



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE FILOSOFIA E CIÊNCIAS HUMANAS
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS GEOGRÁFICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

LEANDRO DIOMÉRIO JOÃO DOS SANTOS

**CENÁRIOS DE SUSCETIBILIDADE AOS PROCESSOS EROSIVOS NA BACIA
HIDROGRÁFICA DO ARIPIBÚ - PERNAMBUCO**



Recife

2020

LEANDRO DIOMÉRIO JOÃO DOS SANTOS

**CENÁRIOS DE SUSCETIBILIDADE AOS PROCESSOS EROSIVOS NA BACIA
HIDROGRÁFICA DO ARIPIBÚ - PERNAMBUCO**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal de Pernambuco, como Requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Geografia. Área de concentração: Regionalização e Análise Regional.

Orientador: Prof. Dr. Osvaldo Girão da Silva

Recife

2020

Catálogo na fonte
Bibliotecária Maria do Carmo de Paiva, CRB4-1291

S237c Santos, Leandro Diomério João dos.
Cenários de suscetibilidade aos processos erosivos na Bacia Hidrográfica do
Aripibú – Pernambuco / Leandro Diomério João dos Santos. – 2020.
204 f. : il. ; 30 cm.

Orientador: Prof. Dr. Osvaldo Girão da Silva.
Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Pernambuco, CFCH.
Programa de Pós-Graduação em Geografia, Recife, 2020.
Inclui referências.

1. Geografia. 2. Bacias hidrográficas. 3. Erosão. 4. Aripibú, Rio (PE). I. Silva,
Osvaldo Girão da (Orientador). II. Título.

910 CDD (22. ed.)

UFPE (BCFCH2021-189)

LEANDRO DIOMÉRIO JOÃO DOS SANTOS

**CENÁRIOS DE SUSCETIBILIDADE AOS PROCESSOS EROSIVOS NA BACIA
HIDROGRÁFICA DO ARIPIBÚ - PERNAMBUCO**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal de Pernambuco, como Requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Geografia. Área de concentração: Regionalização e Análise Regional.

Aprovado em: 09/07/2020.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Osvaldo Girão da Silva (Orientador – Examinador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Antonio Carlos de Barros Corrêa (Examinador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Lucas Costa de Souza Cavalcanti (Examinador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Daniel Rodrigues de Lira (Examinador Externo)
Universidade Federal de Sergipe

Profa. Dra. Manuella Vieira Barbosa Neto (Examinadora Externa)
Instituto Federal de Pernambuco

A Deus, Todo Poderoso, criador de todas as coisas do universo,
Aos meus pais, Diomério João dos Santos (*In Memoriam*) e Lindalva Maria dos Santos,
A minha esposa Lindiane Cibele de Sousa Santos.

AGRADECIMENTOS

A Deus agradeço primordialmente por ter me concebido todo o necessário para ter concluído esta tese e estar na sua graça, sempre alcançando benefícios no decorrer da minha vida acadêmica e pessoal.

Em nome de Jesus Cristo, fico muito grato a toda a minha família, em especial aos meus pais (Diomério João dos Santos falecido no ano de 2004 e Lindalva Maria dos Santos) os quais ajudaram e, ainda, contribuem, de maneira salutar, para o meu desenvolvimento como cidadão crítico a realidade apresentada a mim do mundo.

Ao meu orientador o Prof. Dr. Osvaldo Girão, por toda ajuda, disponibilidade, paciência, orientações e correções nas quais ajudaram a chegar no atual estágio de desenvolvimento acadêmico e pessoal.

Agradecimento aos professores da banca examinadora, pela participação e contribuições referidas para o enriquecimento da pesquisa.

Uma gratidão especial a Carla Suelania, a George Oliveira e a Wemerson Flávio, amigos imprescindíveis nas contribuições no decorrer do doutorado.

Aos companheiros do GEQUA, pela colaboração, pelos momentos de descontração, como também por todo apoio e palavras de motivação.

Ao programa de Pós-graduação em Geografia da UFPE, especialmente a Eduardo Veras por toda ajuda profissional e gentileza.

E deixo o meu muito obrigado a todos os docentes que contribuíram significativamente no processo de ensino-aprendizagem do doutorado.

A todos os não citados aqui dos quais contribuíram de forma direta ou indireta na pesquisa os meus sinceros agradecimentos.

“Talvez não tenha conseguido fazer o melhor, mas lutei para que o melhor fosse feito. Não sou o que deveria ser, mas Graças a Deus, não sou o que era antes” (KING, Marthin Luther ,1963).

RESUMO

O processo erosivo faz parte natural do desenvolvimento da superfície terrestre, sendo a ocorrência da erosão um dos condicionantes da dinâmica processual da paisagem terrestre. Os agentes desencadeadores da erosão são diversos, destacando-se a erosão hídrica promovida pelos eventos pluviais, atuante em várias partes do planeta, inclusive na área de pesquisa, a Bacia Hidrográfica do Aripibú (BHRA), inserida totalmente no estado de Pernambuco, na Mesorregião da Mata pernambucana, especificamente na Microrregião da Mata Meridional. A problemática central da pesquisa é o diagnóstico do grau de susceptibilidade da BHRA ao processo erosivo linear. A metodologia e os procedimentos para a constituição da tese foram agrupados em bases cartográficas, índices morfométricos, trabalhos técnicos de campo, análises laboratoriais e estruturação da suscetibilidade a erosão. O método primordial foi o modelo de tomada de decisão Analytic Hierarchy Process (AHP), o qual permite verificar a importância de cada elemento condicionante do processo erosivo, atribuindo-se pesos distintos e gerando uma hierarquia para a produção do resultado. A tese usou sete critérios para análise e confecção dos cenários, sendo eles: geologia, geomorfologia, curvatura da encosta, declividade, precipitação, solos, cobertura e uso da terra. Os resultados foram divididos em três partes, a primeira aborda as unidades de paisagem e os índices morfométricos aplicados na bacia. A segunda elenca o grau de suscetibilidade a erosão linear para os critérios individualmente e em seguida a hierarquização destes, na constituição dos cenários. A última parte valida a metodologia e os resultados da suscetibilidade a erosão. Os índices morfométricos evidenciaram que a bacia é: pequena, alongada, contorno irregular, naturalmente não está sujeita a grandes inundações, possui em média altitude baixa indo de 76 até 267 m, declividade de 0° a $> 27^\circ$, tendo $3,97 \text{ km}^3$ de volume erodido, é bem drenada com densidade de drenagem de $2,186 \text{ km/km}^2$, o canal principal tem 25 km de extensão, nível intermediário de sinuosidade e a bacia hidrográfica é de 5º ordem. A associação dos elementos naturais e antrópicos na BHRA permitiu a constituição de 4 unidades de paisagem: colinas de topos estreitos e usos diversos, colinas de topos largos e culturas temporárias, planície fluvial urbanizada e planícies e colinas dissecadas com usos diversos. O diagnóstico dos cinco cenários demonstrou resultados diferentes para os três níveis de suscetibilidade a erosão. Os condicionantes aos processos erosivos foram: cobertura e uso da terra, declividade, precipitação, solos, formato da encosta, relevo e estrutura geológica. A suscetibilidade alta de ocorrência da erosão na BHRA está associada, principalmente, aos elementos: encostas das colinas, solos bem desenvolvidos, maiores declividades, precipitação e o cultivo da cana-de-açúcar. Os resultados reafirmam a

importância da tese em analisar o grau de susceptibilidade aos processos erosivos lineares, pois os prejuízos causados pela erosão linear são de conjuntura ambiental, econômica, política e social.

