser “0”.

1.2.8 Método AHP

Mesmo com uma vasta opção de técnicas existentes, Eastman et al. (1995) indicam a técnica AHP como a mais promissora nos processos decisórios, tornando possível estabelecer e organizar um modelo racional de integração de dados.

Notadamente sobre a técnica AHP, Melo et al. (2010) a aplicaram para determinar níveis de vulnerabilidade natural e ambiental (baixo, médio e alto) na zona estuarina do rio Formoso-PE e constataram que a metodologia demonstrou ser eficiente no âmbito dos conceitos, das ferramentas e da aplicabilidade.

Pinese Júnior e Rodrigues (2012) também empregaram o Processo Analítico Hierárquico no auxílio da determinação da vulnerabilidade ambiental da bacia hidrográfica do

rio Piedade-MG e salientaram sua relevância em cartografar áreas de forma classificada: fracamente vulnerável, levemente vulnerável, moderadamente vulnerável, fortemente vulnerável e extremamente vulnerável. Os autores ainda confirmaram a importância do gestor e sua capacidade intelectual de análise (usuário) na obtenção de um modelo adequado à realidade estudada.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Analisar o grau de proteção do solo da região da bacia hidrográfica do Cauamé a partir dos elementos formadores de paisagem (vegetação, solos, declividade, geologia, relevo, cobertura da terra e geomorfologia).

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ✓ Elaborar mapas temáticos referentes aos principais elementos da paisagem;
- ✓ Definir as classes de fragilidade á erosão e;
- ✓ Estabelecer as ações mitigadoras para as classes mais frágeis á erosão.

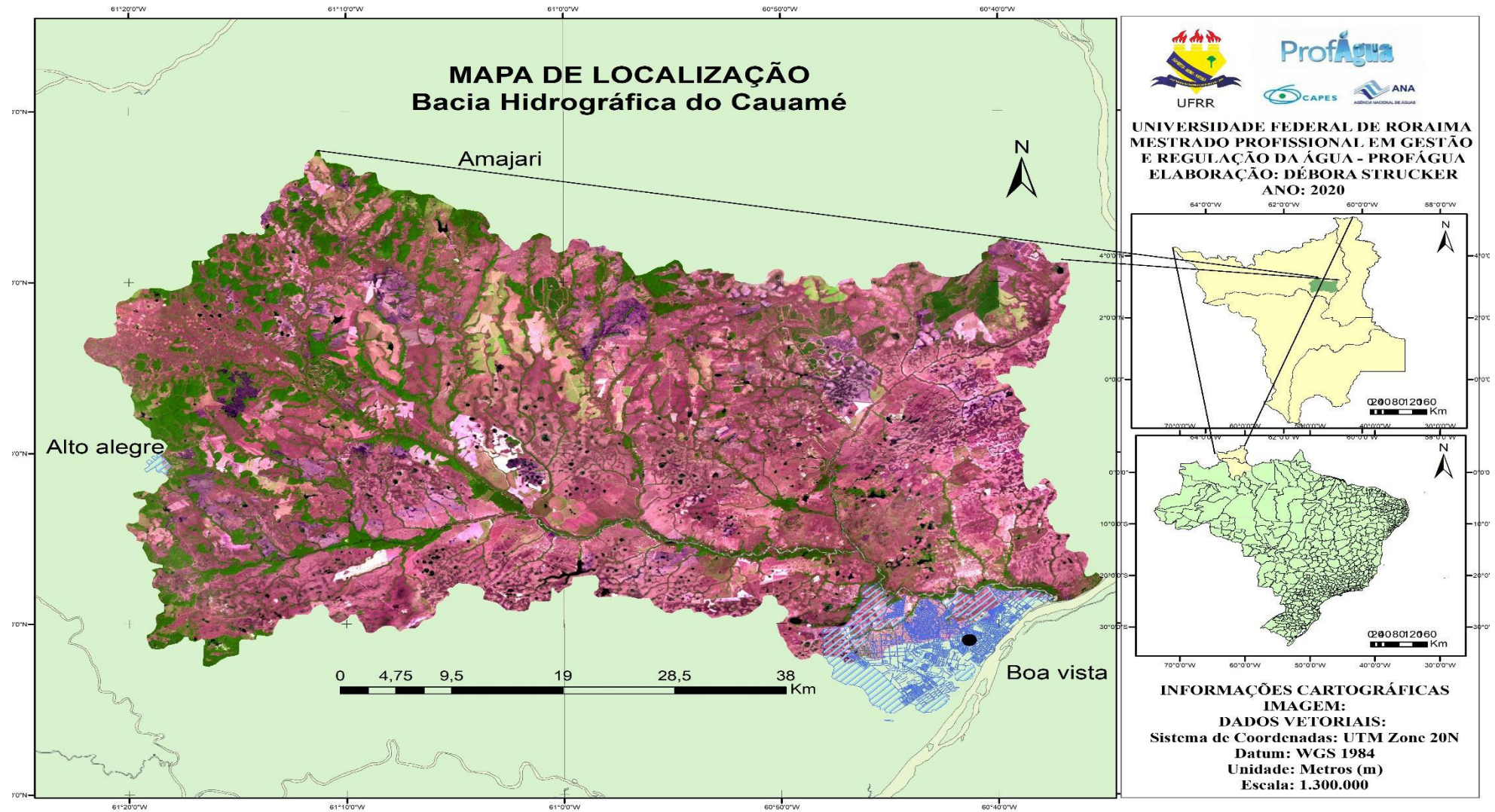
3 ASPECTOS FISIAGRÁFICOS

3.1 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A Bacia Hidrográfica do Cauamé está situada na porção nordeste do estado de Roraima entre as coordenadas UTM: 680.000-767.000 e 309.000-364.000, abrangendo os municípios de Boa Vista e Alto Alegre (Figura 1), tendo como rio principal estendendo-se na borda da cidade o Rio Cauamé.

De acordo com Reis Neto (2007), o acesso á Bacia do Cauamé se dá seguindo o rumo Norte pela rodovia Br-174 (Manaus-Venezuela), até o quilômetro 18 da rodovia desviando-se em seguida na direção leste para RR 319, que leva ao Projeto Passarão. Avançando pela Br-174 até a extensão do quilômetro 35, segue-se para direção oeste, através da rodovia sem pavimentação, RR 342 (estrada do Taiano), contendo 67 km que leva às serras do Taiano e Tabaio, divisores topográficos entre as Bacias do Cauamé e do Uraricoera. Partindo de Boa Vista no sentido oeste, transita-se 55 km pela rodovia RR-205 (Boa Vista - Alto Alegre), e a partir deste ponto desloca-se para direção norte, por uma rodovia sem asfalto RR- 343 e RR-403, até chegar à vila do Taiano.

Figura 1 – Mapa do Brasil com destaque para o estado de Roraima, em seguida, o destaque em primeiro plano da Bacia do Rio Cauamé



Elaboração: Autora (2020)

De acordo com Reis Neto (2007), a bacia apresenta uma área total de 3.190km², contendo 1.942 canais, e o rio Cauamé (Figura 2) com 120 km de comprimento. O autor classifica a Bacia do Cauamé como uma grande bacia hidrográfica, de acordo com a classificação proposta por Rocha (1997), que considera “grande” uma bacia com dimensão areal superior a 1000 km².

Figura 2 – Rio Cauamé no Contorno Oeste (A), margem direita do rio próximo á Br-174 (B e C)



Fonte: Autora (2019)

3.2 CARACTERÍSTICAS FISIAGRÁFICAS

3.2.1 Geologia

Segundo Reis Neto (2007), a abordagem geológica da Bacia do Cauamé se baseou em trabalhos de Brasil (1999), sendo observadas as seguintes unidades geológicas:

- I- Formação Boa Vista: Caracterizada por uma superfície de aplainamento que recobre rochas pré-cambrianas e fanerozóicas, sobre a qual estão estabelecidos delgados depósitos de areias inconsolidadas com elevado grau de selecionamento e livre de impurezas (COSTA; FALCÃO, 2011.).
- II- Grupo Cauarané: Neste grupo são encontrados os seguintes grupos rochosos: I: Intercalações de talco-clorita-tremolita xistos, clorita actinolita xistos, anfíbolitos,

- metacherts ferríferos, gonditos e rochas calcissilicáticas, com subordinados paragnáisses; II: Paragnáisses com subordinadas intercalações de rochas calcissilicáticas, xistos e anfibolitos; e III: Gnaisses kinzigíticos (BRASIL, 1999).
- III- Complexo Vulcânico Apoteri: Estende-se na região do conjunto de serras Nova Olinda, na forma de derrames vulcânicos, delineando morros isolados que corresponde em parte, ao extremo sudoeste do hemigráben do Tacutu. Os basaltos dessa unidade são melanocráticos, geralmente preto-esverdeados ou marrom-escuros, com fraturas planas e subconchodais e textura microcristalina a afanítica. Podem ser compactos ou amigdalóides, exibem ocasionalmente finas fraturas preenchidas por carbonatos, quartzo e minerais verdes.
- IV- Grupo Surumu: Brasil (1975) salienta que a Formação Surumu 1.850 Ma, se constitui de portufos e lavas de composição riódacítica ou andesítica e, mais raramente, riolítica, enquanto Brasil (1999), destaca que esta unidade é caracterizada por um conjunto de rochas miloníticas de composição intermediária a ácida, resultante de processos deformacionais em ambiente dúctil-rúptil.
- V- Suíte Metamórfica Rio Urubu: De acordo com Brasil (1999), este grupo compreende os ortognaisses aflorantes na região do mencionado rio, correspondendo a um conjunto de biotita gnaisses e biotita-horblenda gnaisses, incluindo subordinadas lentes deperstênio gnaisses e leucognaisses com idade de 1966 ± 37 Ma.

3.2.2 Geomorfologia e rede de drenagem

Os compartimentos de relevos da Bacia Hidrográfica do rio Cauamé são representados por extensas áreas de planícies que fazem parte do Pediplano Rio Branco Rio Negro, que por vezes são interrompidas por relevos residuais (inselbergs), a exemplo da serra Nova Olinda (Figura 3). Também se observam nessas vastas planícies, as áreas abaciadas, com presença de lagoas perenes e em maior número as lagoas temporárias que ocupam essas áreas depressionárias da paisagem.

Nestas vastas planícies, ocorre a presença igarapés perenes e intermitentes, marcados por alinhamento de veredas de buritis, o que proporciona uma beleza cênica a paisagem. Os rios Murupú, Au- Au e Caranã (afluentes da margem direita) são corpos d'água de destaque entre os afluentes do rio Cauamé, nestas áreas ocorrem também sistemas de buritizais agrupados, porém, somente nos terraços da planície aluvionar do Cauamé.

Figura 3 - Área de planície (A), relevos residuais (Serra Nova Olinda) (B), e veredas de buritis na Bacia do Cauamé (C)



Fonte: Autora (2019)

3.2.3 Solos

De acordo com Reis Neto (2007), os solos da bacia são representados por Latossolos amarelos, Latossolos Vermelho-Amarelo, Argissolos Vermelho-Amarelo, que ocorrem em ambientes mais elevados; já os solos Neossolos Quartzarênicos e Neossolos Flúvicos (Figura 4) se encontram em áreas abaciadas. Em áreas de Inselbergs e remanescentes residuais os solos prevalentes são os Cambissolos e Neossolos Litólicos.

Figura 4 – Solos e rocha (E) na região da Bacia do Cauamé: Plintossolo (A), Neossolo flúvico (B), Latossolo amarelo (C), Neossolo Litólico (D), Petroplintita (E), Neossolo quartzarênico (F)



Fonte: Autora (2019)

3.2.4 Vegetação

A vegetação prevalecente na área da Bacia do Cauamé é a Savana, conhecida regionalmente de lavrado, esta cobertura vegetal é constituída por uma camada de gramíneas e ciperáceas (Figura 5) em algumas áreas amplamente abertas, em outras elas encontram-se intercaladas por vegetação arbustiva, como o caimbé (*Curatella americana*) e murici (*Byrsonima spp*) e árvores como sucububa (*Himatanthus articulatus*) e sucupira do campo ou paricarana (*Bowdichia virgilioides*) (OLIVEIRA, 2011). Além destas, a vegetação do lavrado é formada por complexo conjunto de ilhas de matas diversamente distribuídas por formações de buritizais lineares ou agrupados. Os buritizais (*Mauritia flexuosa*) presentes nesta região se arranjam de duas maneiras, a primeira, são os que se localizam ao longo dos igarapés que drenam o lavrado, os quais são interconectados com os principais rios por uma mata de galeria, e a segunda formação de buritizal, é associada aos paleocanais (terraços) de alguns rios como o Cauamé, Uraricoera e Branco, dispostos em agrupamento (CARVALHO; CARVALHO, 2012).

Figura 5 – Representação da savana: Gramíneas na região de lavrado (A) e vegetação mais arbustiva (B)

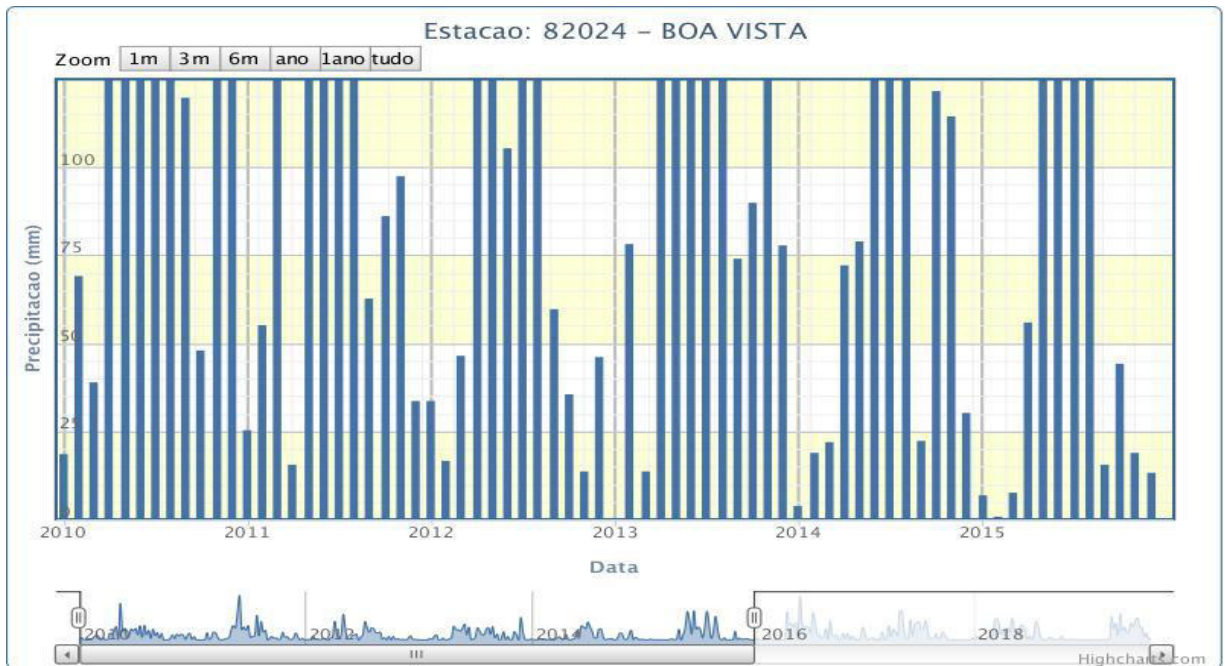


Fonte: Autora (2019)

3.2.5 Clima

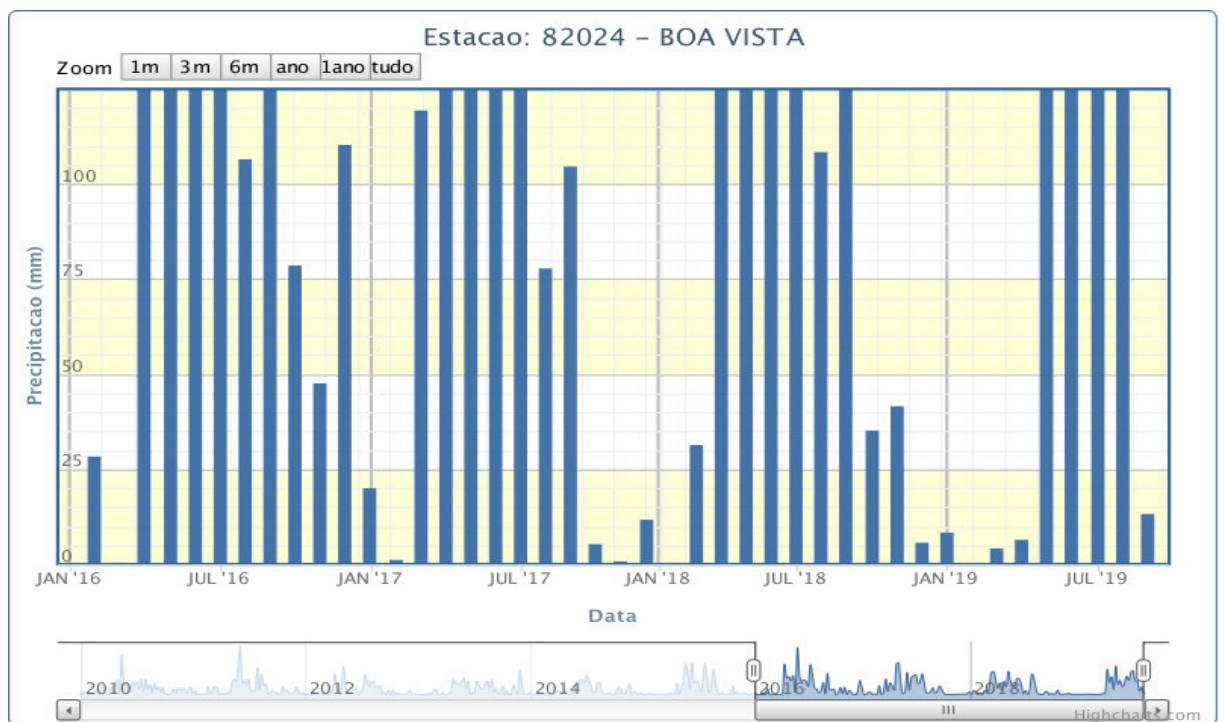
Segundo a classificação de Köppen, o clima predominante na região é do tipo tropical úmido, tipo AM (BRASIL, 1975). Ainda, conforme os gráficos (Figura 6 e 7) pode-se observar a distribuição de chuvas na capital no período citado. E, de acordo com os gráficos das Figuras 8 e 9, é possível verificar as temperaturas máxima e mínima das décadas 1961-1990 e 1981-2010.

Figura 6 - Gráfico de precipitação estação 82024 Boa Vista/RR anos de 2010 a 2015



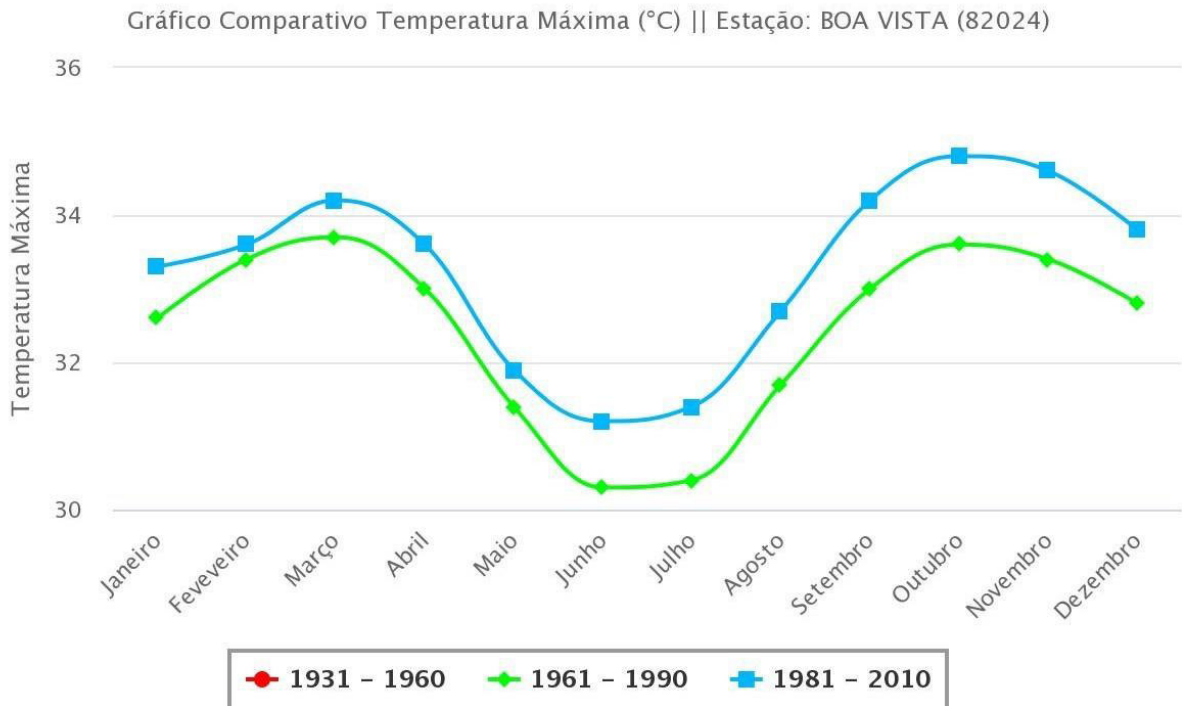
Fonte: INMET (2019)

Figura 7 - Gráfico de precipitação estação 82024 Boa Vista/RR anos de 2015 a 2019



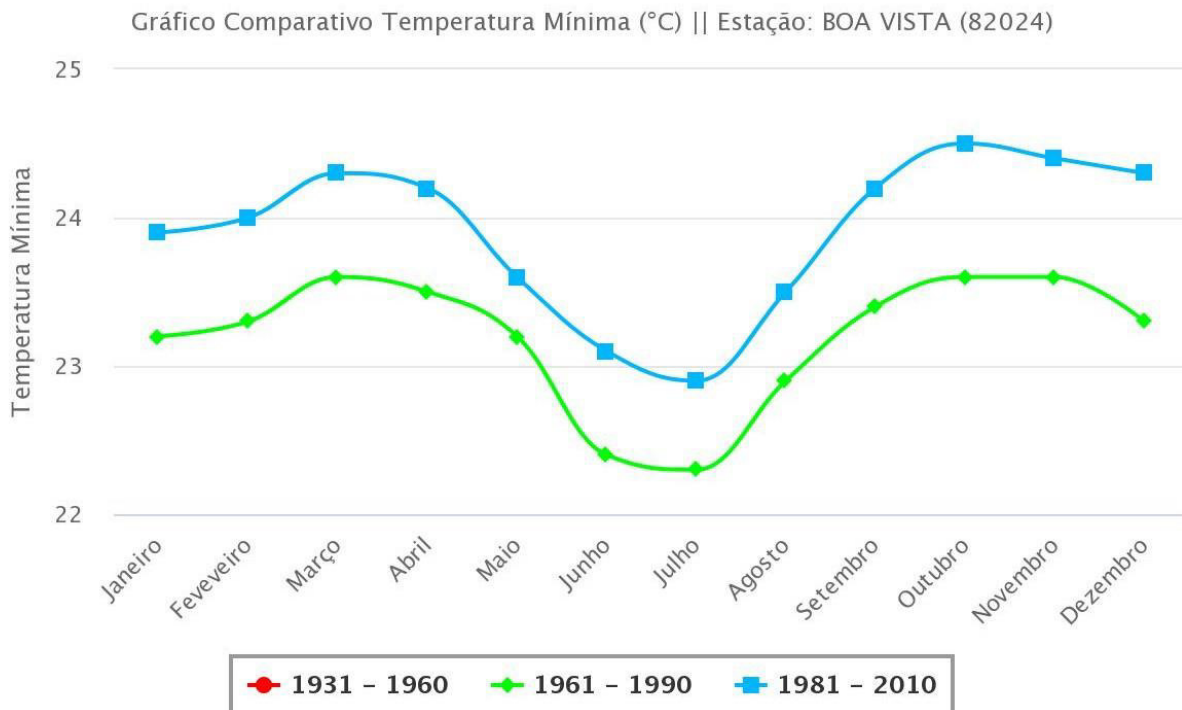
Fonte: INMET (2019)

Figura 8 - Gráfico de temperatura máxima estação 82024 Boa Vista/RR anos de 1961 a 2010



Fonte: INMET (2020)

Figura 9 - Gráfico de temperatura mínima estação 82024 Boa Vista/RR anos de 1961 a 2010



Fonte: INMET (2020)

4. MATERIAIS E MÉTODOS

O uso desta metodologia é de grande importância para estudar como toda a paisagem da região de uma bacia. Para a realização desta pesquisa utilizou-se de materiais e métodos de acordo com a necessidade a seguir descritos.

4.1 MATERIAIS

Na obtenção dos resultados foram realizados levantamento bibliográfico, confecção de mapas temáticos, atividades de campo (fotografia da paisagem da área e estudo) e de laboratório.

4.1.1 Bibliográfico, cartográfico e de sensores remotos

O levantamento bibliográfico foi realizado mediante a interpretação de dados bibliográficos (livros, dissertações, teses, artigos científicos, de periódicos e revistas eletrônicas de sítios nacionais e internacionais e publicações em congressos e simpósios) acerca dos conceitos/metodologias que norteiam a pesquisa como: conceitos de paisagem, estudos em bacias hidrográficas, geotecnologias e erosão do solo.

Os dados cartográficos: Cartas plani-altimétricas foram utilizadas, constituindo a base no Sistema de Informações geográficas, cujas características principais estão relacionadas na (Quadro 1).

Quadro 1 – Dados cartográficos

Título	Escala	Referência
Mapa Geomorfológico do Estado de Roraima, Folhas NB. 20 NA. 20	1:1.000.000	RADAMBRASIL, 1975
Mapa Geomorfológico do Estado de Roraima	1:250.000	IBGE, 2005
Carta Topográfica de Boa Vista, Folhas NA. 20-X-D e NA. 21-V-C	1:250.000	Exército Brasileiro, 1981

Fonte: Autora (2019)

As cartas topográficas foram utilizadas, principalmente, no sentido de obter os valores das altitudes das formas de relevo, enquanto que o mapa geomorfológico auxiliou como base para o conhecimento das unidades de relevo.

Os dados de sensoriamento remoto simbolizam as imagens ópticas do satélite Landsat-5/TM (*Thematic Mapper*) e aos dados altimétricos SRTM (*Shuttle Radar Topographic*

Mission). Todos foram adquiridos sem custos, por meio dos endereços eletrônicos: www.dgi.inpe.br e <http://earthexplorer.usgs.gov/>, respectivamente.

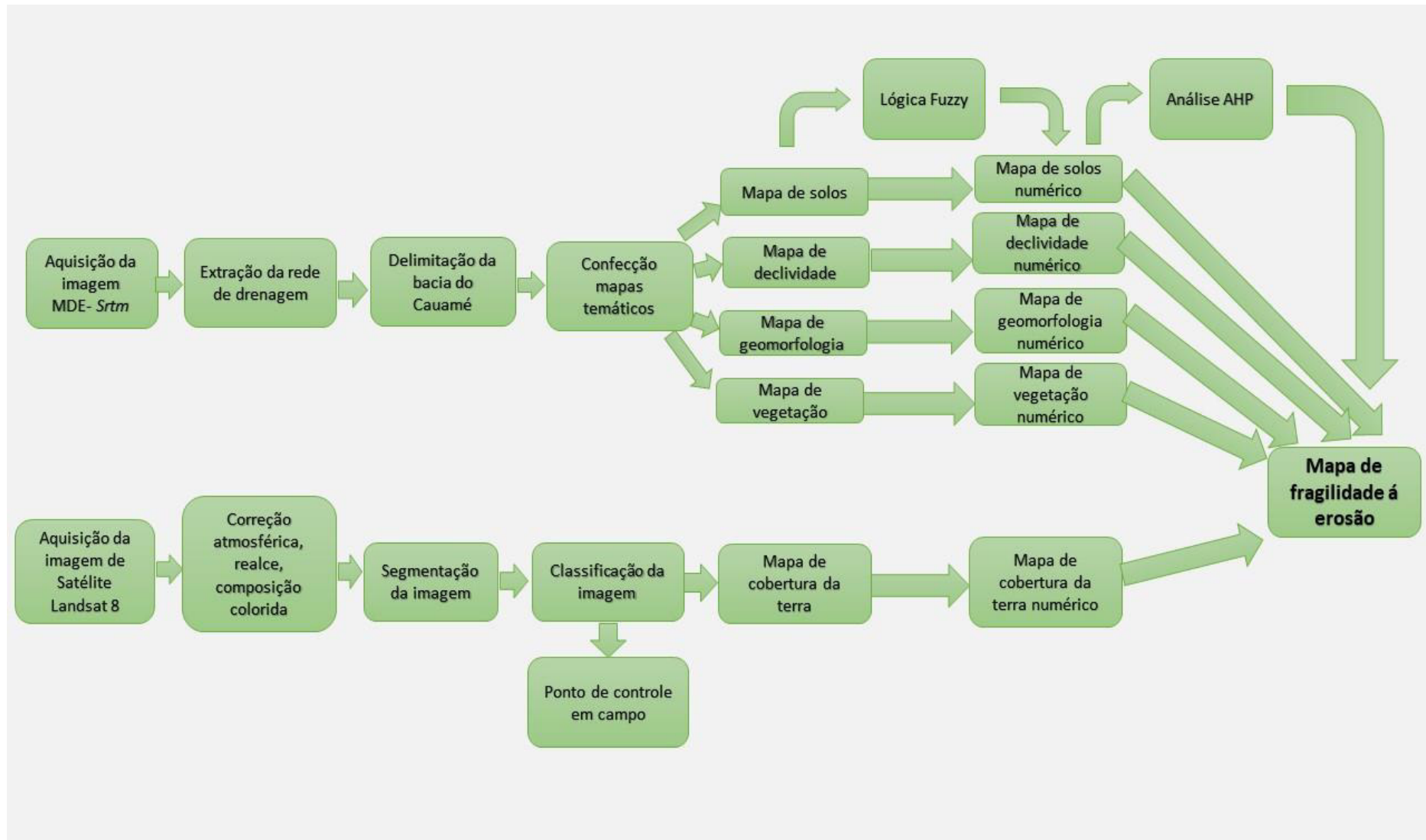
4.1.2 Aplicativos computacionais (Softwares empregados)

- a) ARCGIS - para vetorização e edição dos mapas temáticos;
- b) GOOGLE EARTH – para verificação dos pontos de controle de campo;
- c) SPRING – utilização do programa LEGAL para álgebra de mapas.

4.2 PROCEDIMENTO METODOLÓGICO

A metodologia realizada neste trabalho figura de acordo com a Figura 10, onde primeiramente foi realizada a extração da rede de drenagem para proceder a delimitação da bacia, em seguida foram confeccionados os mapas temáticos (vegetação, declividade, solos e compartimentação geomorfológica) e o mapa de cobertura da terra e com a integração destes dados por meio da lógica Fuzzy resultou no mapa de fragilidade á erosão do solo.

Figura 10 - Fluxograma dos procedimentos metodológicos



Elaboração: Autora (2020)

4.2.1 Extração da rede de drenagem

Foram utilizadas imagens MDE -SRTM, que foram processadas no software ArcGis 10.5. No software ArcGis 10.5 foram utilizadas na caixa de ferramentas Hydrology, dentro do menu Spatial Analyst – Hydrology, primeiramente a ferramenta Flow Direction, que cria um raster contendo a direção do fluxo de cada célula. Em seguida utilizou-se a ferramenta Sink, a mesma gera um raster identificando vazios e possíveis imperfeições no raster de superfície. O próximo passo foi o uso da ferramenta Fill, executada diretamente no DEM para correção da imagem, e esta imagem gerada pela ferramenta Fill é que foi utilizada para os próximos passos. Com a imagem gerada foi executada novamente a ferramenta Flow direction, que após o término apresentou na tabela de valores a numeração correta de 1 a 128. A ferramenta seguinte usada foi a Flow Accumulation (fluxo acumulado), após este passo já foi possível visualizar os locais onde ocorre fluxo de água acumulado. Por último a ferramenta Stream to feature converteu a drenagem criada de raster para shapefile finalizando os processos.

4.2.2 Delimitação da bacia

Para a delimitação da bacia foi empregado o software ArcGis 10.5, onde a partir da rede de drenagem obtida anteriormente foi selecionado o curso d'água principal para o estudo. Foi criado então um novo arquivo shapefile a partir do menu Catalog do software ArcGis 10.5, onde foi selecionada a categoria de polígono e determinado o sistema de coordenadas. Na ferramenta Create features foi delimitado o limite da bacia manualmente por meio do contorno entre os interflúvios até a finalização do polígono com a chegada ao ponto inicial.

4.2.3 Confeção de mapas temáticos (solos, vegetação, declividade e compartimentação geomorfológica)

4.2.3.1 Mapa de solos

Para elaboração do mapa de solos foi realizado o recorte do mapa de solos do Sistema Estadual de Recursos Hídricos do Governo do estado de Roraima (2007) e a caracterização dos tipos de solos presentes na bacia por cores utilizando o software ArcGis 10.1.

4.2.3.2 Mapa de compartimentação geomorfológica

Confeccionado a partir da análise de morfoestruturas de relevo definidas com auxílio do mapa hipsométrico, de declividade e de lineamentos estruturais; integrado com a análise das feições morfoestruturais adquiridas em campo.

4.2.3.3 Mapa de altimetria e declividade

A partir da geração de imagem dos dados STM foram definidas as classes altimétricas e de declividade por meio de operações de interpolação.

Na confecção do mapa foi utilizada a extensão Slope do software ArcGis 10.5. Com esta ferramenta se consegue selecionar os intervalos de declividade (%) ou a inclinação da encosta (°) para o processamento. Ao final, com o MDE, foi derivada a declividade em percentagem, baseado na classificação da EMBRAPA (1979), onde leva-se em consideração a sinuosidade do relevo. Desta forma, a declividade foi classificada em 5 classes: plano (0-3%); suave ondulado (3-8%); moderadamente ondulado (8-12%); ondulado (12-20%) e fortemente ondulado (acima de 45%).

4.2.3.4 Mapa de vegetação

O mapa de vegetação da bacia foi gerado a partir do recorte do mapa de vegetação do Sistema Estadual de Recursos Hídricos do Governo do estado de Roraima (2007) e posterior diferenciação dos tipos vegetação por cores.

4.2.4 Mapa de cobertura da terra

Produzido a partir da segmentação por regiões da imagem das bandas espectrais do infravermelho próximo e médio, para posteriormente aplicar a classificação supervisionada no modelo Maxver a fim de definir as várias classes da cobertura da terra (corpos hídricos, solo exposto, área urbana, savana, região de mata, cultivo, área úmida e área de pasto).

A técnica de classificação supervisionada consiste na escolha de amostras de treinamento para classes que são colhidas no conjunto de bandas de imagens de satélite que melhor atendem os objetivos do estudo. Foi escolhida a combinação vermelho, infravermelho próximo e infravermelho médio (bandas 6, 5 e 4), por apresentarem melhor contraste espectral na composição colorida. As imagens foram trabalhadas no programa ArcGis na versão 10.5, coordenadas UTM datum WGS 84, onde foram efetuadas operações de recorte, segmentação e classificação supervisionada de imagem.

4.2.4.1 Segmentação da imagem

Com a composição das bandas coloridas 6R5B4G foi feito o recorte da imagem do satélite Landsat8 e foi implementada a operação de segmentação, onde a imagem foi subdividida em regiões homogêneas, levando em conta algumas das suas características intrínsecas, como por exemplo, o nível de cinza dos pixels e a textura que representa da melhor

forma os objetos presentes na cena (OLIVEIRA, 2003). No processo de segmentação de imagem são delimitadas as áreas que possuem características homogêneas.

Neste estudo o processo de classificação utilizou o algoritmo crescimento de regiões com o classificador Bhattacharya (SPRING, 2004). A forma e o tamanho destas áreas são determinados, no SPRING, através da configuração de dois parâmetros, o limiar de similaridade, que define se duas regiões são similares quando o valor da distância Euclidiana mínima entre as médias das regiões é inferior ao limite estipulado, e o limiar de área, que é aquele que representa a área mínima, em pixels, para que uma região seja individualizada.

4.2.4.2 Classificação da imagem

Segundo INPE (2004) a classificação é o meio de extração de informação das imagens feita para identificar padrões e objetos homogêneos. Os processos de classificação podem ser divididos em supervisionados, no qual o usuário seleciona na imagem um conjunto significativo de amostras para cada tema da legenda, ou não supervisionados onde não ocorre interferência do usuário para identificação das áreas. Utilizando-se as áreas delimitadas na etapa de segmentação em sobreposição à imagem original foram escolhidas as áreas conforme os temas estabelecidos na legenda. Ao final, estas amostras foram então processadas pelo ARCGIS e as regiões com características semelhantes àquelas amostradas foram delimitadas e agrupadas em categorias distintas, dando origem à primeira aproximação do mapa de cobertura da terra.

4.2.4.3 Pontos de controle de campo

O Google Earth foi utilizado como apoio à interpretação da imagem Landsat na escolha das amostras. Diante da extensão da área procurou-se percorrer apenas as estradas acessíveis utilizando rodovias estaduais e vicinais no período de 8 de agosto de 2020. Ao todo, no processamento realizado em escritório, foram escolhidas cerca de 370 amostras. Para aumentar a acurácia da classificação, foram visitados alguns locais em campo (Quadro 2), totalizando 20 pontos verificados (Figuras 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23 e 24).

Quadro 2 - Pontos visitados em campo

Ponto controle	Coordenadas	Classificação no mapa	Observação no local
1	2,851341°N 60,755171°O	Área de cultivo	Plantação de mogno
2	2,866428°N 60,776163°O	Lavrado	Bairro João de barro
3	2,879904°N 60,685777°O	Solo exposto	Centro sócio-educativo
4	2,878825°N 60,685842°O	Cultivo	Plantação de açaí e banana
5	2,880694°N 60,682833°O	Solo exposto	Área Urbana
6	2,880065° N 60,677085°O	Cultivo	Plantação de banana
7	2,884227°N 60,676203°O	Cultivo e solo exposto	Lavoura de milho e solo exposto
8	2,887715°N 60,671974°O	Mata ciliar	Plantação de manga
9	2,892629°N 60,674297°O	Cultivo	Lavoura cana de açúcar e solo exposto
10	2,900648°N 60,680211°O	Lavrado	Lavoura d milho
11	2,915817°N 60,707528°O	Floresta	Mata ciliar
12	2,924332°N 60,707596°O	Solo exposto	Área retirada de barro
13	2,9300212°N 60,713689°O	Área urbana	Usina termelétrica
14	2,956110°N 60,732439°O	Área urbana	Indústria de Mineração (Granada Mineração)
15	2,974950°N 60,716220°O	Cultivo	Pivô com produção de grama (Grameira esmeralda)
16	3,008500°N 60,821982°O	Corpos d'água	Lago (P.A Nova amazônia)
17	3,023753°N 60,786971°O	Cultivo	Plantação de milho (P.A Nova Amazônia)
18	3,024510°N 60,778833°O	Cultivo	Plantação de soja
19	2,916588°N 60,753068°O	Lavrado	Relevo residual
20	2,92080°N 60,772134°O	Lavrado	Relevo residual

Elaboração: Autora (2020)

Figura 11 - Ponto de controle 1, plantação de mogno localizada na cidade de Boa vista-RR



Fonte: Autora (2020)

Figura 12 - Ponto de controle 2, área de expansão urbana, bairro João de Barro



Fonte: Autora (2020)

Figura 13 - Ponto de controle 3, centro Sócio-Educativo em área de expansão urbana



Fonte: Autora (2020)

Figura 14 - Ponto de controle 4, plantação de açaí e banana próxima a cidade de Boa vista-RR



Fonte: Autora (2020)

Figura 15 - Ponto de controle 7, plantação de milho na área rural de Boa vista-RR



Fonte: Autora (2020)

Figura 16 - Ponto de controle 8, plantação de manga



Fonte: Autora (2020)

Figura 17 - Ponto de controle 9, plantação de cana



Fonte: Autora (2020)

Figura 18 - Ponto de controle 10, plantação de milho



Fonte: Autora (2020)

Figura 19 - Ponto de controle 11, mata ciliar próxima à Br-174



Fonte: Autora (2020)

Figura 20 - Ponto de controle 12, área de retirada de barro



Fonte: Autora (2020)

Figura 21 - Ponto de controle 13, usina termelétrica



Fonte: Autora (2020)

Figura 22 - Ponto de controle 14, Granada mineração



Fonte: Autora (2020)

Figura 23 - Ponto de controle 15, Grameira esmeralda



Fonte: Autora (2020)

Figura 24 - Ponto de controle 16, lago no P.A. Nova Amazônia



Fonte: Autora (2020)

Figura 25 - Ponto de controle 17, plantação de milho no P.A Nova amazônia



Fonte: Autora (2020)

Figura 26 - Ponto de controle 19, relevo residual situado no Contorno oeste



Fonte: Autora (2020)

Figura 27 - Ponto de controle 20, relevos residuais situados no Contorno oeste



Fonte: Autora (2020)

4.2.5. Padronização dos critérios: Lógica fuzzy

Após a elaboração dos mapas temáticos dos indicadores, foi a vez de fazer a integração dos dados por meio da lógica Fuzzy para se estimar as áreas com maior fragilidade à erosão dentro da bacia do Rio Cauamé. Nesta etapa, foi preciso primeiramente que os mapas elaborados anteriormente fossem transformados em formato numérico (raster), pois na metodologia Fuzzy é necessário que todos os indicadores estejam nesse formato. Sendo assim, esses mapas foram transformados em raster com o ArcGIS, To Raster>feature, para os mapas de solo, vegetação e compartimentação geomorfológica.