Palavras-chave: Bacia hidrográfica; erosão linear. rio Aripibú; ravinas e voçorocas.

ABSTRACT

The erosion process is a natural part of the development of the terrestrial surface, the occurrence of erosion being one of the conditioning factors of the process dynamics of the terrestrial landscape. The agents that trigger erosion are diverse, with emphasis on water erosion promoted by rain events, operating in several parts of the planet, including in the research area, the Hydrographic Basin of the Aripibú River (BHRA), fully inserted in the state of Pernambuco, in Mesoregion of Mata Pernambuco, specifically in the Microregion of Mata Meridional. The central problem of the research is the diagnosis of the degree of susceptibility of BHRA to the linear erosive process. The methodology and procedures for the constitution of the thesis were grouped in cartographic bases, morphometric indices, technical field work, laboratory analysis and structuring of susceptibility to erosion. The primary method was the Analytic Hierarchy Process (AHP) decision-making model, which allows verifying the importance of each conditioning element of the erosion process, assigning different weights and generating a hierarchy for the production of the result. The thesis used seven criteria for analyzing and making the scenarios, namely: geology, geomorphology, slope curvature, slope, precipitation, soils and land use and occupation. The results were divided into three parts, the first addressing the landscape units and the morphometric indices applied in the basin. The second lists the degree of susceptibility to linear erosion for the individual criteria and then their hierarchy, in the constitution of the scenarios. The last part validates the methodology and results of susceptibility to erosion. The morphometric indices showed that the basin is: small, elongated, irregularly contoured, naturally not subject to major flooding, it has a medium low altitude ranging from 76 to 267 m, slope from 0 ° to > 27°, with 3, 97 km³ of eroded volume, it is well drained with drainage density of 2,186 km / km², the main channel is 25 km long, intermediate level of sinuosity and the hydrographic basin is of 5th order. The association of natural and man-made elements in BHRA allowed the constitution of 4 landscape units: Hills with narrow tops and different uses, Hills with wide tops and temporary crops, Urbanized river plains and Plains and hills dissected with different uses. The diagnosis of the five scenarios showed different results for the three levels of susceptibility to erosion. The conditions for erosive processes were: land use and occupation, declivity, precipitation, soils, slope shape, relief and geological structure. The high susceptibility to the occurrence of erosion in BHRA is mainly associated with the elements: hillsides, well-developed soils, greater slopes, precipitation and the cultivation of sugarcane. The results reaffirm the importance of the thesis in analyzing the

degree of susceptibility to linear erosive processes, since the damage caused by linear erosion is of an environmental, economic, political and social context.

Keywords: Hydrographic basin; linear erosion; Aripibú river; ravines and gullies.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -	Mapa de localização da bacia hidrográfica do Aripibú	29
Figura 2 -	Mapa político administrativo da bacia hidrográfica do Aripibú	29
Figura 3 -	Elementos de uma bacia hidrográfica	39
Figura 4 -	Zonas de processos dominantes de uma bacia hidrográfica	39
Figura 5 -	Diagrama de Venn, como exemplo da aplicação de operadores da lógica Booleana para dois conjuntos (A e B)	43
Figura 6 -	Diferença de limites entre os conjuntos Fuzzy e Booleano	44
Figura 7 -	Analogia entre a Lógica Clássica e a Logica Fuzzy	44
Figura 8 -	Etapas e estágios do procedimento da AHP	47
Figura 9 -	Classificação dos diferentes tipos de erosão, em função dos agentes naturais	51
Figura 10 -	A atuação da gota da chuva sobre superfície do solo exposto ocasionando o splash ocorrendo a desagregação das partículas do solo	52
Figura 11 -	Processo de formação dos sulcos em forma de V até U	55
Figura 12 -	Evolução da feição erosiva voçoroca por escoamento superficial	58
Figura 13 -	Esboço geral de uma voçoroca em desenvolvimento	59
Figura 14 -	Principais formas de voçorocas encontradas em Manaus	61
Figura 15 -	Elementos ativos e passivos no desencadeamento dos processos erosivos	66
Figura 16 -	Os graus de declividades nas encostas do tipo convexa e côncava	68
Figura 17 -	Modelos geométricos de vertente	69
Figura 18 -	Principais tipos de encostas, sendo: r = retilínea, cx = convexo e cc = côncavo	69
Figura 19 -	Efeito da chuva em duas encostas sendo uma sem (A) e outra com (B) vegetação	71
Figura 20 -	Mapa das linhas isoerosivas do estado de Pernambuco	74
Figura 21 -	Os principais tipos de padrão de drenagem	79
Figura 22 -	Esquema da hierarquia fluvial de Strahler (1952)	81
Figura 23 -	Índice de Sinuosidade dos canais de drenagem	82
Figura 24 -	Mapa da direção de fluxo da bacia do rio Aripibú, PE	89
Figura 25 -	Mapa hipsométrico da bacia do rio Aripibú, PE	90

Figura 26 -	Mapa da declividade da bacia do rio Aripibú, PE	91
Figura 27 -	Mapa da distribuição espacial do volume mínimo erodido na bacia hidrográfica do Aripibú, Pernambuco	92
Figura 28 -	Mapa dos valores de χ da bacia hidrográfica do Aripibú, PE	93
Figura 29 -	Mapa de hierarquização dos canais do rio do Aripibú, PE	95
Figura 30 -	Direção dos canais de 1. ^a e 2. ^a ordem da bacia hidrográfica Aripibú, PE	96
Figura 31 -	Perfil longitudinal do rio Aripibú - Pernambuco	96
Figura 32 -	Mapa das unidades geológicas da bacia do rio Aripibú, PE	98
Figura 33 -	Mapa das unidades geomorfológicas da bacia Aripibú, Pernambuco	100
Figura 34 -	Perfil longitudinal A-A', crista residual	101
Figura 35 -	Perfil longitudinal B-B', colinas conservadas	101
Figura 36 -	Perfil longitudinal C-C', colinas dissecadas	102
Figura 37 -	Vale aberto	103
Figura 38 -	Vale fechado	103
Figura 39 -	Perfil longitudinal D-D' da planície fluvial	104
Figura 40 -	Gráfico da média mensal da precipitação pluviométrica dos anos de 1993 até 2005 do município de Ribeirão, PE	104
Figura 41 -	Gráfico da média mensal da precipitação pluviométrica dos anos de 2006 até 2018 do município de Ribeirão, PE	105
Figura 42 -	A precipitação acumulada dos anos de 2006 até 2018 do município de Ribeirão, PE	106
Figura 43 -	Mapa das classes de solos da bacia do rio Aripibú, PE	107
Figura 44 -	Mapa de cobertura e uso da terra na bacia do rio Aripibú, PE	109
Figura 45 -	Unidades de paisagem da bacia do rio Aripibú, PE	111
Figura 46 -	Uso da terra pela vegetação natural e plantação de banana próximo a nascente do rio Aripibú	113
Figura 47 -	Drenagem da terra para o plantio de cana-de-açúcar próximo aos canais	119
Figura 48 -	Em uma estrada na encosta da colina encontra-se erosão remontante com alcova de regressão (linha amarela) e deslizamento translacional (linha preta) na imagem A e formação de ravinas (linha amarela) na B	120
Figura 49 -	Na imagem A tem uma ravina ocasionada momento após a safra (linha preta) e na imagem B o capim vetiver na estabilização de uma ravina (linha amarela) e erosão no talude de corte	121