A etapa de padronização usou como base os mapas no formato numérico dos critérios escolhidos, e por meio da aplicação de uma rotina de programação LEGAL para cada critério

pode-se ter como resultado os mapas no formato numérico fuzzy, ou seja, mapas reescalados para apresentar valores que tem variação apenas de 0 a 1.

A necessidade da padronização dos critérios deve-se ao fato de cada mapa possuir uma unidade temática diferente. Assim, a padronização permite que as unidades dos mapas tenham uniformidade (DE PAULA e SOUZA, 2007). Cada unidade foi ponderada de acordo com sua importância quanto à fragilidade do solo, onde os valores mais próximos de 1 representam áreas mais frágeis e, próximo a 0, áreas inaptas.

4.2.5.1 Solos

Na classificação dos solos, segundo a fragilidade à erosão, foram considerados como critério, a sua fragilidade à erosão de acordo com suas características físicas e restrição de uso do solo.

Dessa forma, para o critério Solos, a propensão erosiva dos seus atributos foi considerada fraca, para os Latossolos Amarelos distróficos (LAd1) e LAd4 (Latossolos Amarelos Distróficos + Argissolos Vermelhos Eutróficos) sendo atribuída pertinência Fuzzy de 0,025 (Tabela 2), para a classificação LVe (Latossolos Vermelhos Eutróficos + Cambissolos Háplicos Ta Eutróficos) a pertinência Fuzzy foi de 0,05; propensão média para os Argissolos Vermelho-Amarelo Distróficos (PVAd1 e PVAd2) com pertinência Fuzzy 0,10; forte para os Neossolos Litólicos Distróficos e na sua associação com os Latossolos Amarelos Distróficos (RLd1 e RLd2) com a pertinência Fuzzy de 0,20; e muito forte na classe de solo conhecida como Neossolo Quartzarênico Hidromórfico (RQg) com pertinência Fuzzy de 0,30, pois são os mais propensos a causar o processo erosivo, dentre os solos analisados.

Tabela 1 - Fragilidade das classes de solo na Bacia Hidrográfica do Cauamé

Sigla	Classe de solo	Nota
LAd1	Latossolos Amarelos Distróficos	0,025
LAd4	Latossolos Amarelos Distróficos + Argissolos Vermelhos Eutróficos	0,025
LVe	Latossolos Vermelhos Eutróficos + Cambissolos Háplicos Ta Eutróficos	0,05
PVAd1	Argissolos Vermelho-Amarelos Distróficos	0,10
PVAd2	Argissolos Vermelho-Amarelos Distróficos + Latossolos Amarelos Distróficos	0,10
RLd1	Neossolos Litólicos Distróficos	0,20

RLd2	Neossolos Litólicos Distróficos + Latossolos Amarelos Distróficos	0,20
RQg	Neossolos Quartzarênicos Hidromórficos	0,30

Elaboração: Autora (2020)

4.2.5.2 Geomorfologia

O critério Geomorfologia foi avaliado para a nota Fuzzy levando em conta as características geomorfológicas de cada classe, como a resistência da rocha ao intemperismo e o tipo de relevo presente (plano, acidentado, íngreme).

A classe considerada mais frágil á erosão dentro da bacia foram as Planícies do Rio Branco, com nota de 0,40 (Tabela 2), A segunda classe com maior propensão erosiva foi a Depressão Boa Vista, esta área é constituída por uma superfície pediplana bastante conservada por vezes coberta por extensos areais e recebeu nota Fuzzy de 0,30. O Patamar do médio uraricoera apresenta uma proporção erosiva mais fraca, com nota Fuzzy de 0,14, representado principalmente por um conjunto de formas de relevo convexos, esculpido em rochas sedimentares, cristalinas e metassedimentares. Outra classe de geomorfologia da bacia são os relevos residuais, que receberam nota Fuzzy de 0,06 devido á sua baixa propensão erosiva, tem em sua morfologia topos convexos e vertentes côncavas além de um intenso ravinamento das vertentes.

Tabela 2 - Fragilidade das classes de geomorfologia na Bacia Hidrográfica do Cauamé

Geomorfologia	Nota
Planícies do Rio Branco	0,40
Depressão Boa Vista	0,30
Patamar do médio uraricoera	0,14
Serra nova olinda	0,10
Relevos residuais	0,06

Elaboração: Autora (2020)

4.2.5.3 Declividade

Com relação á declividade da bacia, esta, foi dividida em cinco classes (Tabela 3) de acordo com os valores sugeridos pela EMBRAPA (1979) cujos intervalos se seguem: 0–3% (relevo plano); 3 –8% (relevo suave ondulado); 8 –20% (relevo ondulado); 20 –45% (fortemente ondulado); e > 45% (relevo montanhoso).

De acordo com o mapa de declividade confeccionado pode-se observar que grande parte da bacia do Cauamé se encaixa nas duas classes de relevo iniciais que são relevo plano e suavemente ondulado e se apresentam com uma menor propensão á erosão do solo dependendo da sua cobertura vegetal, por este motivo estas classes foram determinadas com uma nota Fuzzy de 0,10 para o relevo plano e 0,14 para o relevo suavemente ondulado.

A classe de 8 a 20° de declividade no relevo, considerado ondulado, foi atribuído o valor Fuzzy de 0,16.

Na bacia pode-se encontrar também uma pequena parte onde ocorre o relevo fortemente ondulado e também o montanhoso (>45%), para estas classes foram atribuídas notas de 0,25 e 0,35 devido a sua maior fragilidade.

Tabela 3 - Fragilidade das classes de declividade na Bacia Hidrográfica do Cauamé

Declividade (%)	Nota
0-3	0,10
3-8	0,14
8-20	0,16
20-45	0,25
45-75	0,35

Elaboração: Autora (2020)

4.2.5.4 Vegetação

O critério vegetação teve duas classes na bacia, a primeira foi a área de savana que devido á apresentar uma vegetação mais rasteira e esparsa corre maior risco de erosão tendo a nota de 0,75 (Tabela 4); a outra classe é a floresta estacional semidecidual que se localiza mais nas bordas da bacia e áreas de mata ciliar com baixa propensão erosiva e nota Fuzzy de 0,25 devido um vegetação de porte maior que absorve o impacto da chuva de forma mais eficaz e estabilizando o solo com suas raízes mais profundas.

Tabela 4 - Fragilidade das classes de vegetação na Bacia Hidrográfica do Cauamé

Vegetação	Nota
Savana	0,75
Floresta estacional semidecidual	0,25

Elaboração: Autora (2020)

4.2.5.5 Cobertura da terra

E, para o critério cobertura da terra, as áreas classificadas como corpos d'água, floresta e mata ciliar, receberam a classificação de pertinência erosiva como muito fraca; as áreas de cultivo (pastagens e agricultura), lavrado e áreas úmidas foram classificadas como fraca; as áreas densamente urbanizadas e com solo exposto, classificadas como forte (Tabela 5). Pode-se observar, com isso, que as áreas descobertas e altamente urbanizadas são as mais frágeis frente os processos erosivos, dentre as áreas analisadas.

Na área urbana, o processo de transformação da paisagem acontece de forma desordenada, a partir de um planejamento ineficiente ou muitas vezes sem o devido planejamento, o que configura a esse tipo de uso diversos problemas ambientais, sendo a erosão dos solos um deles, por este motivo a nota para esta classe de cobertura da terra para área urbana foi uma das mais altas no valor de 0,20. Nas áreas de expansão da cidade e/ou de expansão demográfica, ou seja, na transição rufo-urbana, há um aumento do percentual de solo exposto, bem como nos momentos de preparação do solo para o cultivo, podendo aumentar a ocorrência de processos erosivos, portanto a classe de cobertura da terra denominada Solo exposto recebeu a maior nota no valor de 0,25.

Tabela 5 - Fragilidade das classes de cobertura da terra na Bacia Hidrográfica do Cauamé

Cobertura da terra	Nota
Floresta	0,05
Mata ciliar	0,06
Áreas úmidas	0,17
Corpos d'água	0,0
Lavrado	0,12
Cultivo	0,15
Área urbana	0,20
Solo exposto	0,25

Elaboração: Autora (2020)

4.2.6 Mapa de fragilidade á erosão

Para elaboração do mapa foi gerado o modelo numérico de terreno a partir da análise pareada da importância dos elementos formadores da paisagem erosão, por meio da aplicação do processo analítico hierárquico (AHP), posteriormente este modelo foi fatiado em classes de fragilidade á erosão adequados á região de estudo.

Decorrente da correlação das variáveis das paisagens – geomorfologia, declividade, vegetação, classes de solos, e cobertura da terra – estas foram espacializadas em mapas temáticos e incluídos nos Planos de Informações.

4.2.6.1 Critérios AHP

Na avaliação e organização da importância relativa entre critérios utilizou-se a técnica de análise multicriterial AHP. Neste tipo de análise os critérios são comparados par a par sendo usados como referência uma escala continua de nove pontos, onde a intensidade de importância passa do igual à extremamente mais importante. A tabela 6 demonstra a escala de valores AHP para comparação dos critérios. A atribuição dos valores da escala baseou-se em conhecimentos empíricos e considerou, por exemplo, que a cobertura da terra é “algo melhor” que a declividade, e que a declividade é “muito melhor” que a vegetação. A razão de consistência calculada para a matriz de comparação demonstra que o julgamento foi feito de forma adequada, resultando num valor de 0,060.

Tabela 6– Escala de valores AHP para comparação pareada

Critério	Peso (Numérico)	Peso	Critério
Cobertura da terra	3	Algo melhor	Declividade
Declividade	4	Moderadamente melhor	Geomorfologia
Declividade	6	Bem melhor	Solos
Declividade	7	Muito melhor	Vegetação
Cobertura da terra	5	Melhor	Geomorfologia
Cobertura da terra	6	Bem melhor	Solos
Cobertura da terra	9	Absolutamente melhor	Vegetação
Geomorfologia	3	Algo melhor	Solos
Geomorfologia	5	Melhor	Vegetação
Solos	2	Um pouco melhor	Vegetação

Elaboração: Autora (2020)

O fator ‘Cobertura da terra’ foi o que recebeu o maior peso pois de acordo com a literatura é um critério de grande influência sobre os processos erosivos, segundo Minella, et al. (2007) um dos fatores chave influenciando a suscetibilidade regional à erosão do solo é o uso da terra.

O fator ‘Declividade’ foi o que recebeu o segundo maior peso, por ser, entre os fatores ambientais, o que tem importância direta com relação aos processos erosivos. Dentro da Bacia Hidrográfica do Cauamé, essa condicionante se revela de grande importância, visto que maior

parte da área apresenta baixas declividades e estas se ampliam em locais específicos, influenciadas principalmente pela litologia.

Os fatores 'Geomorfologia' e 'Solos' foram considerados de média influência em comparação com os outros fatores.

O fator 'Vegetação' foi considerado como o de menor influência pois ele já é levado em consideração de certa forma no fator cobertura da terra.

Após o cruzamento das variáveis utilizadas considerando-se a relação de pesos proposta entre as variáveis foi gerado um mapa com valores que variam de '0 a 255'.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. ELEMENTOS DA PAISAGEM DA BACIA DO CAUAMÉ

5.1.1 Mapa de solos

Segundo o mapa de solos elaborado (Figura 28) pode-se observar que a classe que combina Latossolos Amarelos Distróficos+Argissolos Vermelhos Eutróficos (LAd4) recobre cerca de 1.797,04 km² (Tabela 7), representando então cerca de 56,88% da Bacia Hidrográfica do Cauamé. Os Latossolos Amarelos Distróficos (LAd1) são a segunda maior classe da bacia e se localizam em pequenas proporções na porção superior e uma grande área na região sudoeste da bacia com aproximadamente 1.009,44 km² (31,94%) somente nesta área. A classe dos Latossolos é conhecida por ser a mais resistente à erosão, devido às suas características morfológicas, físicas, químicas e mineralógicas.

Tabela 7 – Classes de solo

Classe de solo	Área (km²)	Total (%)
LAd4	1797,04	56,88
LAd1	1009,44	31,94
LVe	47,18	1,49
PVAd1	0,38	0,01
PVAd2	111,60	3,53
RLd1	101,31	3,21
RLd2	13,70	0,43
RQg	79,26	2,51
Total	3.160	100

Elaboração: Autora (2020)

A classe dos Latossolos Vermelhos Eutróficos + Cambissolos Háplicos Ta Eutróficos (LVe) ocupa 47,18km² (1,49%) da bacia do Cauamé, os Latossolos vermelhos apresentam capacidade produtiva estável e boa fertilidade.

Os Argissolos Vermelho-Amarelo Distróficos (PVAd1) são os solos da classe menos representativa da bacia, localizados no limite superior na região noroeste com 0,38 km² (0,01%) de extensão. Já a classe que associa os Argissolos Vermelho-Amarelos Distróficos + Latossolos Amarelos Distróficos (PVAd2) apresenta-se em pequenas porções na região limítrofe oeste na bacia com área total aproximada de 111,60 km² (3,53%). Estes solos apresentam de média a baixa fertilidade e restrições de uso principalmente em relevo acidentado.

A classe dos Neossolos Litólicos (RLd1) possui cerca de 101,31km² (3,21%), localizados numa região muito próxima da capital Boa vista situando-se em área de expansão urbana; estes solos são frágeis á erosão devido serem pouco profundos e geralmente associados a relevos declivosos. Os Neossolos Litólicos Distróficos + Latossolos Amarelos Distróficos (RLd2) estão presentes no canto superior ao norte da bacia, com cerca de 13,70 km² (0,43%) e estão situados em áreas de relevos residuais.

A última classe de solo que se apresenta nesta bacia são os Neossolos Quartzarênicos Hidromórficos (RQg), estes ocupam 79,26km² (2,51%) e margeiam o curso principal do Rio Cauamé na porção central da bacia e próximo á área urbana da cidade de Boa vista, têm como característica serem solos profundos e com textura muito arenosa.

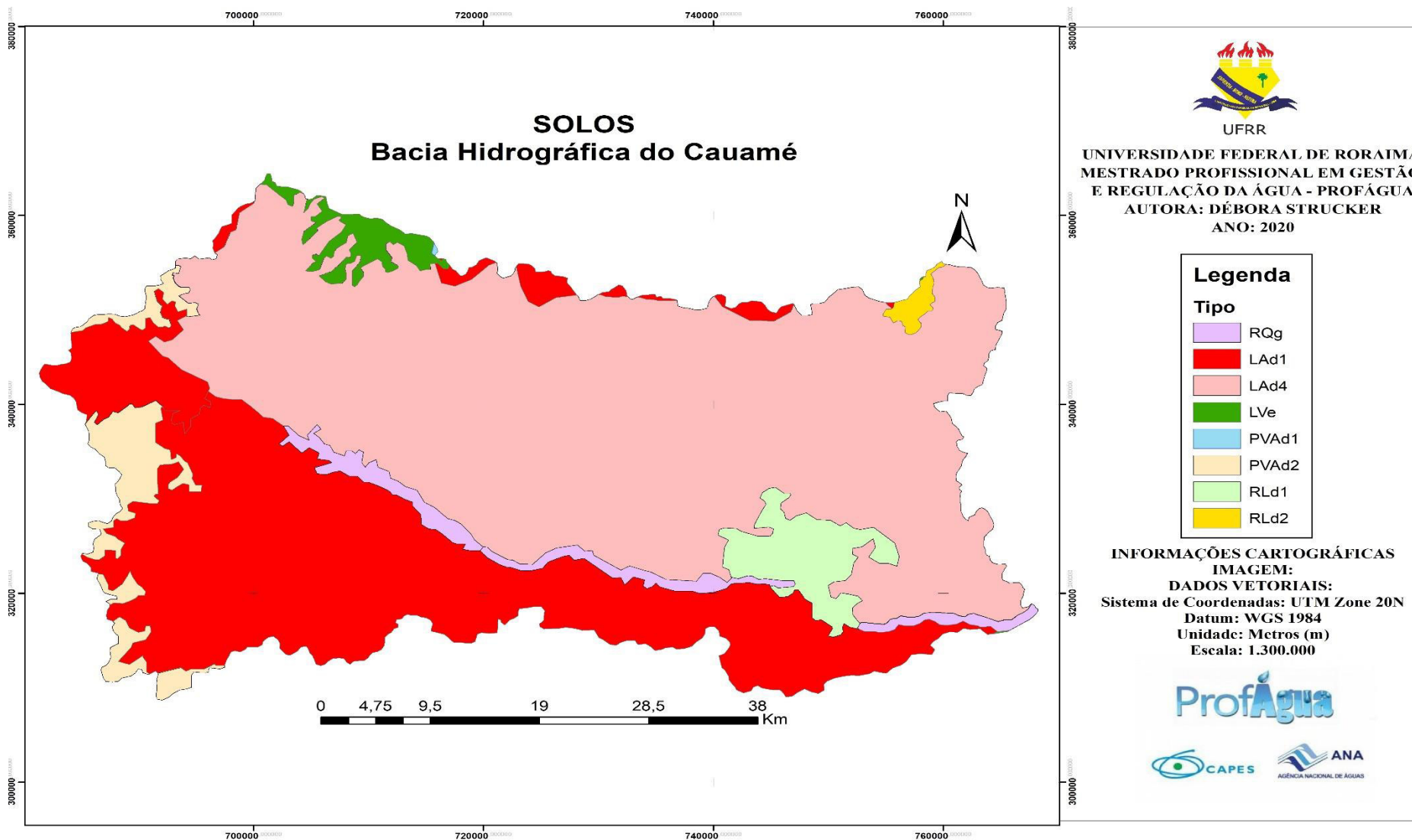
Vale salientar que o mapa elaborado possui unidades de mapeamento, que apresentam associações de mais uma classe de solo (Quadro 3).

Quadro 3 - Classes de solos da Bacia Hidrográfica do Cauamé

Unidade de mapeamento	Classes de solo
LAd1	Latossolos Amarelos Distróficos
LAd4	Latossolos Amarelos Distróficos + Argissolos Vermelhos Eutróficos
LVe	Latossolos Vermelhos Eutróficos + Cambissolos Háplicos Ta Eutróficos
PVAd1	Argissolos Vermelho-Amarelos Distróficos
PVAd2	Argissolos Vermelho-Amarelos Distróficos+Latossolos Amarelos Distróficos
RLd1	Neossolos Litólicos Distróficos
RLd2	Neossolos Litólicos Distróficos + Latossolos Amarelos Distróficos
RQg	Neossolos Quartzarênicos Hidromórficos

Fonte: Autora (2020)

Figura 28 - Mapa de solos Baía Hidrográfica do Cauamé

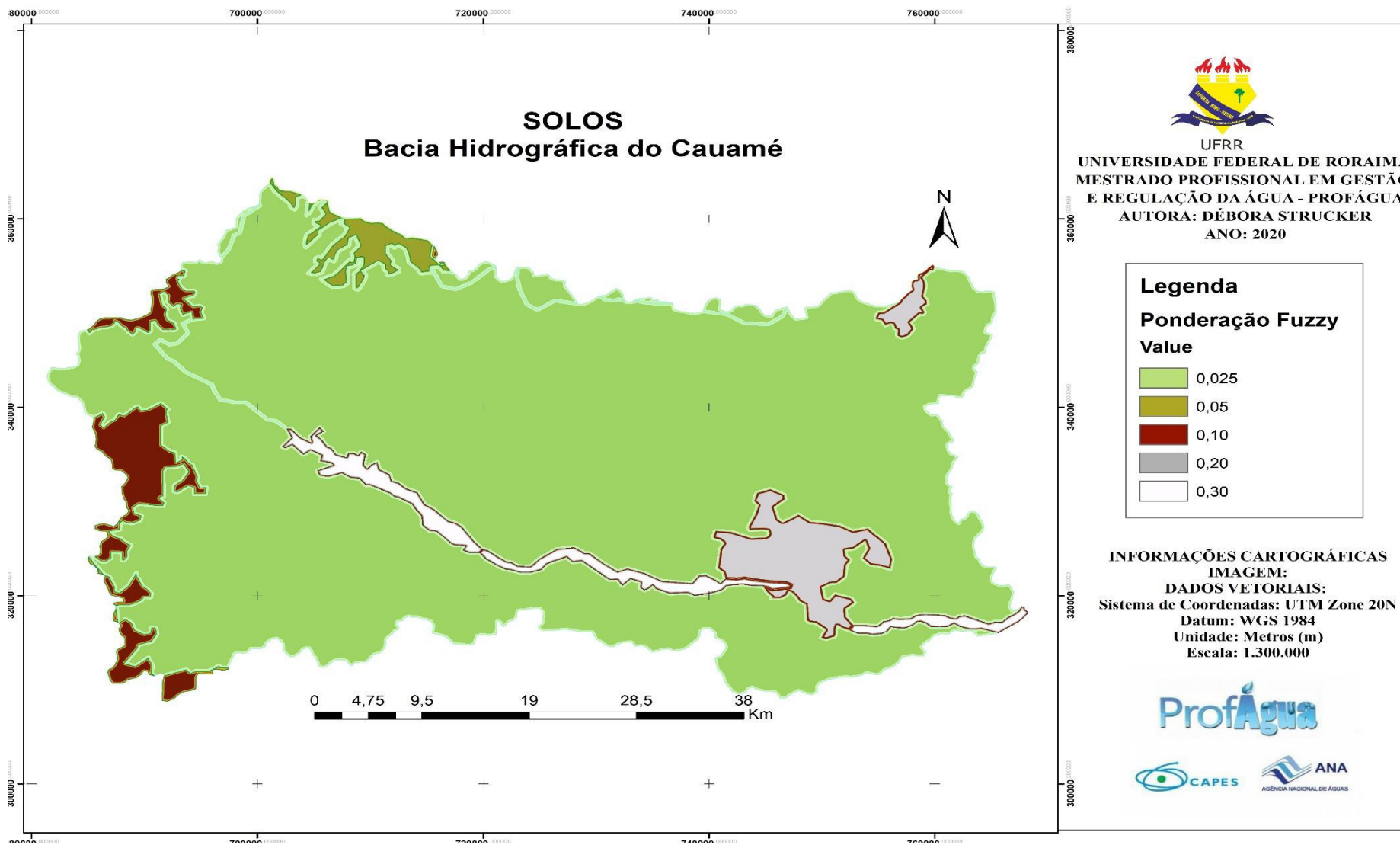


Elaboração: Autora (2020)

5.1.2 Mapa de solos Fuzzy

O mapa de solos Fuzzy (Figura 29) resultou dos oito tipos de solo que foram agrupados em cinco classes com notas de 0,025 a 0,30.

Figura 29 - Mapa de solos fuzzy da Bacia Hidrográfica do Cauamé



5.1.3 Mapa de geomorfologia

O mapa geomorfológico da bacia do Cauamé (Figura 30) encontra-se subdividido em quatro regiões (Depressão boa vista, Patamar do médio uraricoera, Planícies do rio branco e Relevos residuais).

A Depressão boa vista (Figura 29) é a maior classe geomorfológica da bacia, com 1944,25km² (Tabela 8) representando 61,52% da Bacia Hidrográfica do Cauamé, estendendo-se da cidade de Boa vista-RR até a metade da bacia e na parte inferior para a região sudoeste. Também, de acordo com Silva et al. (2009), grande parte deste compartimento é composto por uma área plana, com altitude de cerca de 70m, que provém de processos predominantemente acumulativos, porém com testemunhos de dissecação de relevos pré-existentes com altitudes que chegam a 179m.

Tabela 8 – Classes geomorfológicas

Classes geomorfológicas	Área - km²	Total (%)
Depressão boa vista	1944,25	61,52
Patamar do médio uraricoera	1150,06	36,40
Planícies do rio branco	50,03	1,58
Relevos residuais	15,85	0,50
Total	3.160	100

Elaboração: Autora (2020)

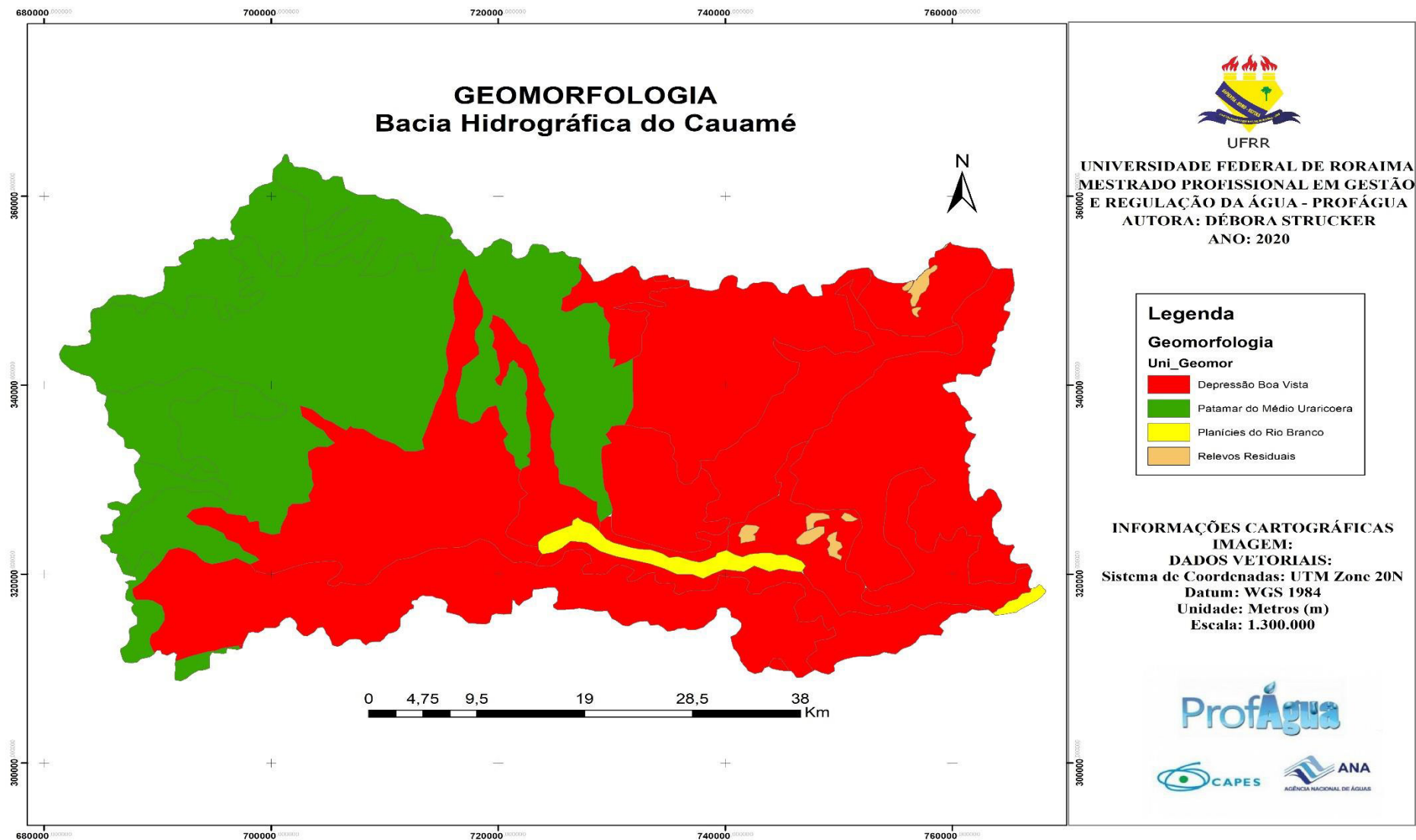
Outra classe geomorfológica é o Patamar do médio uraricoera, que se apresenta na bacia na porção Noroeste com uma extensão de aproximadamente 1150,06km² (36,40%), nesta área as altitudes começam a aumentar apresentando próximo á cidade de Alto alegre locais acima e 100m.

As Planícies do rio branco se encontram em uma pequena extensão na borda da cidade de Boa vista-RR e em um trecho do Rio Cauamé, com área total de cerca de 50,03km² (1,58%). Estas planícies se situam em baixas altitudes de 70 a 80m, de acordo com Costa; Schaefer; Vale Júnior (2005), são definidas por faixas alongadas que se depositam pelos rios, sujeitas a inundações periódicas, correspondendo a áreas de várzeas atuais.

Os relevos residuais presentes na bacia do Cauamé correspondem a 15,85km² (0,50%), e são encontrados em meio às superfícies aplainadas da Depressão Boa vista, uma série de morros presentes na região inferior Nordeste da bacia compõe a serra Nova Olinda, a qual tem

altitudes que chegam a 230m. Na porção superior Nordeste aparece outra formação rochosa denominada serra da Moça, com altitude que chega a 460m.

Figura 30 - Mapa de geomorfologia da Bacia Hidrográfica do Cauamé



Elaboração: Autora (2020)

Figura 31 – (A) Área plana na cidade de Boa vista-RR inserida na Depressão Boa vista; (B) Área de produção agrícola com lago natural em superfície aplainada (Depressão Boa vista); (C) Conjunto de serras (relevos residuais).

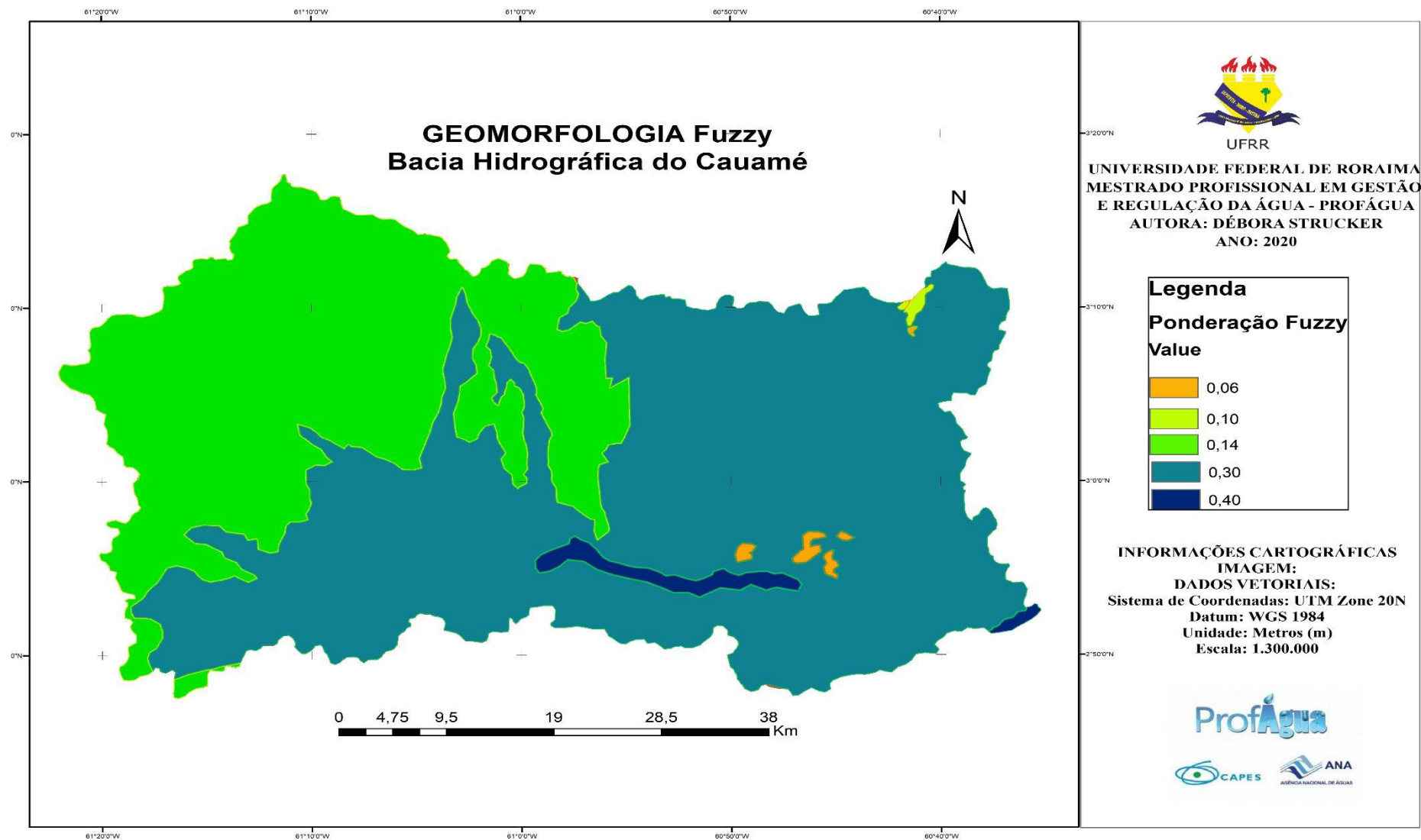


Elaboração: Autora (2020)

5.1.4 Mapa de geomorfologia Fuzzy

O mapa geomorfológico Fuzzy (Figura 32) resultou dos quatro tipos de compartimentos que foram separados em cinco classes com notas de 0,06 a 0,40.

Figura 32 - Mapa de geomorfologia Fuzzy da Bacia Hidrográfica do Cauamé



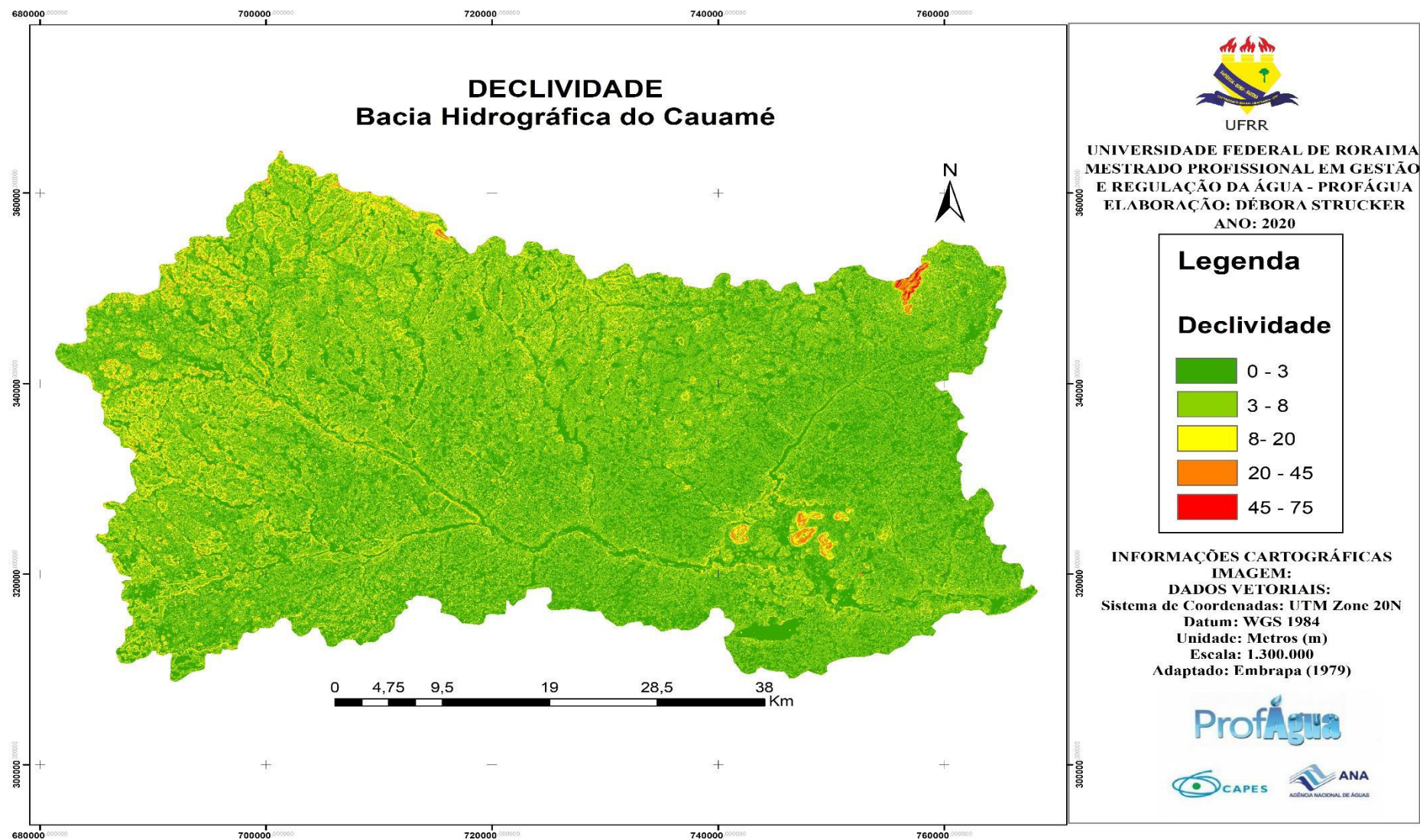
Elaboração: Autora (2020)

5.1.5 Mapa de declividade

Conforme o mapa de declividade (Figura 33) a bacia do Cauamé apresenta em sua maior parte áreas planas com declividade de 0-3 e de 3-8, que se estendem ao longo da Depressão Boa vista. Devemos observar a questão da cobertura do solo mesmo em áreas consideradas planas, pois, segundo um estudo de Silveira e Cunha (2006) realizado na Bacia de Tijuco preto-SP, pode-se verificar que mesmo em áreas de classes reduzidas de declive, foram detectados processos erosivos atuantes, auxiliados pela presença da monocultura canavieira e/ou da urbanização, associados a outros processos controladores.

Mais na porção oeste o relevo acaba se enquadrando mais na faixa de 8-20, que se encontra justamente no Patamar do Médio Uraricoera. E os relevos residuais presentes nas áreas de depressão estão nas classes de 20-45 e de 45-75° de declividade, sendo áreas mais íngremes como a serra Nova Olinda, esses locais são áreas consideradas mais frágeis para qualquer atividade antrópica, e a declividade acima de 45° se enquadra como área de preservação permanente (APP) segundo o código florestal (1988). Em trabalho desenvolvido no município de Sombrio-SC, HADLICH (2006), observou que em regiões com declive acima de 45° quando utilizadas sem a cobertura de mata ou reflorestamento apresentam risco para o desenvolvimento de processos erosivos acelerados, sendo evidenciado em campo por sulcos profundos entre as plantas.