Figura 50 -	A erosão desenvolvida nas estradas ocasiona muitos sedimentos, os quais são transportados para os canais	122
Figura 51 -	Ausência de mata ciliar e assoreamento do canal com presença de barras longitudinais	124
Figura 52 -	Edificação de residências junto ao canal principal, ausência de vegetação ciliar e assoreamento do canal com presença de barras longitudinais	125
Figura 53 -	Atividade de pecuária extensiva de gado de corte nas colinas	128
Figura 54 -	Mapa dos níveis de suscetibilidade a erosão em relação ao critério geológico na bacia do rio Aripibú, Pernambuco	132
Figura 55 -	Gráfico da porcentagem da área para os níveis de susceptibilidade a erosão na bacia do rio Aripibú, PE	133
Figura 56 -	Mapa dos níveis de suscetibilidade a erosão em relação ao critério geomorfológico na bacia do rio Aripibú, Pernambuco	134
Figura 57 -	Gráfico da porcentagem da área para as unidades geomorfológicas da bacia do rio Aripibú, PE	136
Figura 58 -	Mapa dos níveis de suscetibilidade a erosão em relação ao critério declividade na bacia do rio Aripibú, Pernambuco	137
Figura 59 -	Gráfico da porcentagem da área para a declividade da bacia do rio Aripibú, PE	138
Figura 60 -	Mapa dos níveis de suscetibilidade a erosão em relação ao critério curvatura da encosta na bacia hidrográfica Aripibú, Pernambuco	140
Figura 61 -	Gráfico da porcentagem da área para o formato da encosta da bacia do rio Aripibú, PE	141
Figura 62 -	Mapa dos níveis de suscetibilidade a erosão em relação ao critério solos na bacia hidrográfica Aripibú, Pernambuco	142
Figura 63 -	Gráfico da porcentagem da área para solos da bacia do rio Aripibú, PE	144
Figura 64 -	Mapa dos níveis de suscetibilidade a erosão em relação ao critério uso e ocupação da terra na bacia hidrográfica Aripibú, Pernambuco	145
Figura 65 -	Gráfico da porcentagem da área para cobertura e uso da terra da bacia do rio Aripibú, PE	146
Figura 66 -	Primeiro cenário dos níveis de suscetibilidade a erosão da bacia hidrográfica Aripibú, Pernambuco	151

Figura 67 -	Gráfico da porcentagem da área do cenário I para os níveis de suscetibilidade da bacia do rio Aripibú, PE	152
Figura 68 -	Segundo cenário dos níveis de suscetibilidade a erosão da bacia hidrográfica Aripibú, Pernambuco	153
Figura 69 -	Gráfico da porcentagem da área do cenário II para os níveis de suscetibilidade da bacia do rio Aripibú, PE	154
Figura 70 -	Terceiro cenário dos níveis de suscetibilidade a erosão da bacia hidrográfica Aripibú, Pernambuco	156
Figura 71 -	Gráfico da porcentagem da área do cenário III para os níveis de suscetibilidade da bacia do rio Aripibú, PE	157
Figura 72 -	Quarto cenário dos níveis de suscetibilidade a erosão da bacia hidrográfica Aripibú, Pernambuco	159
Figura 73 -	Gráfico da porcentagem da área do quarto cenário para os níveis de suscetibilidade da bacia do rio Aripibú, PE	160
Figura 74 -	Quinto cenário dos níveis de suscetibilidade a erosão da bacia hidrográfica Aripibú, Pernambuco	162
Figura 75 -	Gráfico da porcentagem da área do quinto cenário para os níveis de suscetibilidade da bacia do rio Aripibú, PE	163
Figura 76 -	Gráfico da porcentagem da área dos cinco cenários para os níveis de suscetibilidade a erosão da bacia do rio Aripibú, PE	164
Figura 77 -	Cartograma dos cinco cenários dos níveis de suscetibilidade a erosão da bacia hidrográfica Aripibú, Pernambuco	165
Figura 78 -	Mapa da distribuição das erosões lineares por unidade de paisagem da bacia hidrográfica Aripibú, Pernambuco	167
Figura 79 -	Voçorocas em níveis de desenvolvimento diferentes A e B, encontradas na unidade de paisagem, colinas de topos amplos com culturas temporárias	168
Figura 80 -	O comprimento das incisões do cenário I para os níveis de suscetibilidade a erosão da bacia do rio Aripibú, PE	170
Figura 81 -	Mapa da distribuição das ravinas e voçorocas por nível de suscetibilidade a erosão do primeiro cenário	171
Figura 82 -	O comprimento das incisões do cenário II para os níveis de suscetibilidade a erosão da bacia do rio Aripibú, PE	172

Figura 83 -	Mapa da distribuição das ravinas e voçorocas por nível de suscetibilidade a erosão do segundo cenário	173
Figura 84 -	O comprimento das incisões do cenário III para os níveis de suscetibilidade a erosão da bacia do rio Aripibú, PE	174
Figura 85 -	Mapa da distribuição das ravinas e voçorocas por nível de suscetibilidade a erosão do terceiro cenário	175
Figura 86 -	O comprimento das incisões do cenário IV para os níveis de suscetibilidade a erosão da bacia do rio Aripibú, PE	176
Figura 87 -	Mapa da distribuição das ravinas e voçorocas por nível de suscetibilidade a erosão do quarto cenário	177
Figura 88 -	O comprimento das incisões do cenário V para os níveis de suscetibilidade a erosão da bacia do rio Aripibú, PE	178
Figura 89 -	Mapa da distribuição das ravinas e voçorocas por nível de suscetibilidade a erosão do quinto cenário	179
Figura 90 -	Comprimento das cicatrizes erosivas dos cinco cenários para cada nível de suscetibilidade a erosão da bacia do rio Aripibú, PE	180

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 -	Registros de casos de erosão do Nordeste do Brasil no período de 1980 a 2017	64
Quadro 2 -	Os principais efeitos positivos e negativos das plantas na estabilidade das encostas	72
Quadro 3 -	Fatores determinantes na erodibilidade dos solos	75
Quadro 4 -	Matriz quadrada dos critérios	84
Quadro 5 -	Ordenação dos níveis de intensidade de importância	84
Quadro 6 -	Matriz de normalização dos sete critérios analisados	85
Quadro 7 -	Valores do IR em função ao número de critérios utilizados na matriz quadrada	85
Quadro 8 -	Álgebra dos cinco cenários para a suscetibilidade a erosão na bacia do rio Aripibú, PE	86
Quadro 9 -	Unidades geológicas e litologias da bacia hidrográfica do Aripibú, PE	99
Quadro 10 -	Compartimentação geomorfológica da bacia hidrográfica do Aripibú, PE	99
Quadro 11 -	Características das unidades de paisagem da bacia hidrográfica do Aripibú – Pernambuco	130
Quadro 12 -	Matriz quadrada de correlação dos critérios de suscetibilidade a erosão na bacia hidrográfica do Aripibú, Pernambuco	147
Quadro 13 -	Matriz de normalização entre os critérios de suscetibilidade a erosão na bacia do rio Aripibú, PE	150
Quadro 14 -	Matriz de normalização entre os critérios de suscetibilidade a erosão na bacia do rio Aripibú, PE	153
Quadro 15 -	Matriz de normalização entre os critérios de suscetibilidade a erosão na bacia do rio Aripibú, PE	155
Quadro 16 -	Matriz quadrada de correlação dos critérios de suscetibilidade a erosão na bacia hidrográfica do Aripibú, Pernambuco	158
Quadro 17 -	Matriz de normalização entre os critérios de suscetibilidade a erosão na bacia do rio Aripibú, PE	158
Quadro 18 -	Matriz de normalização entre os critérios de suscetibilidade a erosão na bacia do rio Aripibú, PE	161

Quadro 19 -	Ordenação do grau de importância dos critérios de susceptibilidade a erosão para os cinco cenários	165
Quadro 20 -	Distribuição das erosões lineares por unidade de paisagem	166
Quadro 21 -	Comprimento em km das erosões em cada nível de susceptibilidade no primeiro cenário	170
Quadro 22 -	Comprimento em km das erosões em cada nível de susceptibilidade no segundo cenário	172
Quadro 23 -	Comprimento em km das erosões em cada nível de susceptibilidade no terceiro cenário	174
Quadro 24 -	Comprimento em km das erosões em cada nível de susceptibilidade no quarto cenário.	176
Quadro 25 -	Comprimento em km das erosões em cada nível de susceptibilidade no quinto cenário.	178

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Divisão por municípios na área de estudo	30
Tabela 2 -	Sistemas produtores de precipitação na bacia hidrográfica do rio Aripibú	31
Tabela 3 -	Aspectos demográficos e territoriais da bacia do rio Aripibú, Pernambuco	32
Tabela 4 -	Informações socioeconômicas dos municípios da bacia do rio Aripibú, PE	33
Tabela 5 -	Participação das atividades econômicas no PIB do ano de 2015, referente aos municípios pertencentes a bacia hidrográfica Aripibú, Pernambuco	34
Tabela 6 -	Classificação das voçorocas em relação ao critério profundidade	60
Tabela 7 -	Resumo das principais tipologias para a feição erosiva voçoroca	62
Tabela 8 -	Erosividade nas diferentes regiões do estado de Pernambuco, Brasil	73
Tabela 9 -	Classes de declividade em graus	80
Tabela 10 -	As classes de suscetibilidade a erosão	84
Tabela 11 -	Índices morfométricos aplicados na bacia do rio Aripibú, Pernambuco	88
Tabela 12 -	Número dos canais da bacia hidrográfica do Aripibú, PE	94
Tabela 13 -	Unidades geológicas da bacia hidrográfica do rio Aripibú, PE	97
Tabela 14 -	As classes de solos da bacia hidrográfica do rio Aripibú, PE	106
Tabela 15 -	Cobertura e uso da terra na bacia do rio Aripibú, PE	108
Tabela 16 -	Espaço territorial das unidades de paisagem da bacia hidrográfica Aripibú, PE	110
Tabela 17 -	Classificação dos graus de suscetibilidade a erosão em relação ao critério geológico	131
Tabela 18 -	Classificação dos graus de suscetibilidade a erosão em relação ao critério geomorfológico	135
Tabela 19 -	Classificação dos graus de suscetibilidade a erosão em relação ao critério declividade	136
Tabela 20 -	Classificação dos graus de suscetibilidade a erosão em relação ao critério forma da encosta	139
Tabela 21 -	Classificação dos graus de suscetibilidade a erosão em relação ao critério solos	143

Tabela 22 - Classificação dos graus de suscetibilidade a erosão em relação ao critério cobertura e uso da terra	144
Tabela 23 - Frequência das cicatrizes de erosão linear	166

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AB	Alta da Bolívia
AHP	Processo Analítico Hierárquico
ALOS	Advanced Land Observing Satellite
APAC	Agência Pernambucana de Águas e Clima
APP	Áreas de Preservação Permanente
BDE	Base de Dados do Estado
BH	Bacia Hidrográfica
BHRA	Bacia hidrográfica do rio Aripibú
BMT	Brisas Marítima e Terrestre
CCM	Complexos Convectivos de Mesoescala
Cm	Centímetro
CPRM	Companhia de Pesquisas em Recursos Minerais
DOL	Distúrbios Ondulatórios de Leste
ENOS	El Niño-Oscilação Sul
FF	Frentes Frias
Ha	Hectares
IDHM	Índice de Desenvolvimento Humano Municipal
Inpe	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
KC	Coeficiente de Compacidade
Km	Quilômetros
LI	Linhas de Instabilidade
M	Metros
MDE	Modelo digital de elevação
Mm	Milímetro
MM	Milímetros
N	Norte
NEB	Nordeste do Brasil
PE	Pernambuco
PIB	Produto Interno Bruto
PNM	Pressão ao Nível do Mar
S	Sul
SB	Sub Bacia

SIG	Sistema de Informações Geográficas
TSM	Temperatura da Superfície do Mar
UGI	União Geográfica Internacional
UTM	Universal Transversal Mercator
VCAN	Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis
ZAPE	Zoneamento Agroecológico de Pernambuco
ZCAS	Zona de Convergência do Atlântico Sul
ZCIT	Zona de Convergência Intertropical

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	24
2	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	28
2.1	LOCALIZAÇÃO	28
2.2	ASPECTOS NATURAIS	30
2.3	ASPECTOS SOCIOECONÔMICOS	32
3	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	35
3.1	BACIAS HIDROGRÁFICAS	35
3.2	MÉTODO DE ANÁLISE MULTICRITÉRIO	41
3.2.1	Inferência espacial Booleana e Fuzzy	42
3.2.2	Processo Hierárquico Analítico (AHP)	45
3.3	PROCESSOS EROSIVOS	49
3.3.1	Acepções e tipologias	50
3.3.2	Ravinas e voçorocas	54
3.3.3	Fatores condicionantes no processo erosivo em ambiente tropical	65
4	MATERIAIS E PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	77
4.1	BASES CARTOGRÁFICAS	77
4.2	ÍNDICES MORFOMÉTRICOS	78
4.2.1	Características geométricas	79
4.2.2	Características do relevo	80
4.2.3	Características da rede de drenagem	81
4.3	TRABALHOS DE CAMPO	83
4.4	MÉTODO DE ANÁLISE DE PROCESSOS HIERÁRQUICOS	83
5	ANÁLISE MORFOMÉTRICA E ASPECTOS FÍSICO-NATURAIS E DE USOS	87
5.1	ANÁLISE MORFOMÉTRICA	87
5.2	ASPECTOS FÍSICO-NATURAIS E DE USOS	97
5.2.1	Geologia e geomorfologia	97
5.2.2	Dinâmica climática e classe de solos	104
5.2.3	Cobertura e uso da terra	108
6	UNIDADES DE PAISAGEM	110
6.1	CRISTA RESIDUAL COM ÁREAS AGRÍCOLAS	110

6.2	COLINAS CONSERVADAS COM CULTURAS TEMPORÁRIAS	116
6.3	PLANÍCIE FLUVIAL COM ÁREA URBANA	122
6.4	COLINAS DISSECADAS COM ÁREAS AGRÍCOLAS	125
7	SUSCETIBILIDADE AOS PROCESSOS EROSIVOS	131
7.1	PROCESSOS EROSIVOS PELOS CRITÉRIOS	131
7.1.1	Unidades geológicas e geomorfológicas	131
7.1.2	Declividade e formato da encosta	136
7.1.3	Classe de solos	141
7.1.4	Cobertura e uso da terra	144
7.2	CENÁRIOS DE SUSCETIBILIDADE A EROSÃO	147
8	VALIDAÇÃO DA SUSCETIBILIDADE A EROSÃO LINEAR	166
8.1	AS UNIDADES DE PAISAGEM E AS EROSÕES	166
8.2	NIVEIS DE SUSCETIBILIDADE E A DISTRIBUIÇÃO DAS EROSÕES	169
9	CONSIDERAÇÕES FINAIS	181
	REFERÊNCIAS	187

1 INTRODUÇÃO

Os processos erosivos são constituintes naturais da evolução do relevo da superfície terrestre, sendo que a ocorrência da erosão se faz presente de forma enfática quando o processo de morfogênese é superior ao de pedogênese, desenvolvendo a paisagem através da modelagem da superfície terrestre. Os agentes externos desencadeadores da erosão são vários, destacando-se a erosão hídrica decorrente das chuvas, que se sobressaem em ambientes tropicais úmidos. Além dos mecanismos naturais desencadeadores da erosão, que pode ser acelerada e intensificada por eventos naturais, tal processo de aceleração e intensificação pode ocorrer pela intervenção antrópica.