Figura 33 - Mapa de declividade da Bacia Hidrográfica do Cauamé

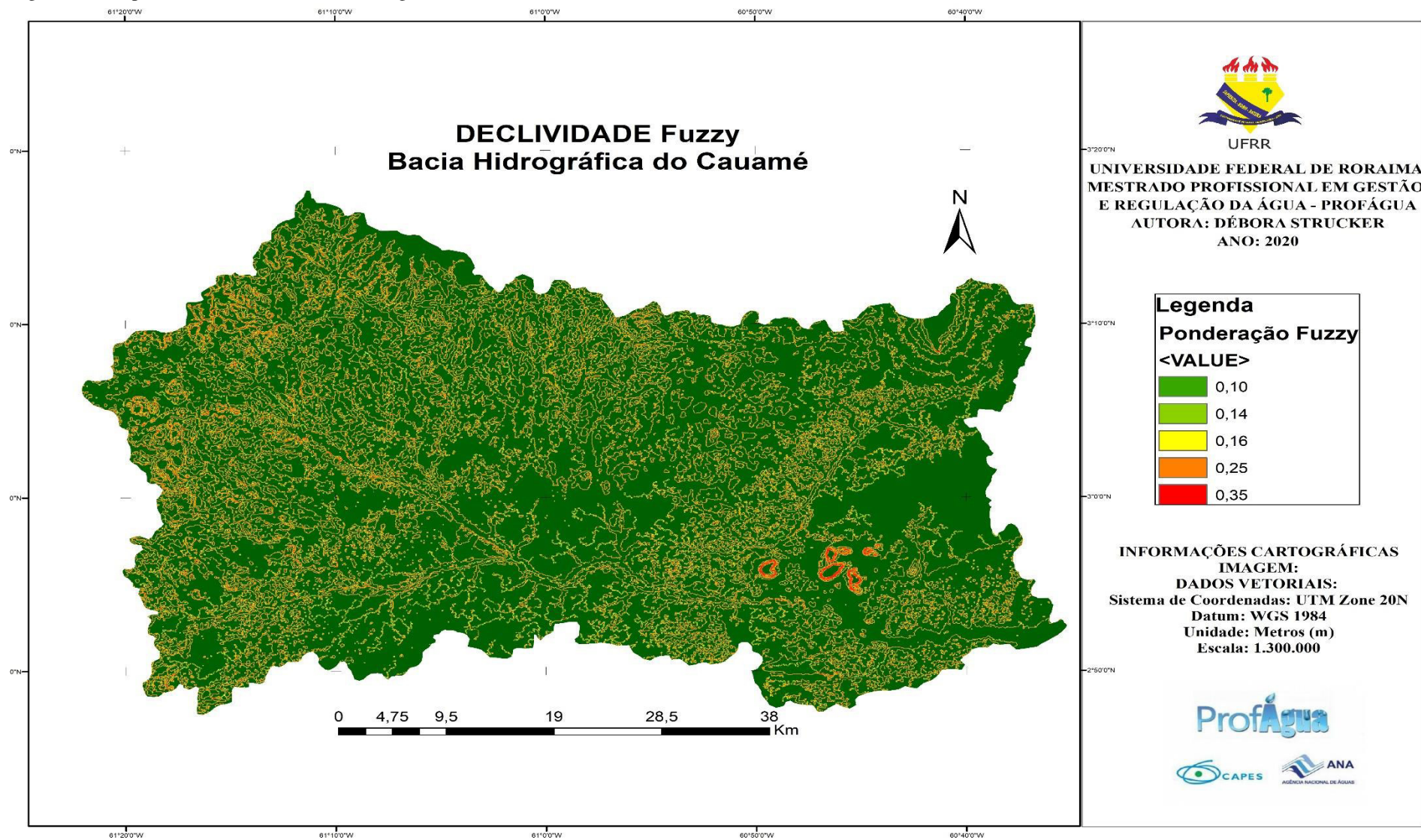


Elaboração: Autora (2020)

5.1.6 Mapa de declividade Fuzzy

O mapa de declividade Fuzzy (Figura 34) resultou das cinco classes de declividade com notas de 0,10 a 0,35.

Figura 34 - Mapa de declividade da Bacia Hidrográfica do Cauamé



Elaboração: Autora (2020)

5.1.7 Mapa de vegetação

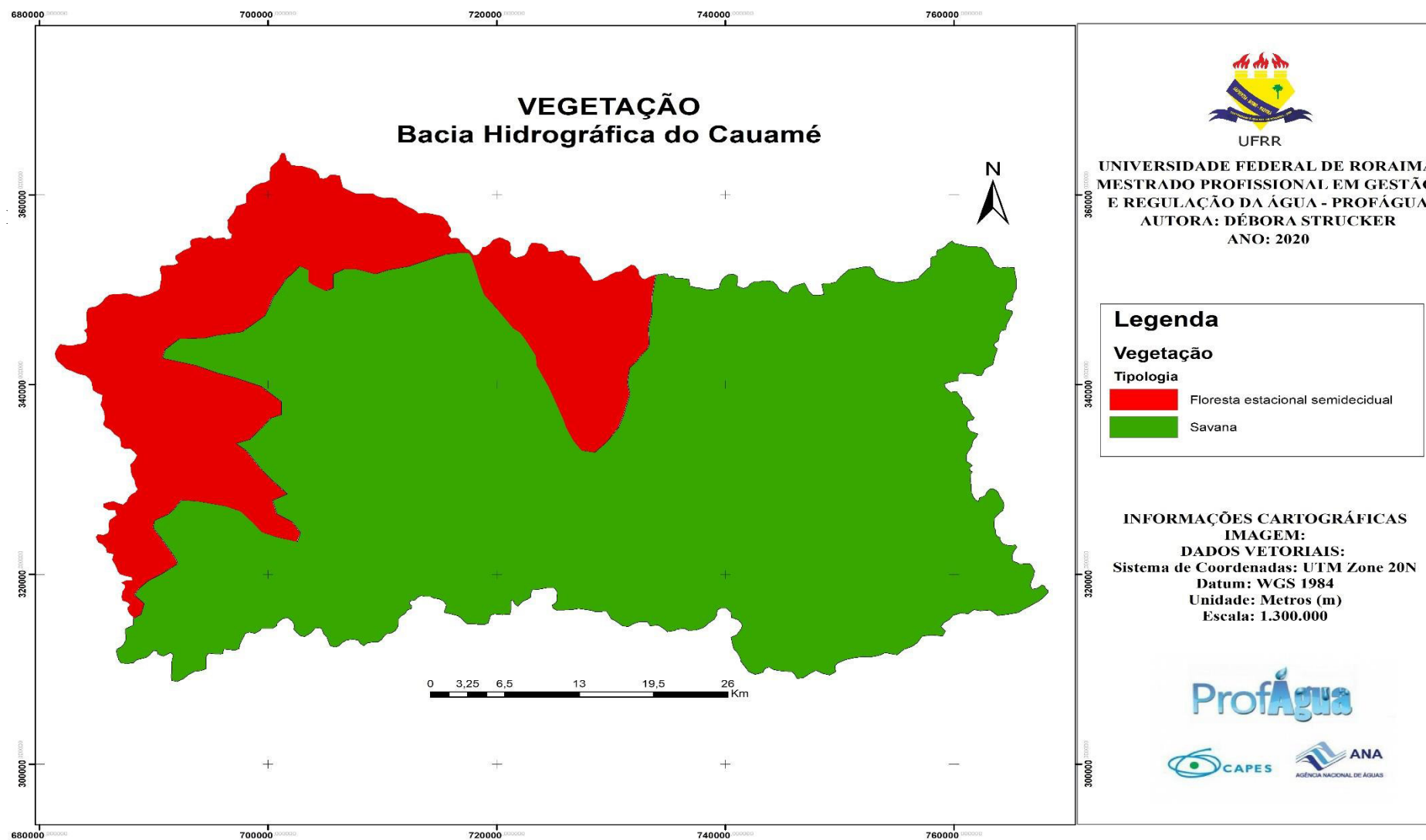
Na bacia do Cauamé a vegetação (Figura 35) é representada por duas classes: a savana (Figura 34), que está em cerca de 2422,95km² (76,67%), a maior parte da bacia (Tabela 9); e a floresta estacional semidecidual que recobre a porção sudoeste da bacia, próximo da cidade de Alto alegre, com aproximadamente 737,88km² (23,35%).

Tabela 9 – Classes de vegetação

Classe de vegetação	Área – km²	Total (%)
Savana	2422,95	76,67
Floresta estacional semidecidual	737,88	23,35
Total	3.160	100

Fonte: Autora (2020)

Figura 35 - Mapa de vegetação da Bacia Hidrográfica do Cauamé



Elaboração: Autora (2020)

Figura 36 – (A) Área de savana; (B) Mata ciliar composta de buritizais; (C) Floresta estacional semidecidual.

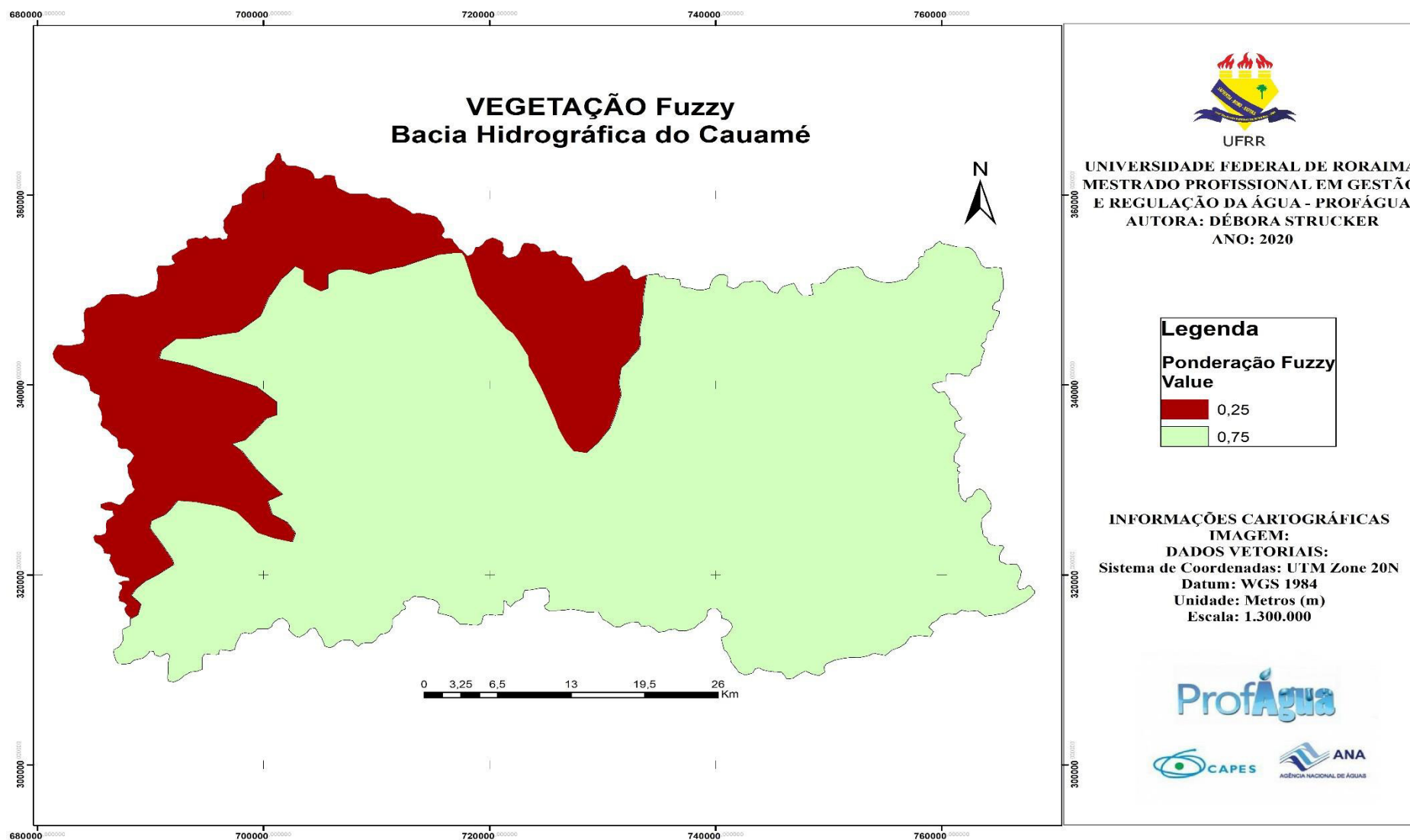


Elaboração: Autora (2020)

5.1.8 Mapa de vegetação Fuzzy

O mapa de vegetação Fuzzy (Figura 37) apresenta as duas classes de declividade com pesos variando de 0,25 a 0,75.

Figura 37 - Mapa de vegetação Fuzzy da Bacia Hidrográfica do Cauamé



Elaboração: Autora (2020)

5.2 BACIA DO CAUAMÉ E SUA FRAGILIDADE À EROSÃO

5.2.1 Mapa de cobertura da terra

Quanto á cobertura da terra foram identificadas oito classes no mapa de cobertura da terra da bacia do Cauamé (Figura 38) através da classificação supervisionada utilizando a composição de bandas RGB654.

A classe mais representativa é a classe que corresponde a área de lavrado (Figura 39), vegetação característica da bacia do Cauamé, que representa 1.454,90km² (Tabela 10) de extensão, cerca de 46,04% da bacia, e apesar de ser vegetação originaria e recobrir o solo, não é tão eficiente em proteção do solo á erosão quanto ás áreas de vegetação de grande porte e mais densas como as florestas, apresentando assim um grau maior de propensão á erosão natural. Já as áreas de floresta, são outra classe de cobertura do solo que ocupam 328,45km² (10,39%), se localizam mais a Noroeste da bacia, apresentam baixa propensão erosiva devido o adensamento das plantas de cobertura do solo.

Tabela 10 – Classes de cobertura da terra

Classes cobertura	Área (km²)	Total de classes (%)
Lavrado	1.454,90	46,04
Floresta	328,45	10,39
Mata ciliar	283,54	8,97
Cultivo	418,47	13,24
Solo exposto	127,95	4,05
Corpos d'água	275,48	8,72
Áreas úmidas	183,64	5,81
Área urbana	87,58	2,77
Total	3.160	100

Elaboração: Autora (2020)

As matas ciliares estão por cerca de 283,54km² (8,97%), são uma importante classe de cobertura do solo da bacia, são áreas de preservação permanente (APP) protegidas pela legislação (Lei 12.651, de 25 de maio de 2012), porém muitas vezes são destruídas ou danificadas geralmente devido á expansão urbana, e no caso da bacia do Cauamé podem sofrer degradações também devido ao uso agropecuário e para atividades de balneabilidade.

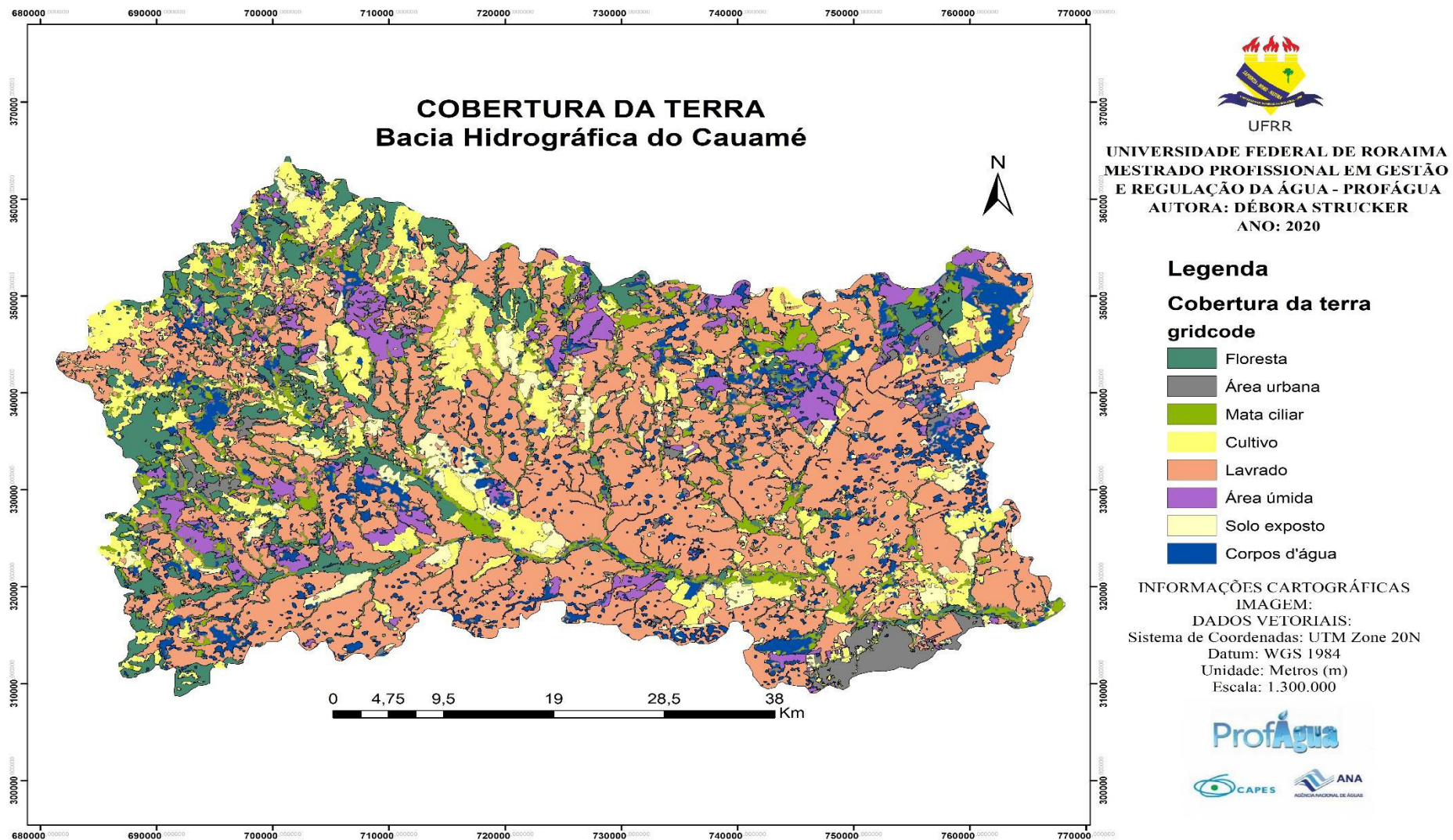
A classe de áreas de cultivo apresenta-se disposta por 418,47km² (13,24%) ao longo da bacia na área rural da cidade de Boa vista-RR, e também disposta mais no interior da bacia,

apresentando cultivos de milho, soja, plantações frutíferas, pastagens para pecuária, e em diferentes graus tecnológicos, contando com produtores pequenos e sem nenhuma implementação de tecnologias até produções grandes e avançadas com utilização de pivôs para irrigação. Já a classe de solo exposto se estende por 127,95km² (4,05%) e se localiza em áreas de expansão urbana da cidade, os loteamentos para construção, e também em áreas preparadas para cultivo.

Os corpos d'água, com 275,48km² (8,72%), e áreas úmidas, com 183,64km² (5,81%), foram duas classes abrangidas pelo trabalho que estão dispostas por toda bacia do Cauamé e são classes muito importantes devido á necessária preservação dos recursos hídricos e também para o planejamento de questões de infraestrutura na bacia e zoneamento dos locais adequados para agropecuária, áreas de preservação e áreas urbanas.

A classe denominada área urbana (Figura 40), tem cobertura de 87,58km² (2,77%) na bacia e localiza-se nas cidades de Boa vista, Alto Alegre e suas áreas de expansão.

Figura 38 - Mapa de cobertura da terra da Bacia Hidrográfica do Cauamé



Elaboração: Autora (2020)

Figura 39 – (A) Solo de savana com vegetação rasteira e esparsa; (B) Proximidade da área de expansão urbana da mata ciliar; (C) Proximidade de residências na cidade de Boa vista-RR, da mata ciliar do rio Cauamé.