A ação humana é um agente geomorfológico cada vez mais reconhecida, capaz de estabelecer e/ou restabelecer o processo erosivo de forma rápida e intensa, visto dispor de meios técnicos facilitadores da transformação veloz da paisagem. Tal percepção da crescente utilização da superfície terrestre para diversas formas de usos e ocupações humanas, a exemplo de processos erosivos, vem preocupando por se tratar de um problema que leva a deterioração de solos e terrenos em geral. Além de ocasionar outros entraves indiretos de ordem política, econômica e natural, a exemplo dos assoreamentos de corpos hídricos.

A erosão possui várias categorizações, destacando-se a erosão pela presença da água corrente em ambientes tropicais úmidos. A mesma desenvolve-se principalmente nas paisagens com climas equatoriais e tropicais, visto que o clima quente e úmido favorece ao desenvolvimento intempérico, assim como da pedogênese quanto da morfogênese. Esse condicionante climático contribui para a constituição dos processos erosivos por existir material disposto na superfície terrestre a ser erodido e energia suficiente para erodir o sedimento inconsolidado, quando disponível. Logo, temos grandes mantos de intemperismo e solos desenvolvidos, além de altas taxas de precipitação para intensificar as denudações na paisagem e ativar o processo erosivo, que poderá ser intensificado por condicionantes naturais ou antrópicos.

Os processos superficiais em climas tropicais, especificamente a erosão hídrica linear, são acentuados quando a força de repouso dos sedimentos é menor que a empregada para o desprendimento dos mesmos. Os locais de denudação da paisagem naturalmente estão sujeitos a morfogênese, podendo estar num estado de equilíbrio momentâneo com a pedogênese. Todavia, basta um elemento constituinte da paisagem sofrer alteração em sua condição para essa conjuntura ser modificada, a exemplo da mudança na frequência e intensidade das precipitações pluviométricas. Os espaços com índices de chuvas elevados, associados a

encostas com declividades acentuadas, são condicionantes em ambientes tropicais pertinentes a desenvolver feições erosivas lineares. Vale ressaltar que outros elementos coexistem e atuam concomitantemente no sistema de paisagens e influenciam na dinâmica superficial, como a cobertura vegetal, interferindo na predominância da formação de solos ou denudação dos estratos superficiais formados.

A pesquisa encontra-se disposta na região tropical do Brasil, especificamente localizada na Zona da Mata Sul pernambucana, tem alta predisposição a ocorrência dos processos erosivos hídricos, por conseguinte, à gênese de feições lineares. O clima tropical da área de estudo tem temperaturas e precipitação elevadas, com chuvas ocorrendo entre o verão e o inverno, mas com cerca de 50% do índice médio anual, precipitados entre abril e julho (outono-inverno), o que corrobora para um considerável input de energia para desenvolver o processo de morfogênese no período retrocitado do ano.

A morfologia do território da pesquisa possui relevo convexo e encostas com declividades acentuadas, essa conjuntura favorece o escoamento superficial pela maior energia que o fluxo adquire no deslocamento. Portanto, a dinâmica climática e a morfologia da região possuem naturalmente suscetibilidade à erosão. Além dos condicionantes do clima, declividade e relevo são considerados imprescindíveis aos estudos da suscetibilidade a erosão hídrica na região dos trópicos, os elementos da paisagem: geologia, cobertura vegetal, solos e uso da terra. É válido afirmar que pode ocorrer a predominância de um destes fatores sobre os demais, visto a particularidade da paisagem ser única pela complexidade de interrelações entre os elementos existentes.

A pesquisa tem como objetivo principal o diagnóstico do grau de susceptibilidade à ocorrência de processos erosivos lineares localizados na Bacia Hidrográfica do Rio Aripibú — BHRA, tendo como objetivos específicos:

- a) compreender e identificar os indicadores geoambientais da área de estudo para o entendimento da morfodinâmica da BHRA;
- b) apreender a existência dos diversos níveis de erosões lineares identificadas nas encostas da BHRA;
- c) analisar o grau de susceptibilidade à erosão linear para cada indicador;
- d) articular os diversos graus de propensão a erosão dos indicadores geoambientais para a construção dos níveis hierárquicos de susceptibilidade;
- e) confeccionar cenários com níveis de suscetibilidade a erosão linear para a BHRA.

A escolha da unidade bacia hidrográfica se fez por atualmente ser uma das formas de melhor se estudar o espaço geográfico, devido a sua praticidade na delimitação da paisagem e gerenciamento do território. A propensão do estudo ser na bacia hidrográfica do rio Aripibú foi, primeiramente, por ser uma bacia de importância hídrica e econômica para o estado de Pernambuco, visto que a área contém uma grande quantidade de rios, sendo a água um recurso natural essencial para diversas atividades praticadas no perímetro da bacia como a agricultura, produção industrial e subsistência. Em segundo temos baixa atenção de pesquisas voltadas para o planejamento, gerenciamento ambiental e territorial para esta porção do território pernambucano. Além das características naturais da bacia serem similares a outras áreas da Mata Sul pernambucana, podendo a aplicação desta pesquisa servi de modelo para eventuais estudos.

A verificação da suscetibilidade a erosão ocorreu através dos Sistemas de Informações Geográficas - SIG, além de métodos heurísticos, com destaque para o modelo matemático de tomada de decisões com base na ponderação quantitativa das variáveis. Este se desenvolve pela atribuição de pesos pelo pesquisador a cada critério escolhido e em seguida da hierarquização dos mesmos para delimitação dos níveis de suscetibilidade. O Processo Hierárquico Analítico (PHA), ou *Analytic Hierarchy Process (AHP)*, é um método heurístico, o qual possuiu a vantagem de ter fácil aplicação, baixo custo e resultados rápidos. A limitação é a subjetividade, isto é, o resultado está relacionado com o nível de compreensão do pesquisador da área analisada.

Por conseguinte, a tese está estruturada em cinco partes, a primeira seria a caracterização da área de estudo. Em seguida vem os aspectos socioeconômicos, em que são descritas e discutidas a estrutura social e econômica da área urbana e rural pertencentes à bacia, com ênfase na cidade de Ribeirão. Por fim, a caracterização aborda os sistemas produtores de tempo, com destaque na precipitação pluviométrica do espaço estudado. A segunda parte constitui a fundamentação teórica, baseada em três componentes: bacias hidrográficas, método de análise multicritério e processos erosivos.

O terceiro capítulo versa sobre materiais e métodos, onde estão evidenciados os procedimentos realizados no decorrer da pesquisa para execução plena dos objetivos. Iniciando com o planejamento do cronograma de atividades e perpassando pela forma de levantamento bibliográfico, trabalhos de campo até as análises em ambiente computacional. A penúltima parte são os resultados e discussão, divididos em dois segmentos principais, o diagnóstico da bacia, através da sistematização desta em unidades de paisagem. O outro constitui a susceptibilidade aos processos erosivos pelos critérios escolhidos, aplicando a AHP e a

formação de cenários para a bacia. O último capítulo são as considerações finais e as recomendações dispostas sobre a problemática da erosão na BHRA.

2 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

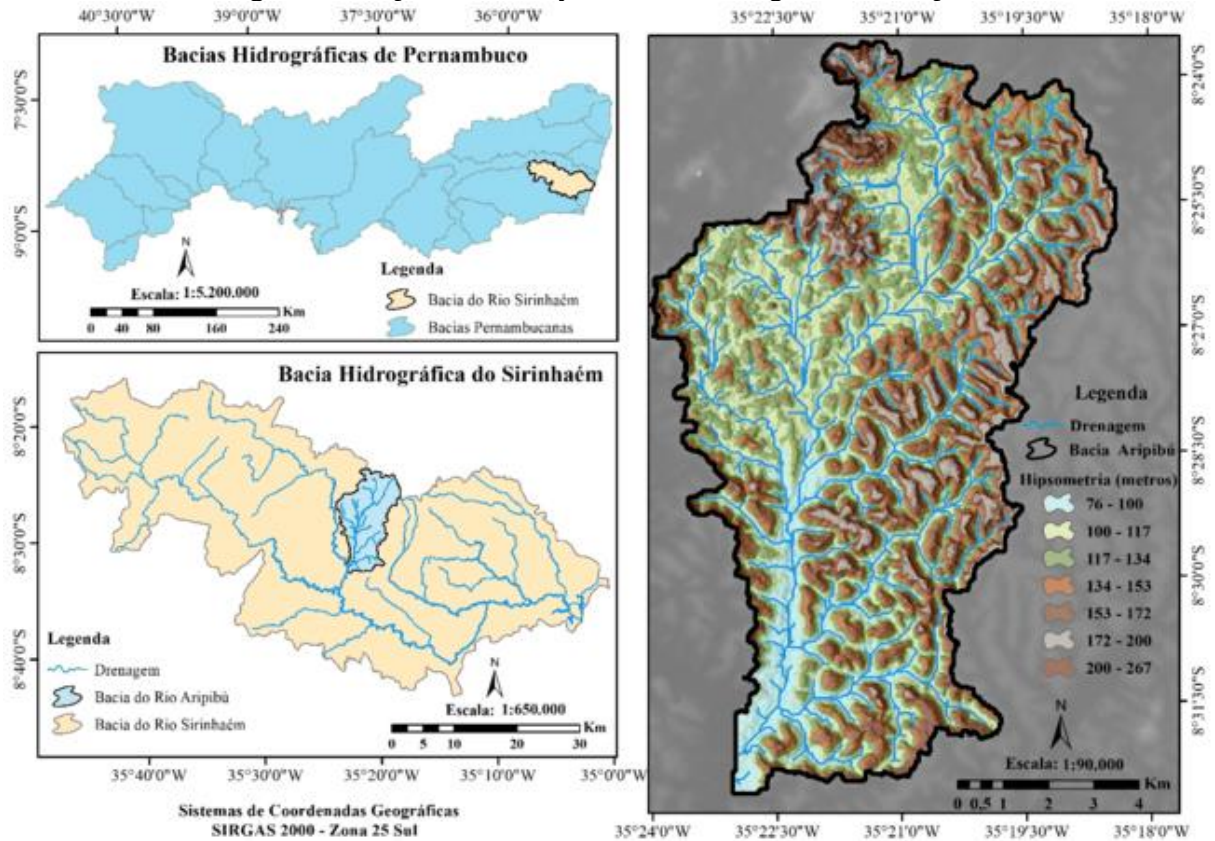
Nesse capítulo foram abordados aspectos da área de estudo, de forma sintética, uma vez que foram aprofundados de forma interativa nos tópicos relativos às Unidades de Paisagem da BHRA. Assim, iniciaremos com a identificação do lócus da pesquisa, contendo a localização da BHRA e os municípios integrantes da mesma. Em seguida uma abordagem dos componentes físico-naturais e da estruturação socioeconômica, com ênfase ao município e a cidade de Ribeirão-PE, por ser o único espaço urbano existente na área de pesquisa. Após isso, será contemplada a caracterização físico-ambiental da região analisada.

2.1 LOCALIZAÇÃO

A área de pesquisa se encontra localizada dentro da Unidade de Planejamento Hídrico UP4, em Pernambuco (APAC, 2019), a qual corresponde à bacia hidrográfica do Sirinhaém (FIGURA 01), com as seguintes coordenadas geográficas, 08° 23' 30" e 08° 32' 30" de latitude sul, e 35° 24' 30" e 35° 18' 30" de longitude oeste de Greenwich. A sub-bacia do rio Aripibú limita-se ao norte com a bacia do rio Ipojuca, ao sul com as sub-bacias hidrográficas dos Camaragibe e Amaraji, a leste com a sub-bacia do Camaragibe, e a oeste com a sub-bacia hidrográfica do Amaraji (FIGURA 1).