Elaboração: Autora (2020)

Figura – 40 (A) Área urbana cidade de Boa Vista-RR; (B) Corpo d'água; (C) Cultivo de grama

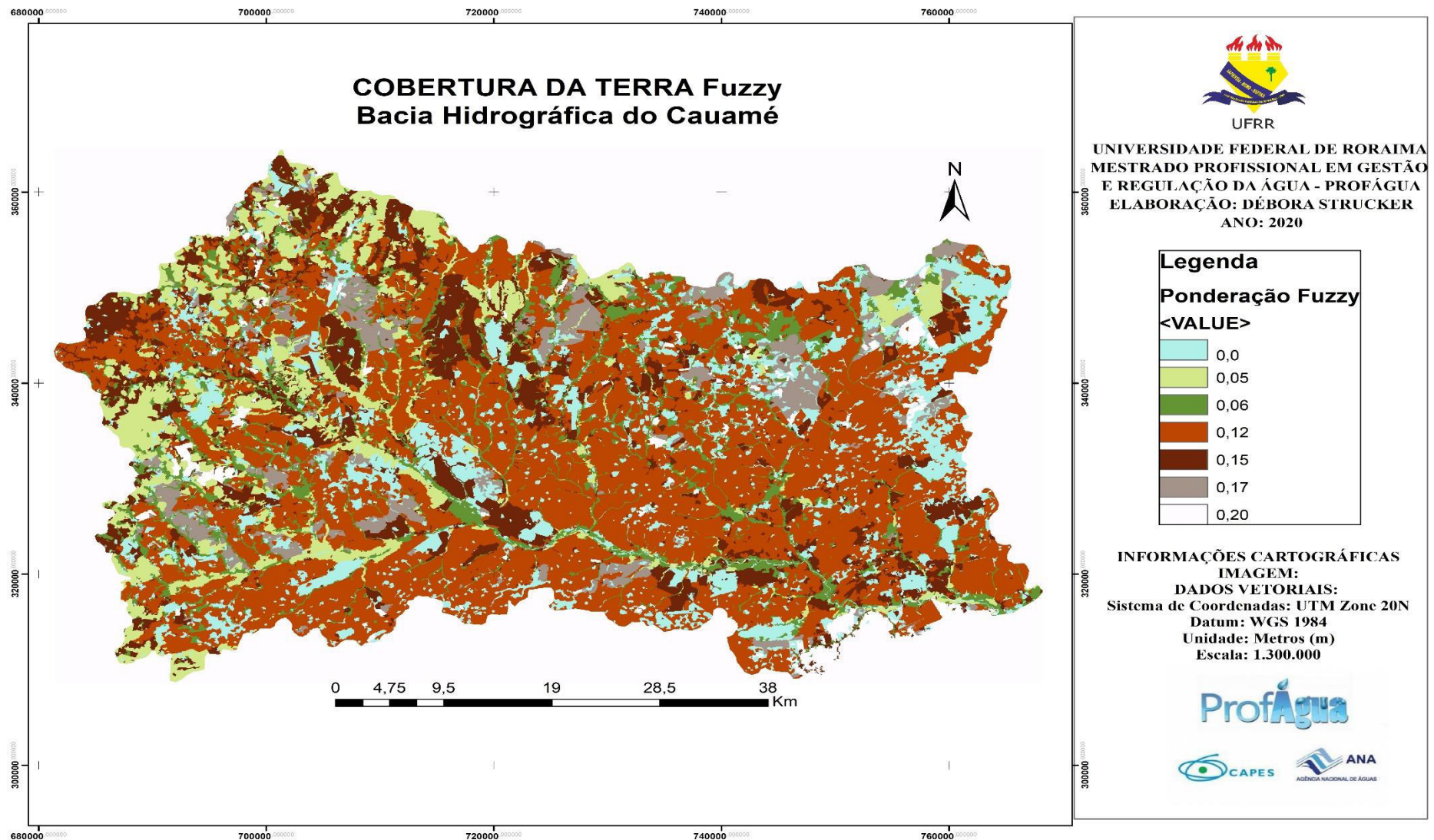


Elaboração: Autora (2020)

5.2.2 Mapa de cobertura da terra Fuzzy

O mapa de cobertura da terra Fuzzy (Figura 41) apresenta sete classes de declividade com pesos variando de 0,0 a 0,20.

Figura 41 - Mapa de cobertura da terra Fuzzy da Bacia Hidrográfica do Cauamé



Elaboração: Autora (2020)

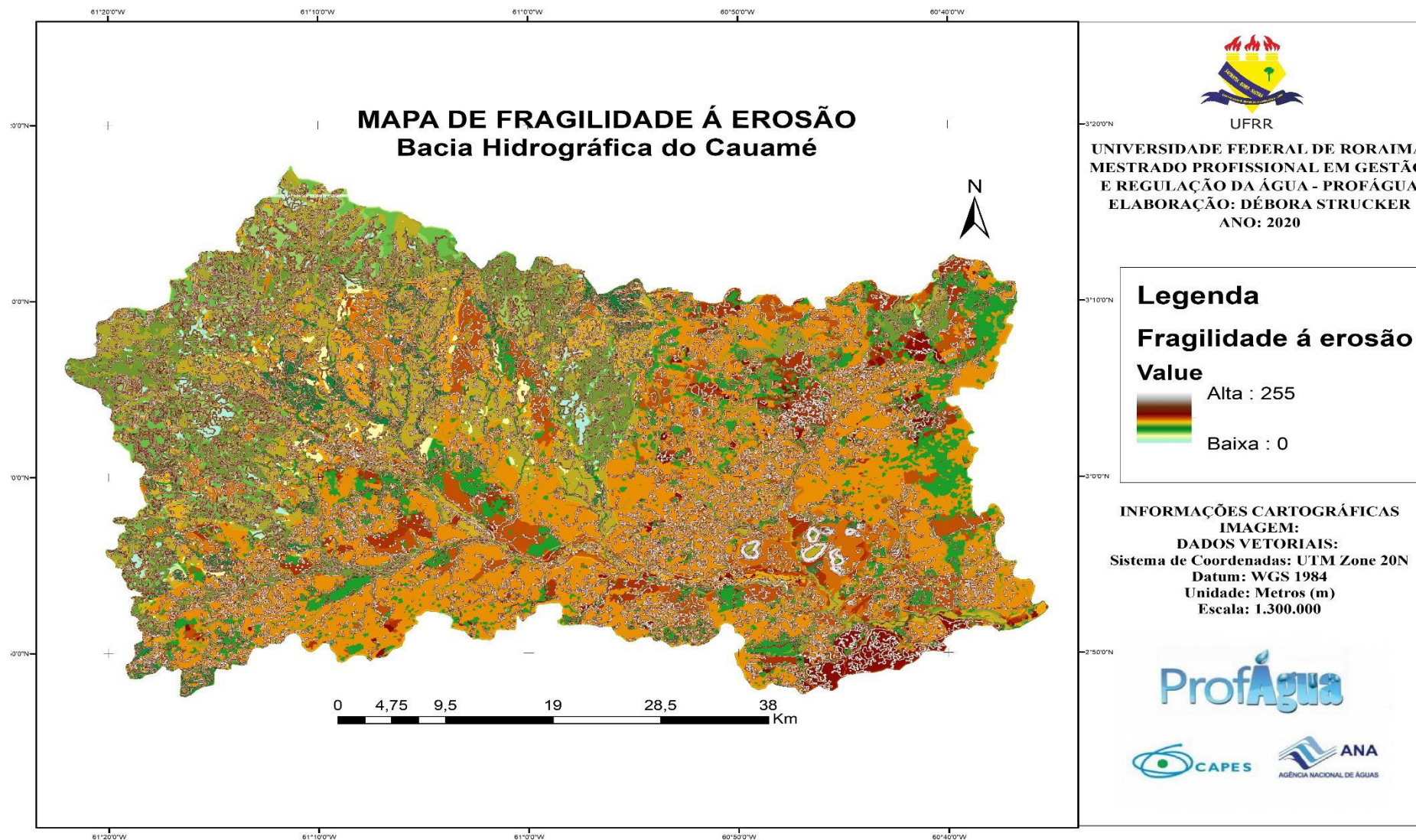
5.2.3 Mapa de fragilidade á erosão

Com a construção do mapa de fragilidade á erosão (Figura 42) pode-se observar ás características fitográficas da bacia e como está sendo realizado o seu uso e ocupação de forma antrópica, podendo, desta forma, realizar um melhor planejamento ocupacional da área de acordo com sua fragilidade em relação á declividade, solos, geomorfologia e vegetação.

O mapa de fragilidade se configura como importante instrumento para gestão e governança dos recursos hídricos da Bacia Hidrográfica do Cauamé, pois com a sua confecção é possível observar os pontos mais frágeis á erosão da bacia podendo assim proteger estes locais de degradação por usos antrópicos e prevenir o assoreamento dos recursos hídricos pela erosão.

A elaboração do mapa permite também a gestão dos recursos hídricos com a visualização dos usos da terra na bacia, como áreas de cultivo irrigado, que utilizam os recursos hídricos e futuramente podem ser cobrados o uso da água, e também o cuidado no uso dos recursos para balneabilidade que pode poluir estes recursos, assim como as áreas urbanas.

Figura 42 – Mapa de fragilidade á erosão da Bacia Hidrográfica do Cauamé



Elaboração: Autora (2020)

A Bacia Hidrográfica do Cauamé apresenta em grande parte de sua área uma paisagem homogênea em suas características fisiográficas, composta em sua maior parte por áreas planas recobertas por vegetação baixa e esparsa (lavrado) contendo alguns relevos residuais e poucas áreas de relevo acidentado, mais na borda esquerda da bacia próximo á cidade de Alto alegre ocorrem modificações na vegetação apresentando áreas de floresta seca, denominada floresta estacional semidecidual.

De modo geral, de acordo com o mapa de fragilidade á erosão, pode-se verificar que a Bacia Hidrográfica do Cauamé em sua maior parte demonstrou ter de médio á baixo risco de erosão, isso se deve em grande parte ao seu estado de conservação pois grande extensão encontra-se ocupada pela vegetação original (savana) e a agropecuária ainda não está sendo desenvolvida de forma tão intensa na bacia. Contudo, há alguns locais com cultivo de milho (Figura 43) e soja, inclusive com utilização de irrigações (pivôs), observados no mapa de cobertura da terra, estes locais devem ser monitorados devido á retirada da cobertura vegetal original (Figura 44) e implementação destes cultivos que podem ocasionar impactos no solo e futuramente problemas de erosão. Para Galet (1984), o solo, quando utilizado para cultivo, passa a sofrer mudanças na sua composição química, física e biológica, pois a devastação da cobertura vegetal natural, a degradação superficial oriunda de aração e dragagem, além das queimadas, exposição das partículas e escoamento superficial, enfraquecem o solo, rebaixam seu perfil, alteram sua estrutura e destroem a matéria orgânica presente.

Figura 43 – Cultivo de milho



Fonte: Autora (2020)

Figura 44 – Solo descoberto preparado para plantio



Fonte: Autora (2020)

Outra área que são necessários cuidados preventivos relativos á erosão são os locais de expansão da área urbana, pois nestes locais também é feita a retirada da cobertura vegetal para implantação de infraestrutura de loteamentos e construções residenciais e no momento do solo descoberto pode ocorrer a formação de sulcos e ravinas que causarão maiores problemas futuros, principalmente por muitos loteamentos serem criados em áreas de preservação ambiental (APP) (Figura 45), estes locais são áreas mais frágeis e protegidas por lei por serem fortemente afetados se a sua estrutura for modificada antropicamente. A remoção da mata ciliar, acúmulo irregular de lixo e alta impermeabilização da bacia urbana (ROBAINA et al., 2001) acrescem o transporte e sedimentação das partículas de solos (KELLER, 1996; USDA, 2000) impactando a frequência e intensidade das inundações em cursos d'água.

Figura 45 – Área de construção irregular localizada em APP

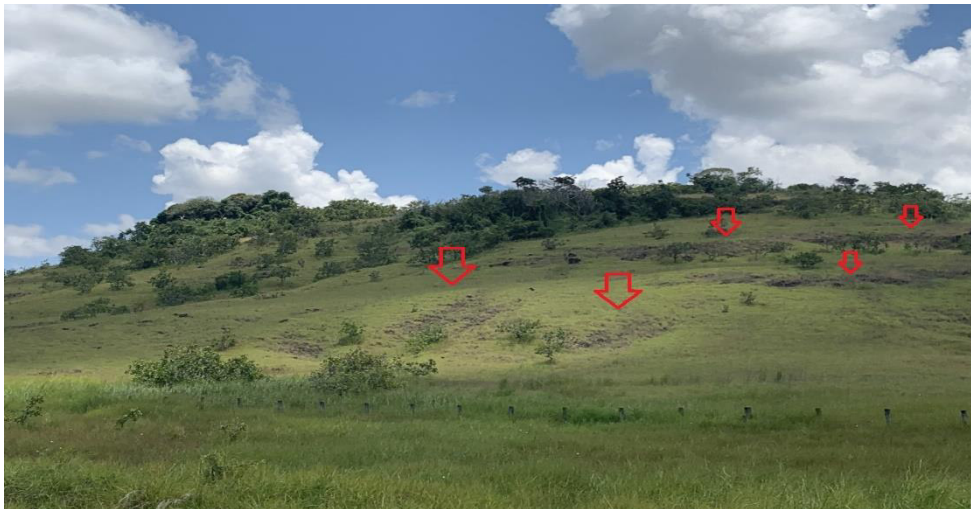


Fonte: Autora (2020)

Os locais mais frágeis á erosão observados no mapa são as bordas dos relevos residuais (Figura 46) e as áreas de mata ciliar, os relevos residuais devido á sua alta declividade são áreas de risco para produção e devem ser mantidos preservados com sua vegetação original, mesmo apresentando uma estrutura geológica mais resistente que as outras áreas da bacia; as áreas de mata ciliar também são áreas muito frágeis á erosão apresentando geralmente solos mais arenosos, como os Neossolos Quartzarênicos e Neossolos Litólicos, e se sua cobertura vegetal for removida acabam sendo facilmente carreados para dentro dos corpos hídricos. Guerra et al. (2010) aponta que estudos realizados na Inglaterra constataram que a erosão em solos arenosos acontece de forma generalizada pelas encostas e em volume maior que em solos argilosos, onde os processos erosivos ocorrem principalmente nos fundos de vale.

As áreas mais resistentes á erosão de acordo com o mapa de fragilidade seriam os locais em que há baixa declividade (áreas planas); com solos mais resistentes e profundos, os latossolos; e sem influência antrópica, com a vegetação original preservada. Isso corrobora com Mendonça (2013) que cita as características de uma área de bacia com baixa fragilidade a erosão como: Áreas que apresentam predominância de Latossolos Vermelho-Amarelo, onde o relevo é plano ou suavemente ondulado, com declividades até 12%; e as principais coberturas da terra na área são de vegetação e macega.

Figura 46 – Relevo residual na bacia com indícios de erosão



Fonte: Autora (2020)

Na bacia, a partir da visitação in loco para mapeamento da cobertura da terra, foi possível visualizar o cultivo de variados tipos de grãos (soja e milho), atividade pecuária (Figura 47) e plantações frutíferas (manga, banana, açaí, goiaba), há também a retirada de barro em alguns locais e uma pedreira (mineração Granada) de porte industrial. Em parte da bacia

também se desenvolvem atividades ligadas ao turismo envolvendo os corpos hídricos como aproveitamento de lagos, lagoas e rios da região para balneabilidade gerando renda para pequenos comércios do entorno destes locais.

Figura 47 – Atividade pecuária



Fonte: Autora (2020)

Com este trabalho pode-se perceber que o fator antrópico tem um grande peso na fragilidade á erosão dos ambientes, uma vez que o processo de antropização é capaz de transformar o meio ambiente natural e consequentemente desencadear efeitos negativos para o ambiente e para o ser humano. A bacia hidrográfica do Cauamé apresenta áreas mais suscetíveis a erosão quando se refere ao uso e ocupação do solo e a declividade, como exemplo a expansão da área urbana (Figura 48) e áreas de relevos residuais (Figuras 49 e 50).

Figura 48 – Erosão linear em área urbana (Boa vista, RR)



Fonte: Autora (2020)

Figura 49 – Erosão linear em área urbana (Boa vista, RR)



Fonte: Autora (2020)

Figura 50 – Erosão linear na bacia do Cauamé



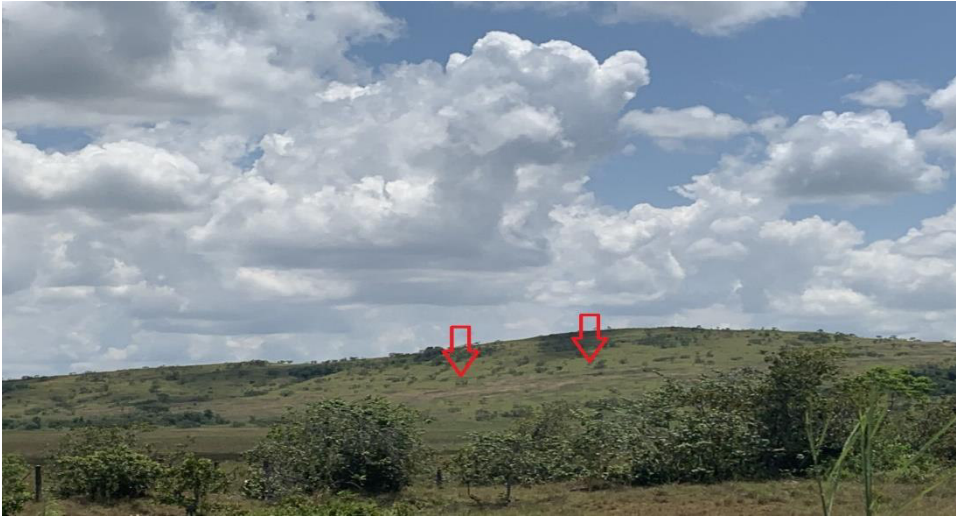
Fonte: Autora (2020)

Figura 51 – Princípio de erosão em relevo residual



Fonte: Autora (2020)

Figura 52 – Princípio de erosão em relevo residual



Fonte: Autora (2020)

5.3 CARTA DE AÇÕES MITIGADORAS DA BACIA DO CAUAMÉ

Após a discussão e elaboração dos resultados com o auxílio do mapa de fragilidade á erosão foi elaborada uma carta com indicação de ações mitigadoras (Figura 53) e recomendação de usos das áreas mais fragilizadas.