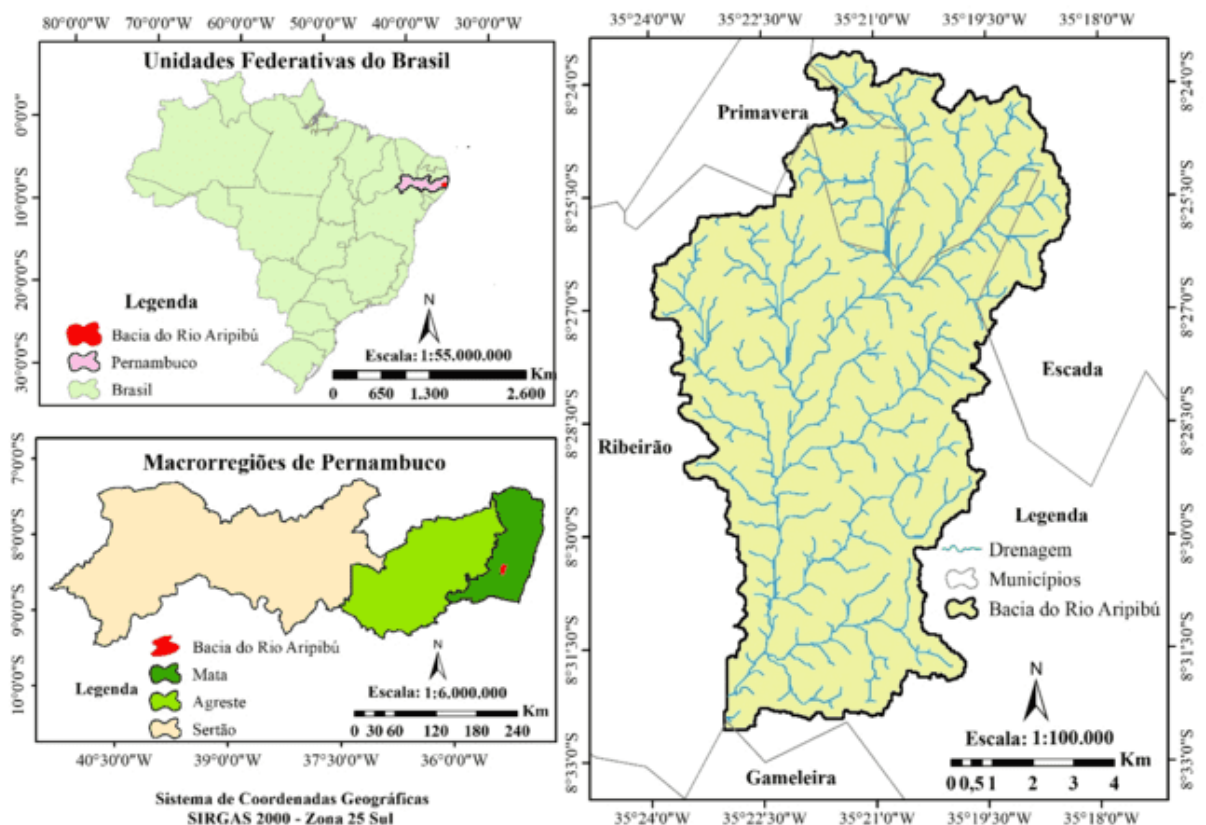
O rio Aripibú é um dos afluentes da margem esquerda do rio Sirinhaém. A nascente deste rio está localizada no município de Escada, a noroeste da vila Frexeiras, está a 4,5 km da nascente. A sua foz está localizada no município de Ribeirão, a 1,5 km da cidade de Ribeirão, com o rio desembocando no rio Sirinhaém. A sua extensão é cerca de 25 km, o qual atravessa o território de quatro municípios, sendo eles: Primavera, Escada, Ribeirão e Gameleira (FIGURA 2). Destes o rio transpõe a sede municipal de Ribeirão, no qual está totalmente inserido na sub-bacia do rio Aripibú, os demais se encontram parcialmente inseridos. A BHRA encontra incluída na Mesorregião da Mata Pernambucana, especificamente na Microrregião da Mata Meridional.

Figura 1 - Mapa de localização da bacia hidrográfica do Aripibú.



Fonte: o autor, 2020.

Figura 2 - Mapa político-administrativo da bacia hidrográfica do Aripibú.



Fonte: o autor, 2020.

A BHRA tem uma área aproximada de 100 km² (TABELA 1), tendo os municípios Escada 16 km², Gameleira 01 km², Primavera 08 km², Ribeirão 75 km² totalizando a área da pesquisa. Através desses números se infere que o município de Ribeirão abrange a maior parte de toda a área da BHRA, com aproximadamente 75% da área (TABELA 1). A soma da área dos demais municípios é de 25%, tendo Gameleira a menor proporção com apenas 1% do espaço, estando localizado ao sul da bacia. Primavera está a noroeste, Escada a norte-nordeste e Ribeirão encontra-se de leste a oeste em relação a bacia (FIGURA 02).

Tabela 1 - Divisão por municípios na área de estudo.

Municípios	Área do Município (km ²)	Área na Bacia (km ²)	Porcentagem (%)
Escada	342,201	16	16
Gameleira	255,961	01	01
Primavera	113,112	08	08
Ribeirão	289,733	75	75
Total	983,007	100	100

Fonte: IBGE (2018), adaptado pelo autor (2020).

2.2 ASPECTOS FÍSICO-NATURAIS

A BHRA é constituída, de acordo CPRM (2001), Torres e Pfaltzgraff (2014), por unidades geológicas, sendo elas: Complexo Belém São Francisco e Cabrobó, suíte intrusiva Itaporanga e suíte intrusiva sem denominação. Na bacia existe uma estrutura denominada zona de cisalhamento indiscriminada. As unidades geológicas são advindas do período Proterozoico e possuem origem ígnea e metamórfica. A bacia hidrográfica em questão encontra-se toda inserida na morfoestrutura do Piemonte da Borborema Girão *et al.* (2013).

Quanto aos aspetos geomorfológicos da BHRA confeccionados nesta pesquisa adaptados de Girão *et al.* (2013), estes foram categorizados em três unidades, sendo elas:

1. Colinas de topos arredondados, amplos e estreitos, constituindo relevos denudacionais com morfologia convexa e encostas com declives acentuados;
2. Vales fechados e abertos, associados às colinas, tendo os fechados, um perfil em V e os abertos em U;
3. Planícies fluviais, constituídas pelo modelado de acumulação, com material proveniente, principalmente dos modelados denudacionais das colinas.

As associações de solos da BHRA, segundo o ZAPE em Silva et al. (2001), são cinco: Argissolos amarelos, Argissolos vermelho-amarelos, Gleissolos háplicos, Latossolos amarelos e Neossolos flúvicos. A bacia hidrográfica em pauta temos os Argissolos e Latossolos que de

modo geral são solos bem desenvolvidos e ocorrem nas encostas e nos topos das colinas, respectivamente, enquanto os Gleissolos e Neossolos flúvicos estão presentes nas planícies fluviais. Em relação à dinâmica climática, de acordo com Kayano e Andreoli (2009), esta se enquadra no tipo climático litorâneo úmido, estando a cerca de 36 km do oceano Atlântico.

Segundo Uvo e Berndtsson (1996), os sistemas atmosféricos produtores de chuvas no Nordeste do Brasil - NEB são: ventos Alísios, Pressão ao Nível do Mar (PNM); Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), Frentes Frias, Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCAN) e Distúrbios Ondulatórios de Leste (DOLs). De acordo com Ferreira e Mello (2005, p. 16), outros mecanismos atuam no regime das chuvas NEB sendo eles: linhas de Instabilidade (LI), Complexos Convectivos de Mesoescala (CCM) e as brisas marítima e terrestre (BMT). Os principais sistemas atmosféricos formadores de precipitação pluviométrica para a BHRA são: ZCIT, Frentes Frias (FF), VCAN, LI, CCM, Distúrbios Ondulatórios de Leste (DOL) e BMT (TABELA 2).

Tabela 2 - Sistemas produtores de precipitação na bacia hidrográfica do Aripibú.

Nº	Sistemas	Escala Espacial	Período do Ano	Duração do Fenômeno
01	ZCIT	Grande	Fevereiro a abril.	Semanas a dias.
02	FF	Grande	Junho a setembro.	Poucos dias.
03	VCAN	Meso	Novembro e março.	07 a 10 dias.
04	LI	Meso	Fevereiro a março.	Poucos dias.
05	CCM	Meso	Setembro a março.	10 a 20 horas.
06	DOL	Meso	Março a setembro	02 a 03 dias
07	BMT	Meso	Ano todo	Todos dos dias

Fonte: Uvo e Berndtsson (1996); Ferreira e Mello (2005), adaptado pelo autor (2020).

A ocorrência de chuva pelos sistemas ZCIT, FF, VCAN, LI e CCM na área da pesquisa é de baixa frequência (TABELA 2), e alguns destes ainda tem tempo de atuação pequeno na BHRA se comparado aos demais. Logo, a pesquisa destaca o DOL e BMT por terem assiduidade e intensidade dos eventos pluviométricos, contribuindo ao diagnóstico da suscetibilidade a erosão na bacia em pauta.