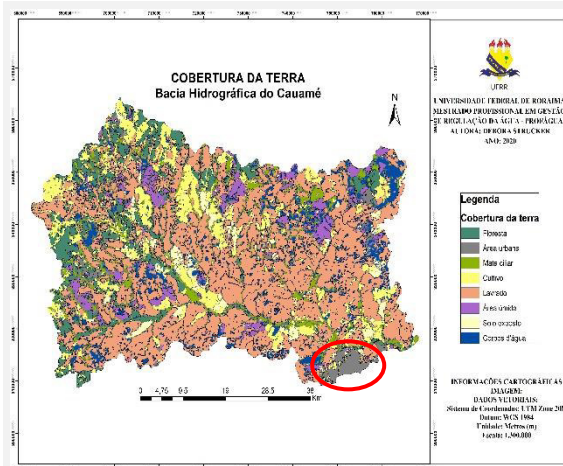
Figura 53 - Carta de ações mitigadoras

Mapa

Características na bacia

Imagem

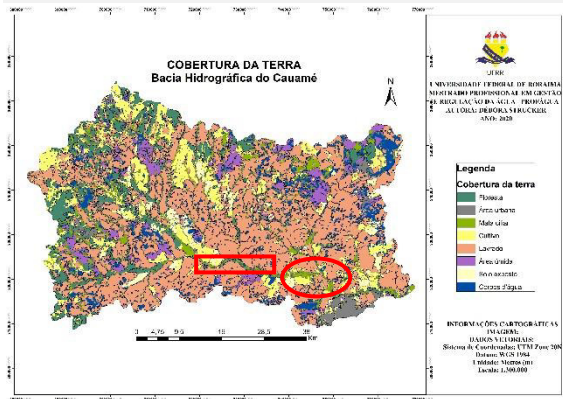
Recomendações



Áreas urbanas e de expansão



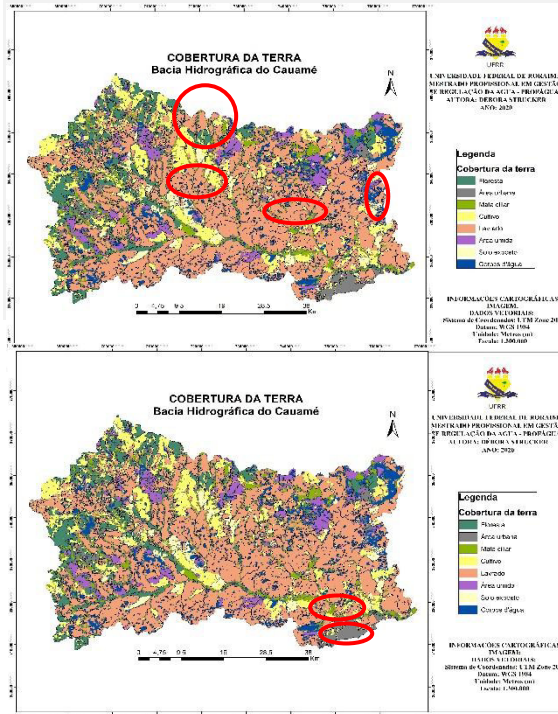
Nestas áreas é recomendado um planejamento do crescimento para que os loteamentos residenciais não avancem sobre áreas de APP. Em locais já construídos também devem ser feita uma infraestrutura de drenagem de águas pluviais reduzindo o risco de erosão. Nas áreas de expansão urbana e loteamentos em fase de implantação os terrenos com solo descoberto estão fortemente passíveis de sofrer processos de intemperismo e posterior agravamento da erosão.



Relevos residuais e áreas de mata ciliar (APP)



Estas áreas devem ser preferencialmente preservadas devido serem áreas frágeis para uso agropecuário ou fins de habitação. Se ocasionalmente forem degradadas e sofrerem processo de erosão é necessário a elaboração de um plano de recuperação de áreas degradadas (PRAD).



Áreas de produção agrícola e pecuária



As áreas mais estáveis e planas da bacia devem ser utilizadas para agricultura e pecuária, de preferência com latossolos que são solos mais profundos e bem drenados. Nestes locais utilizados para produção precisa-se levar em consideração práticas conservacionistas de manejo do solo como utilização de plantio direto e rotação de culturas.

Áreas em processo de erosão



É importante manter sempre a cobertura vegetal das áreas, as que já se encontram em processo de erosão precisam ser recuperadas com um plano de recuperação de áreas degradadas (PRAD), onde será planejado o método mais apropriado de contenção do solo e replantio de vegetação.

Fonte: Autora (2020)

5.3.2 Recomendações para medidas de prevenção á erosão na bacia

Os meios para prevenir a erosão baseiam-se fundamentalmente na adoção de um planejamento prévio em qualquer tipo de atividade ligada ao uso do solo. Segundo Oliveira et al (1987 apud SILVA, 2003) são recomendadas orientações voltadas a nível preventivo como: orientação das expansões urbanas, priorização das áreas de investimento em obras corretivas e a definição das adequações necessárias na implementação de obras viárias que passem por áreas de alta suscetibilidade à erosão.

Em locais observados com maior fragilidade á erosão, geralmente caracterizados por apresentar um terreno de declive acentuado, é aconselhável a utilização de cobertura vegetal permanente. Pois, essa técnica é de baixo custo, além de trazer boa recuperação aos solos degradados.

Se for extremamente necessária o uso das áreas de maior suscetibilidade e correlacionadas com cultivos em áreas íngremes preconiza-se a utilização do plantio em contorno (em nível), que se constitui no plantio em fileiras acompanhando as curvas de nível do terreno. Segundo Bertoni e Neto (2008) o plantio em contorno constitui uma prática de maior facilidade e eficiência no controle da erosão.

Para setores de menor suscetibilidade é aconselhável a manutenção da cobertura vegetal e, também o uso de alternância de capinas. De acordo com Bertoni e Neto (2008) esta técnica consiste em fazer a capina com a alternância de uma faixa capinada e outra não do terreno. Sendo que os resultados obtidos com essa técnica obtiveram uma redução de 30% na perda dos solos em culturas anuais.

Para que se possa prevenir o aparecimento de voçorocas ou até mesmo reduzir os impactos ocasionados por ela, existem algumas medidas que podem ser implementadas que são: (EMBRAPA, 2005).

- Interrupção da área de enxurrada sob a área da voçoroca;
- Deter a área de enxurrada na área de drenagem;
- Supressão de grotas;
- Recomposição vegetativa da área;
- Elaboração de estruturas para diminuir a velocidade da água de chuva;
- Controle da sedimentação das grotas e voçorocas ativas;
- Isolamento da área;
- Manutenção da vegetação nativa e exótica introduzida na área.

Para revegetação de áreas degradadas pode-se utilizar variadas espécies de plantas, no entanto o uso de espécies da família Leguminosae vem sendo uma proposta interessante, principalmente devido sua característica de se associarem com microrganismos do solo, como bactérias fixadoras de nitrogênio (N) e fungos micorrízicos arbusculares, no primeiro caso, transformando o nitrogênio do ar, em compostos nitrogenados assimiláveis pelos vegetais, no segundo caso, contribuindo na absorção do fósforo (P) no solo (MACHADO et al., 2006; CAMPELLO, 1998; RESENDE et al., 2006). Com as leguminosas de crescimento rápido implantadas, ocorre a adição de matéria orgânica na área através da deposição de folhas e galhos senescentes, favorecendo a melhoria das condições físicas, químicas e biológicas do substrato, e possibilitando que espécies de árvores mais exigentes em sombra, fertilidade do solo, umidade etc., de outros locais, colonizem o local, caso exista fontes de propágulos e agentes dispersores (CAMPELLO, 1998), e, com isso acabam favorecendo o retorno da fauna e flora local e a melhoria da paisagem.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O maior conhecimento das características fisiográficas da bacia e como se dá seu uso e ocupação possibilita a predição de áreas passíveis de erosão e a prevenção da instalação de processos erosivos. O mapa de fragilidade á erosão elaborado a partir da metodologia do Processo Analítico Hierárquico aponta as áreas mais frágeis quanto a erosão tanto na área urbana quanto parte rural a bacia do Cauamé.

Com este estudo pode-se observar que a área da Bacia Hidrográfica do Cauamé apresenta áreas de cultivo e uso do solo, porém em sua maior parte encontra-se ainda recoberta pela sua vegetação original. Também que as áreas mais frágeis á erosão são as áreas de APP, os relevos residuais, e áreas urbanas e de expansão devido os impactos antrópicos de retirada da cobertura vegetal.

A bacia em sua maioria apresenta relevo plano e a vegetação de savana recobre cerca de 76% da área, esses fatores que diminuem o risco de ocorrência de erosões nas regiões de vegetação conservada. Em contrapartida, as áreas com alta fragilidade á erosão se apresentam em locais de Relevos residuais devido a sua maior declividade, e nas Planícies do rio branco devido ao solo mais arenoso destes locais.

O uso do solo na bacia ocorre de maneira diversa, ocorrendo em alguns locais o uso agropecuário, contando geralmente com pequenas propriedades que produzem vários tipos de alimentos (produção de manga, milho, cana, soja) e também alguns locais e uso turístico como as praias e balneários do Cauamé e seus afluentes, assim como algumas lagoas. Desta forma percebe-se o potencial e importância para o turismo e produção agrícola da Bacia Hidrográfica do Cauamé que pode continuar se desenvolvendo, mas observando e preservando os locais mais frágeis e também recuperando áreas que já se encontram degradadas pelo uso do homem.

Conclui-se que a utilização das geotecnologias é uma maneira muito válida para realização de estudos de áreas grandes e planejamento ambiental para bacias hidrográficas. E que o conhecimento da bacia deve anteceder qualquer estudo nesta área, inclusive estudos para o enquadramento, que precisa de um diagnóstico ambiental e social e até antes da outorga. Portanto, para se fazer um planejamento de uso da bacia, primeiro se deve ter o conhecimento da paisagem da região.

REFERÊNCIAS

- ABDON, M. **Os Impactos Ambientais no Meio Físico – Erosão e Assoreamento na Bacia Hidrográfica do Rio Taquari, MS, em Decorrência da Pecuária.** 2004. 319 f. Tese de Doutorado (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental) - Programa de Pós-Graduação em Ciências da Engenharia Ambiental, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2004.
- ALMEIDA, W. S.; SOUZA, N. M.; CARVALHO, J. C. Produção de mapas de zonas homólogas de relevo e de uso do solo, a partir de dados de modelos numéricos de terreno e de imagem Quick Bird, como passos intermediários em um diagnóstico da susceptibilidade à erosão, no entorno da usina hidrelétrica Corumbá IV (GO). In: **SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO**, 14, 2009, Natal -Brasil. Anais... São José dos Campos: INPE, 2009. p. 5563-5570.
- ALVES, R. E. **Caracterização da paisagem a partir da fragilidade ambiental da Bacia Hidrográfica do Ribeirão da Picada, Jataí-GO.** 2012. 119 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal de Goiás, Jataí, 2012.
- BARBOSA, L. M. (Org.). **Manual para recuperação de áreas degradadas em matas ciliares do estado de São Paulo.** São Paulo: Instituto de Botânica, 2006. 147 p.
- BARROSO, J. **Diagnóstico Ecológico da bacia do rio Cauamé no Estado de Roraima, com a utilização de Sistema de Informações Geográficas para o Desenvolvimento Sustentável.** 2009. 77p. Dissertação (Mestrado profissional interinstitucional em Economia) – Faculdade de Ciências Econômicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Universidade Federal de Roraima, 2009.
- BASTOS, R. A. B.; BASTOS, E. J. B.; VALÉRIO FILHO, M. Mapeamento das áreas de fragilidade ambiental com risco potencial a erosão frente a ocupação urbana na região oeste do município de São José dos Campos-SP. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE CADASTRO TÉCNICO MULTIFINALITÁRIO**, 7., 2006, Florianópolis. **Anais...** p. 01-09, 2006.
- BEROUTCHACHVILI, N.; BERTRAND, G. Le gósystème ou “Système territorial natural”. **Reve Géographique des Pyrenées et du Sud-Oest**, Toulouse, v.49 n.2, p.1967-1980, 1978.
- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo.** 6. ed. São Paulo: Ícone Editora, 2008. 355 p.
- BERTRAND, G. Paisagem e geografia física global: esboço metodológico. **Caderno de Ciências da Terra.** São Paulo, n. 13, 1971. 27 p.
- BÓLOS, M. de. **Manual de ciencia del paisaje: teoría, métodos y aplicaciones.** Barcelona: Masson, 1992. 273p.
- BRASIL. Departamento Nacional de Produção Mineral. In: **Projeto Radam. Folha NA-20 Boa Vista e parte das folhas NA-21 Tumucumaque, NB-20 Roraima e NB-21: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra.** Rio de Janeiro: DNPM, 1975. 428 p.

BRASIL. Companhia de Pesquisa e Recursos Minerais. Serviço Geológico do Brasil. Superintendência Regional de Manaus. Programa levantamentos geológicos do Brasil. Roraima Central, Folhas NA. 20-X-B e NA. 20-X-D (inteiras), NA. 20-X-A, NA. 20-X-C, NA. 21-V-A e NA. 21-V-C (parciais). Brasília: CPRM, 1999. 1 CD-ROM

CALDERANO FILHO, B. et al. Estudo geoambiental do município de Bom Jardim –RJ, com suporte de Geotecnologias: Subsídios ao planejamento de paisagens rurais montanhosas. **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, v.22, n.1, p. 55-73, abr. 2010.

CÂMARA, G. et al. **Anatomia de Sistemas de Informação Geográfica**. Campinas: Instituto de computação, Unicamp, 1996. 197p.

CÂMARA, G. et al. Técnicas de inferência geográfica. In: CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M. V. **Introdução à ciência da geoinformação**. São José dos Campos: INPE, 2001. p. 241-288.

CAMARGO, M. G. de. **Sysgran**, versão 3.0, SysGran para Windows. Disponível em: <http://www.cem.ufpr.br/?page_id=527> Acesso em: 28/07/2019.

CAMPELLO, E. F. C. Sucessão vegetal na recuperação de áreas degradadas. In: DIAS, L. E.; MELLO, J. W. V. de (Orgs.). **Recuperação de áreas degradadas**. Viçosa: UFV, 1998. p. 183-194.

CAMPOS, S. et al. Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicado no uso da terra em microbacias hidrográficas, Botucatu-SP. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 24, n. 2, p. 421-430, 2004.

CARVALHO, J. C. de; LIMA, M. C.; MORTARI, D. Considerações sobre prevenção e controle de voçorocas. In: VII Simpósio Nacional de Controle de Erosão, 2001, Goiânia. **Anais...** Goiânia, 2001.

CARVALHO, T. M.; CARVALHO, C. M. Interrelation of geomorphology and fauna of Lavrado region in Roraima, Brazil suggestions for future studies. **Quaternary Science Journal**, n.61, p.146-155, 2012.

CAVALHEIRO, F.; RUEDA, J. R. J.; JESUS, N. Compartimentação do meio físico da área da serra do Japi-Jundiá (SP) em zonas de fragilidade quanto à degradação. **Espaço e Tempo**, São Paulo, n.11, p.85-100, 2002.

CEBECAUER, T.; HOFIERKA, J. The consequences of land-cover changes on soil erosion distribution in Slovakia. **Geomorphology**, v.98, p.187-198, 2008.

CHEPAK, M. F. A. Atlas Geográfico do Município de Pinhais: subsídios para a Educação Ambiental, valorização sócio ambiental do município, 2008.

COSTA, J. A.V; SCHAEFER, C. E; VALE JÚNIOR, J.F. Aspectos geológicos geomorfológicos do Estado de Roraima. **Ação Ambiental**, Viçosa, n. 32, p. 11-14, jul/ago. 2005

COTLER, H.; PRIEGO, A. El análisis Del paisaje como base para El manejo integrado de cuencas: El caso de La cuenca Lerma - Chapala. In: COTLER, H., (comp.). **El manejo integral de cuencas em México: estudos e reflexiones para orentar la política ambiental**. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Instituto Nacional de Ecología, México, 2004. p. 63-74.

CREPANI, E.; MEDEIROS, J. S. Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao estudo da vulnerabilidade aos movimentos de massa no município de Caraguatatuba - SP. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 9., 1998, Santos. **Anais**. São José dos Campos: INPE, 1998. 1 CD ROM.

COSTA, J. A. V.; FALCÃO, M. T. Compartimentação morfotectônica e implicações de evolução no relevo do hemigráben do tacutu no estado de Roraima. **Revista brasileira de geomorfologia**, v.12, n.1, p.85-94, 2011.

CUNHA, S. B. Geomorfologia Fluvial. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. **Geomorfologia uma atualização de bases e conceitos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Bertand Brasil, 1995. p. 211-252.

DIAS, J. E.; GOMES, O. V. O.; GOES, M. H. B. Áreas de riscos de enchentes no município de volta redonda: uma aplicação por geoprocessamento. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v. 2, n. 10, p. 13-25, set. 2003.

EASTMAN, J. R. Et al. Raster procedures for multicriteria/multi-objective decisions. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v. 61, n. 5, p. 539-547, may. 1995.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise do solo**. Rio de Janeiro: Embrapa/CNPS, 1997. 212p.

EMBRAPA. Práticas Mecânicas e Vegetativas para Controle de Voçorocas, 2005.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. In: REUNIÃO TÉCNICA DE LEVANTAMENTO DE SOLOS, 10, 1979, Rio de Janeiro. Súmula...Rio de Janeiro, 1979. 83p.

FARIAS, J. F.; SILVA, E. V da. Compartimentação geomorfológica da bacia hidrográfica do rio Palmeira – Ceará: subsídios ao planejamento ambiental. **Geosaberes**, Fortaleza, v.5, n. 1, p. 149-163, 2015.

FOLK, R. L.; WARD, W. Brazos river bar: a study in the significance of grain size parameters. **Journal of Sedimentary Research**, 27: 1957, p. 3 – 26.

GALET, P. A. **Práticas de controle à erosão**. Instituto Campineiro de Ensino Agrícola; Campinas, 1984.

GOMES, N. M. et al. Variabilidade espacial de atributos físicos do solo associados ao uso e ocupação da paisagem. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.11, n.4, p.427-435, 2007.

GOMES, P. C. da G. **Geografia e modernidade**. 2 ed. Rio de Janeiro: Bertrand, 2000.

GRANZIERA, M. L. M. **Direito de águas: disciplina jurídica de águas doces**. São Paulo: Atlas, 2001.

GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. **Geomorfologia: exercícios, técnicas e aplicações**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1996.

GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S.; & BOTELHO, R. G. M. (Org). **Erosão e Conservação dos Solos: conceitos, temas e aplicações**. 2ª Ed. Rio de Janeiro. Bertrand Brasil. 2005.

GUIMARÃES, C. N. **Mapeamento geotécnico da bacia córrego da Barra, aplicação do penetrômetro de impacto em estudos de processos erosivos, São Pedro - SP - escala 1:10.000**. 2008. 108 f. Dissertação (Mestrado) - Departamento de Geotecnia, Universidade de São Paulo, Campus São Carlos, São Carlos, 2008.

HADLICH, G. M. Análise de relações entre declividade e uso do solo com auxílio do geoprocessamento, município de Sombrio, SC. In: VI SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA, 6., 2006. Goiânia. **Anais...** Goiânia: UFG, 2006.

HERMUCHE, P. M.; GUIMARÃES, G. M. A.; CASTRO, S. S. Análise dos compartimentos morfopedológicos como subsídio ao planejamento do uso do solo em Jataí – GO. **GEOUSP - Espaço e Tempo**, São Paulo, n.26, p. 113 - 131, 2009.

HIRUMA, S. T.; PONÇANO, W. L. Densidade de drenagem e sua relação com fatores geomorfopedológicos na área do alto Rio Pardo - SP e MG. **Revista do Instituto Geológico**, São Paulo, v.15, n.1, p.49-57, 1994.

IBGE. **Manual técnico de pedologia**. 2. ed. Rio de Janeiro, 2007. 316 p.

INMET. **Instituto nacional de meteorologia**. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/>>. Acesso em: 05/08/2019

INTERNATIONAL CONFERENCE ON WATER AND THE ENVIRONMENT: DEVELOPMENT ISSUES FOR THE 21ST CENTURY, 1992, Dublin, Ireland. **The Dublin Statement on Water and Sustainable Development**. p. 26-31, 1992.

KELLER, E. A. **Environmental geology**. 7.ed. Upper SaddleRiver : Prentice Hall, 1996. 560p.

LANNA, A. E. **Instrumentos de Planejamento e Gestão Ambiental para a Amazônia, Cerrado e Pantanal: demandas e propostas: metodologia de gerenciamento de bacias hidrográficas**. Brasília: Ibama, 2001. 59 p.

LEME, S. M. **Relevo, processos geocológicos e sócio/reprodutores e a fragilidade ambiental da bacia do ribeirão Piracicamirim/ SP**. 2007. 194 f. Tese (Doutorado em Geografia) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

LEPSCH, I. F (coord.). Manual para levantamento utilitário do meio físico e classificação de terras no sistema de capacidade de uso. **Sociedade Brasileira da Ciência do Solo**, Campinas – SP, 1983.

- LEPSCH, I. **Solos: Formação e Conservação**. São Paulo: Edição Melhoramentos, 1977.
- MACHADO, R. L. et al. Recuperação de voçorocas em áreas rurais. Seropédica, Embrapa Agrobiologia, 2006. p. 1-63 (Embrapa Agrobiologia. Sistemas de Produção, 4).
- MAFRA, N. M. C. Erosão e planificação de uso do solo. In: GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S.; BOTELHO, R. G. M. **Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2009.
- MAGALHÃES, R. A. Erosão: Definições, Tipos e Formas de Controle. In: VII Simpósio Nacional de Controle de Erosão, 2001, Goiânia. **Anais...** Goiânia, 2001.
- MALCZEWSKI, J. GIS and Multicriteria Decision Analysis. John Wiley & Sons, New York, 1999.
- MALCZEWSKI, J. GIS-based land-use suitability analysis: a critical overview. **Progress in Planning,Amsterdã**, v. 62, n. 1, p. 3-65, jul. 2004.
- MARTINELLI, M.; PEDROTTI, F. A cartografia das unidades de paisagem: questões metodológicas. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, n. 14, p. 39-46, 2001.
- MEIRELLES; M. S. P.; MOREIRA, F. R.; CAMARA, G. Técnicas de Inferência Espacial. In: MEIRELLES, M. S. P.; CAMARA,G.; ALMEIDA, C. M. **Geomática: modelos e aplicações ambientais**. Brasília: Informação Tecnológica, 2007. p. 107-189.
- MELO, R. M.; MELO, I. D. F.; ALBUQUERQUE JÚNIOR, E. C. Proposição de metodologia baseada em análise multicriterial (AHP) para avaliação de níveis de vulnerabilidade ambiental no estuário do Rio Formoso, PE. In: III Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação (SIMGEO), 2010, Recife. **Anais...** Recife: Universidade Federal de Pernambuco, 2010. p. 1-9.
- MENDONÇA, F. **Geografia física: ciência humana?**. 3 ed. São Paulo: Cortez, 1992.
- MENDONÇA, F. **Geografia e meio ambiente**. São Paulo: Cortez, 1993.
- MENDONÇA, P. R. **Características hidrogeomorfológicas das bacias hidrográficas dos rios Santa maria do rio doce e Santa joana/ES**. 2013, 141p. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Pós-Graduação em Geografia do Centro de Ciências Humanas e Naturais, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória – ES, 2013.
- MENESES, M. E. N. da S. **Os lagos do entorno da cidade de boa vista – Roraima: aspectos fisiográficos, granulométricos, mineralógicos e químicos dos sedimentos e físico-químicos das águas**. 2006, 111p. Dissertação (Mestrado em Geoquímica e Petrologia) – Pós-graduação em Geoquímica e Petrologia, Universidade Federal de Pará, Belém – PA, 2006.
- METZGER, J. P. O que é Ecologia de Paisagens? **Revista Eletrônica Biota Neotrópica**, Campinas, 2001, v.1, n.1. Disponível em: <http://www.biotaneotropica.org.br/v1n12/pt/abstract?thematic-review+BN00701122001>. Acesso em: 16 de agosto de 2019.

MINELLA, J. P. G. et al. Identificação e implicações para a conservação do solo das fontes de sedimentos em bacias hidrográficas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, p.1637-1646, 2007.

MOREIRA, F. R. S. **Uso e avaliação de técnicas de integração e análise espacial de dados em pesquisa mineral aplicadas ao planalto de Poços de Caldas**. 2001. 164 p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, São Paulo, 2001.

MOURA, D. V.; SIMÕES C. da S. A evolução histórica do conceito de paisagem. **Ambiente e Educação: revista de educação ambiental**, Universidade Federal do Rio Grande (FURG), v. 15, n.1, p. 179-186. 2010.

NASCIMENTO, F. R. **O fenômeno da desertificação**. Goiânia: Editora UFG, 2013. 240 p.

NOGUCHI, M. T. G. **Um sistema baseado em regras fuzzy para classificação supervisionada de imagens multiespectrais de alta resolução**. 2004. 150 f. Dissertação (Mestrado em Informática) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.

NOVO, E. M. L. M. **Sensoriamento Remoto: princípios e aplicações**. Ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1992.

NUNES, M. C. M. **Erosão hídrica em entressulcos de latossolos do Rio Grande do Sul**. 2006, 160 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.

OLIVEIRA, D. V. **Comportamento de Gramíneas Nativas do Lavrado de Roraima Submetidas ao Sombreamento Artificial**. Trabalho de Conclusão de Curso – Curso de Zootecnia, Universidade Federal de Roraima. Boa Vista, 31p. 2011.

OLIVEIRA, J. C.; FORMAGGIO, A. R.; EPIPHANIO, C. N. Index for the evaluation of segmentation (IAVAS): an application to agriculture. **Mapping Science and Remote Sensing**, v. 40, n. 3, p. 155-169, 2003.

PAES, F. S. **Áreas de Preservação Permanente em bacias hidrográficas e sua importância na prevenção da perda de solo por erosão**. 2010. 73 f. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Recursos Hídricos) - Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA, Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2010.

PINESE JÚNIOR, J. F.; RODRIGUES, S. C. O método de análise hierárquica – AHP – como auxílio na determinação da vulnerabilidade ambiental da bacia hidrográfica do rio Piedade (MG). **Revista do Departamento de Geografia – USP**, São Paulo, v. 23, p. 4-26, 2012.

PISSARRA, T. C. T. **Avaliação quantitativa das características geomórficas de microbacias hidrográficas de 1ª ordem de magnitude em quatro posições do sistema de drenagem**. 1998. 124 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 1998.

PRUSKI, F. F. Prejuízos Decorrentes da Erosão Hídrica e Tolerância de Perdas de Solo. In: PRUSKI, F. F. **Conservação de solo e água**. Viçosa: Editora UFV. 2006. p. 13-25.

QUEIROZ, P. H. B. 2010. 198 f. **Planejamento Ambiental Aplicado a um Setor da Bacia Hidrográfica do Rio Pacoti – CE**. 2010. 208 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Pós Graduação em Geografia, Universidade Federal do Ceará, 2010.

REICHARDT, K. **Processos de transferência no sistema solo-planta-atmosfera**. 4 ed. Campinas: Fundação Cargill, 1985. 445 p.

REIS NETO, R. A. **Geomorfologia e Neotectônica da Bacia do Rio Cauamé. Boa Vista-RR** 2007. 95 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Naturais) - Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais, Universidade Federal de Roraima, 2007.

RESENDE, A. S. de. et al. Recuperação de áreas degradadas através da reengenharia ecológica. In: GARAY, I.; BECKER, B. K (Orgs). **Dimensões humanas da biodiversidade: o desafio de novas relações sociedade-natureza no século XXI**. Petrópolis: Editora Vozes, 2006. p. 315-340.

RICHARDS, A. J. A comparison of methods for monitoring multi-temporal vegetation change using thematic mapper imagery. **Remote Sensing of Environment**, 1986.

ROBAINA, L. E. et al. Análise dos ambientes urbanos de risco do município de Santa Maria – RS. **Ciência & Natura**, v.23, p.139-152, 2001.

ROCHA, J. S. M. DA; KURTS, S. M. J. M. **Manual de manejo integrado de bacias hidrográficas**. 4 ed. Santa Maria: UFSM/CCR, 2001. 120 p.

RODRIGUEZ, J. M. M; SILVA, E. V. da; CAVALCANTI, A. P. B. (orgs.) **Geoecologia das Paisagens: uma visão geossistêmica da análise ambiental**. 4 ed. Fortaleza: Edições UFC, 2013.

ROSA, R.; BRITO, J. L. S. **Introdução ao Geoprocessamento: Sistema de Informações Geográficas**. Uberlândia, 1996.

ROY, B. **Multicriteria methodology for decision aiding**. Dordrecht: Springer US, 1996. 293 p.

SANTOS, S. B. dos. **Análise do uso e ocupação do solo de Áreas de Preservação Permanente utilizando ferramentas de SIG na gestão de bacias hidrográficas: o caso da bacia hidrográfica do ribeirão São Lourenço**. 2007. 84 p. Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia da Energia) - Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2007.

SCHAEFER, C. E. R.; VALE JÚNIOR, J. F. Mudanças Climáticas e evolução da paisagem em Roraima: uma Resenha do Cretáceo ao Recente. In: BARBOSA, R. I.; FERREIRA, E. J. G.; CASTELLÓN, E. G. (Ed). **Homem, Ambiente e Ecologia no Estado de Roraima**. Manaus: INPA, 1997. p.231-265.

SILVA, A.; SCHULZ, H. E.; CAMARGO, P. B. **Erosão e Hidrossedimentologia em Bacias hidrográficas**. São Carlos: Rima Editora, 2003.

SILVA, A. S. da. Análise morfológica dos solos e erosão. In: GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S.; BOTELHO, R. G. M.. **Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2009.

SILVA, C. B. da.; PONTES, D. dos S.; CABRAL, J. F. Geotecnologias aplicadas ao estudo de bacias hidrográficas. In: Encontro Nacional de Geógrafos, 18., 2016, São Luís. **Anais...** São Luís, 2016.

SILVA, D. D. et al. Efeito da cobertura nas perdas de solo em um Argissolo Vermelho-Amarelo utilizando simulador de chuva. **Engenharia Agrícola**, v.25, n.2, p.409-419, 2005.

SILVA, D. A. da. et al. Características geomorfológicas e a atuação antrópica na formação da atual paisagem em Boa vista, Bonfim e Pacaraima. **Revista acta geográfica**. v.3, n.6, p. 55-64, 2009.

SILVA, R. C. da. **Análise das áreas susceptíveis á erosão na bacia do Arroio Pelotas (RS), com o auxílio do geoprocessamento**. 2009. 140 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Fundação Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande, 2009.

SILVEIRA, A.; CUNHA, C. M. L. da. A influência da declividade nos processos erosivos da bacia do tijuco preto – SP. In: VI Simpósio Nacional de Geomorfologia, 2006, Goiânia. **Anais...** Goiânia, 2006.

SLOCOMBE, D.S. Environmental planning, ecosystem science and ecosystem approaches for integrating environment and development. **Environmental Management**. New York, nº 17, nº 3, 1993.

SOPPER, W. E. Effects of timber harvesting and related management practices on water quality in forested watersheds. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v.4, n.1, p.24-9, 1975.

SPAROVEK, G. et al. A revisão do Código Florestal brasileiro. **Novos estudos**. - CEBRAP, São Paulo, n. 89, Mar. 2011.

SUGUIO, K. **Geologia do Quaternário**. Oficina de Texto – São Paulo, 2010, 300p.

TANCREDI, N. S. H.; BORGES, M. S. Aplicação de geoprocessamento na análise ambiental das bacias hidrográficas do igarapé Juruti Grande e rio Aruã-Juruti-Pará. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 16., 2009, Natal. **Anais...** Natal: INPE, 2009. p. 6321-6328.

USDA-NRCS. Erosion and sedimentation on construction site. Urban Technical Note N° 1, march,2000b. Capturado em 15 de maio de 2002. Online. Disponível na Internet <http://www.statlab.iastate.edu/survey/SQI/pdf/u02d.pdf>

VALLE, I. C.; FRANCELINO, M. L.; PINHEIRO, H. S. K. Mapeamento da fragilidade ambiental do Rio Aldeia Velha, RJ. **Floresta e Ambiente**, Rio de Janeiro, v.23, n.2, p.295-308, 2016.

VELOSO, H. P. et al. Capítulo IV - Vegetação: As regiões fitoecológicas, sua natureza e seus recursos econômicos, estudo fitogeográfico. Folha NA. 20 Boa Vista e parte das folhas NA. 21

Tumucumaque, NB.20 Roraima e NB.21. In: **Projeto Radam Brasil**. Rio de Janeiro, 1975, p.305-404.

VOLK, L. B. S. **Condições físicas da camada superficial do solo resultantes do seu manejo e indicadores de qualidade para redução da erosão hídrica e do escoamento superficial**. 2006. 149 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo), Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. **Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning**. Washington: USDA, Agriculture handbook, 1978. 57 p.

ZADEH, L. A. Fuzzy sets. **Information and control**. 1965. v. 8, p. 338-353.

APÊNDICE

```

{
// Programa para espacialização (criação de superfície contínua) fuzzy para Declividade

// Declaração
Numerico var1, var2("declividade");

// Instanciação
var1=Recupere(Nome="declive");
var2=Novo(Nome="declive_fuzzy", ResX=30, ResY=30, Escala=70000, Min=0, Max=1);

//Operação
var2=((var1>1&&var1<45)?(var1*0.0083)+0.625:
(var1<=1)?(var1*0):
(var1>=45)?(var1*0)+1:
Digital(0));

}

{
//Programa para criação da superfície contínua das unidades geomorfológicas
//Declaração
Tematico var1("CAT_Tematico");
Numerico var2, var3, var4, var5, var6 ("CAT_MNT");
Numerico var7("Rel_Pond");

//Instanciação
var1=Recupere(Nome="relevo2");
var2=Recupere(Nome="Dist_DBV");
var3=Recupere(Nome="Dist_PMU");
var4=Recupere(Nome="Dist_PRB");
var5=Recupere(Nome="Dist_RR");
var6=Recupere(Nome="Dist_SO");
var7=Novo(Nome="Geomorfo_fuzzy3", ResX=30, ResY=30, Escala=70000, Min=0,
Max=1);

//Operação
var7=((var2<100&&var1=="DBV")?((var2*0.005)+0.5)*0.30:
(var3<100&&var1=="PMU")?((var3*0.005)+0.5)*0.14:
(var4<100&&var1=="PRB")?((var4*0.005)+0.5)*0.40:
(var5<100&&var1=="RR")?((var5*0.005)+0.5)*0.06:
(var6<100&&var1=="SO")?((var6*0.005)+0.5)*0.10:
(var1=="DBV"&&var2>=100)? Digital(1)*0.30:
(var1=="PMU"&&var3>=100)? Digital(1)*0.14:
(var1=="PRB"&&var4>=100)? Digital(1)*0.40:
(var1=="RR"&&var5>=100)? Digital(1)*0.06:
(var1=="SO"&&var6>=100)? Digital(1)*0.10:
Digital(0));

}

```

```

{
//Programa para criação da superfície contínua das classes de solos
//Declaração
Tematico var1("CAT_Tematico");
Numerico var2, var3, var4, var5, var6, var7, var8, var9 ("CAT_MNT_solos");
Numerico var10("Solos_Pond");

//Instanciação
var1=Recupere(Nome="solos");
var2=Recupere(Nome="dist_LAd1");
var3=Recupere(Nome="dist_LAd4");
var4=Recupere(Nome="dist_LVe");
var5=Recupere(Nome="dist_PVAd1");
var6=Recupere(Nome="dist_PVAd2");
var7=Recupere(Nome="dist_RLd1");
var8=Recupere(Nome="dist_RLd2");
var9=Recupere(Nome="dist_Alu");
var10=Novo(Nome="Solos_fuzzy", ResX=30, ResY=30, Escala=70000, Min=0, Max=1);

//Operação
var10=((var2<200&&var1=="LAd1")?((var2*0.0025)+0.25)*0.025:
(var3<200&&var1=="LAd4")?((var3*0.0025)+0.25)*0.025:
(var4<200&&var1=="LVe")?((var4*0.0025)+0.25)*0.05:
(var5<200&&var1=="PVAd1")?((var5*0.0025)+0.25)*0.10:
(var6<200&&var1=="PVAd2")?((var6*0.0025)+0.25)*0.10:
(var7<200&&var1=="RLd1")?((var7*0.0025)+0.25)*0.20:
(var8<200&&var1=="RLd2")?((var8*0.0025)+0.25)*0.20:
(var9<200&&var1=="Alu")?((var9*0.0025)+0.25)*0.30:
(var1=="LAd1"&&var2>=200)? Digital(1)*0.025:
(var1=="LAd4"&&var3>=200)? Digital(1)*0.025:
(var1=="LVe"&&var4>=200)? Digital(1)*0.05:
(var1=="PVAd1"&&var5>=200)? Digital(1)*0.10:
(var1=="PVAd2"&&var6>=200)? Digital(1)*0.10:
(var1=="RLd1"&&var7>=200)? Digital(1)*0.20:
(var1=="RLd2"&&var8>=200)? Digital(1)*0.20:
(var1=="Alu"&&var9>=200)? Digital(1)*0.30:
Digital(0));

}

```

```

{

```

```

//Programa para criação da superfície contínua das unidades de vegetação
//Declaração
Tematico var1("CAT_Tematico");
Numerico var2, var3 ("CAT_MNT_vegetação");
Numerico var4("vegetação_Pond");

//Instanciação
var1=Recupere(Nome="vegetal");
var2=Recupere(Nome="dist_SAV");
var3=Recupere(Nome="dist_FESD");
var4=Novo(Nome="vegetal_fuzzy", ResX=30, ResY=30, Escala=70000, Min=0, Max=1);

//Operação
var4=((var2<200&&var1=="SAV")?((var2*0.0025)+0.5)*0.75:
(var3<200&&var1=="FESD")?((var3*0.0025)+0.5)*0.25:
(var1=="SAV"&&var2>=200)? Digital(1)*0.75:
(var1=="FESD"&&var3>=200)? Digital(1)*0.25:
Digital(0));

}

{
// Programa para fatiamento do mapa de Cobertura da Terra
// Parte 1 - Declaracao
// Declaracao de Variaveis
Numerico var1 ("CAT_MNT");
Tematico var2 ("CAT_Tematico");
Tabela tabfatia (Fatiamento);
// Definicao da tabela de fatiamento
tabfatia= Novo (
CategoriaFim = "CAT_Tematico",
[0.9, 1.0] : "Floresta",
[1.1, 5.0]: "urbana",
[5.1, 100.84]: "exposto",
[100.85, 202.14]: "ciliar",
[202.15, 288.96]: "cultivo",
[288.97, 290.41]: "savana",
[290.42, 368.55]: "umida",
[368.56, 370]: "agua");
// Parte 2 - Instanciacao
// Recuperacao do PI de Declividade Numerica
var1 = Recupere (Nome = "cobertura_MNT");
// Geracao do PI de saida
var2 = Novo (Nome = "cobertura3", ResX = 30, ResY = 30, Escala = 70000);
// Parte 3 - Operacao
// Operacao de Fatiamento
var2 = Fatie (var1,tabfatia);

}

{

```

```

//Programa para podenderar as classes de cobertura da Terra
// Parte 1- Declaracao
// Definição de Variaveis
Tematico var1 ("CAT_Tematico");
Tabela tabpeso (Ponderacao);
Numerico var2 ("Cobertura_Pond");
// Definicao da Tabela de Pesos
tabpeso = Novo (CategoriaIni = "CAT_Tematico", "Floresta": 0.05,
"urbana": 0.20,
"exposto": 0.25,
"ciliar": 0.06,
"cultivo":0.15,
"savana":0.12,
"umida":0.17,
"agua":0.0);
// Parte 2 - Instanciacao
// Recuperacao do mapa de solos
var1 = Recuperere (Nome = "cobertura3");
// Criacao do novo mapa de solos ponderado
var2 = Novo (Nome = "cobeturapond", ResX = 30, ResY = 30, Escala = 70000);
// Parte 3 - Operacao de Ponderacao
var2 = Pondere (var1, tabpeso);
}

{
//Programa para ponderar os fatores de influência na vulnerabilidade
// Pesos a ser aplicados
// CAT_Imagem = 0.278
// Cobertura_Pond = 0.481
// Rel_Pond = 0.117
// Solos_Pond = 0.055
// vegeta??o_Pond = 0.034

// Razao de consistência
// CR = 0.060

// Programa em LEGAL
// Este programa deve ser completado
// pelo usuario para incluir os dados
// apresentados entre os sinais de <>

// Definicao dos dados de entrada

Numerico var1 ("declividade");
Numerico var2 ("Cobertura_Pond");
Numerico var3 ("Rel_Pond");
Numerico var4 ("Solos_Pond");
Numerico var5 ("vegetação_Pond");

// Definicao do dado de saida

```

```
Numerico var6 ("CAT_MNT");

// Recuperacao dos dados de entrada

var1 = Recuperere (Nome="declive_fuzzy");
var2 = Recuperere (Nome="coberturapond");
var3 = Recuperere (Nome="Geomorfo_fuzzy");
var4 = Recuperere (Nome="Solos_fuzzy");
var5 = Recuperere (Nome="vegetal_fuzzy");

// Criacao do dado de saida

var6 = Novo (Nome="vulneravel", ResX=30, ResY=30, Escala=70000,
Min=0, Max=1);

// Geracao da media ponderada

var6 = 0.278*var1 + 0.481*var2+ 0.117*var3+ 0.055*var4+ 0.034*var5;
}
```