Os Distúrbios Ondulatórios de Leste, ou simplesmente Ondas de Leste, são o principal mecanismo desencadeador de chuvas para a BHRA. Ferreira e Mello (2005) definem esse sistema como sendo ondas que se formam no campo de pressão da baixa atmosfera, na faixa tropical do globo terrestre, na área de influência dos ventos alísios, e se deslocam de leste para oeste, ou seja, desde a costa da África até o litoral leste do Brasil. Esses autores afirmam ainda que esse sistema pode ocasionar chuvas no NEB, principalmente, na Zona da Mata nordestina. A ocorrência desse sistema é curta, podendo durar de dois a três dias com chuvas de intensidade

média a forte, quando atuam podem contribuir para aumentar erosividade da chuva e, consequentemente, a ação erosiva linear sobre a área da BHRA.

As Brisas Marítima e Terrestre (BMT) são mecanismos produtores de chuvas de intensidade leve com curta duração, estando presente em todo o litoral do NEB (MOLION e BERNARDO, 2000). As BMT ocorrem diariamente, por serem sistemas relacionados à diferença de temperatura e, consequentemente, pressão entre o oceano e o continente. Isso faz todo litoral leste do NEB receber bastante umidade proveniente dessa diferença de gradiente térmico, tendo a atuação da brisa terrestre durante a noite e a brisa marinha ao longo do dia.

Outros sistemas podem interferir nas brisas, como destacam Ferreira e Mello (2005), pois os ventos Alísios influenciam sobre as BMT, podendo estas ser moduladas em velocidade e direção. Essas conjugações de sistemas podem ocasionar mais chuvas para as áreas próximas ao litoral, uma vez que as BMT podem adentrar a mais 100 km para o continente, quando são do tipo brisas marinhas e 100 Km para o oceano as brisas terrestres. Logo, para a área de pesquisa as Brisas Marinhas são mais salutares por levarem a umidade e, por conseguinte, chuvas, mesmo que de baixa intensidade, para a BHRA.

2.3 ASPECTOS SOCIOECONÔMICOS

Em relação ao quantitativo populacional da BHRA, temos um único grande centro urbano, a cidade de Ribeirão. As demais áreas com população são pequenas vilas rurais a exemplo da Vila Aripibú, contendo um número ínfimo de pessoas. Dessa maneira, a quantidade de pessoas residindo na área da bacia hidrográfica seria de aproximadamente 42.438 habitantes (TABELA 3).

Tabela 3 - Aspectos demográficos e territoriais da BHRA, Pernambuco.

Municípios	População Estimada (2017)	Densidade (hab/km²)	Área do Município (km²)	Área na Bacia (km²)	Porcentagem na Bacia
Escada	68.281	210,61	342,201	16	16%
Gameleira	30.709	120,00	255,961	01	01%
Primavera	14.798	130,82	113,112	08	08%
Ribeirão	42.438	146,47	289,733	75	75%
Total	156.226	607,9	983,007	100	100%

Fonte: IBGE (2018), adaptado pelo autor (2020).

Além do município de Ribeirão deter 75% da área, contém uma densidade demográfica mediana de 146,47 hab/km², se comparado a outros municípios como Escada (TABELA 3).

Logo, dividindo o quantitativo de 42.438 pessoas pela área da BHRA de 100 km² se tem 424,38 hab/km², constando de uma densidade demográfica consideravelmente alta.

A maioria da população da área de estudo se encontra concentrada na cidade de Ribeirão (TABELA 3), tendo o restante da mesma um grande vazio demográfico, fato este evidenciado na centralização do setor terciário da economia, visto que a cidade é o único centro urbano considerável, ocupando grande parte dos trabalhadores do município de Ribeirão e consequentemente polarizando outros segmentos econômicos da BHRA. A bacia contém extensas áreas do cultivo da cana-de-açúcar e pecuária extensiva, isso contribui para a concentração das pessoas na cidade, visto a agropecuária ocupar grandes extensões da mesma.

Em relação ao Produto Interno Bruto - PIB *per capita* dos municípios (TABELA 4) para o ano de 2015 foram: Escada R\$ 10.562,00, Gameleira R\$ 10.562,00, Primavera R\$ 10.562,00 e Ribeirão R\$ 7.861,75 reais (BDE, 2018). Sendo notório o baixo PIB da bacia se levarmos em consideração o penúltimo lugar do município de Ribeirão, visto os demais municípios não terem suas áreas urbanas localizadas na bacia. De acordo com o IBGE (2018) a colocação desse município em relação estado de Pernambuco seria a posição de 94º, estando razoavelmente colocado entre os 185 municípios no *ranking* do PIB *per capita*.

Tabela 4 - Informações socioeconômicas dos municípios da bacia hidrográfica do Aripibú, Pernambuco.

Municípios	PIB (<i>per capita</i>)	IDHM	Índice de Gini
Escada	R\$ 10.562,00	0.632 (médio)	0,473
Gameleira	R\$ 7.080,00	0.602 (médio)	0,483
Primavera	R\$ 9.567,00	0.580 (baixo)	0,451
Ribeirão	R\$ 7.862,00	0.602 (médio)	0,521

Fonte: BDE (2018), adaptado pelo autor (2020).

Em relação ao Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM), a área de pesquisa possui um IDHM médio correspondendo a 0.602 (TABELA 4), indicando que as dimensões de longevidade, educação e renda não estão entre os piores municípios do estado pernambucano. Vale frisar que quanto mais próximo do número um, melhor é o desenvolvimento humano do município analisado e dentre os municípios da bacia só primavera fica com um IDHM baixo (0.580) os demais encontram-se medianos (TABELA 4).

O Índice de Gini aborda que quanto mais próximo de (0) melhor a distribuição de renda e próximo de (1) maior desigualdade dentro dos municípios. Esse indicador para os quatro municípios integrantes da área de pesquisa (TABELA 4), vem exibir a realidade menos ruim dos três municípios Escada, Gameleira, Primavera com o índice abaixo de 0,500. Em contrapartida, o município de Ribeirão detém 0,521 (TABELA 4), tendo uma situação pior em

relação aos demais citados, e conseqüentemente da maioria dos residentes da bacia Aripibú. Essa situação é pior se compararmos a renda das pessoas residentes da área rural com a urbana, tendo em vista que a disparidade da distribuição de renda no campo ser pior, pois a mesma está concentrada na posse de poucas pessoas.

Em relação à participação das atividades econômicas ao PIB dos municípios da bacia, pode-se perceber a grande predominância do setor de serviços e administração pública no PIB (TABELA 5). O município de Escada tem o maior PIB (TABELA 5), chegando a ser mais quase o dobro de Ribeirão, sendo mais que o triplo de Gameleira e cinco vezes o PIB de Primavera. Isso evidencia a disparidade destes municípios (TABELA 5), mesmo sendo vizinhos, tendo Ribeirão a maior porcentagem para o setor de serviços 47,5% e impostos 14%, Primavera para a Indústria 23,5%, Gameleira para a agropecuária 22,30% e administração pública 47,5.

Tabela 5 - Participação das atividades econômicas no PIB do ano de 2015, referente aos municípios pertencentes a bacia hidrográfica do Aripibú, Pernambuco.

Municípios	PIB (R\$ 1.000)	Serviços (%)	Indústria (%)	Impostos (%)	Agropecuária (%)	Administração Pública (%)
Escada	711.673	37,7	19,5	09,20	02,20	31,4
Gameleira	213.338	23,9	02,9	03,40	22,30	47,5
Primavera	138.802	20,9	23,5	04,30	13,50	37,8
Ribeirão	366.821	47,5	19,4	14,00	04,30	14,8

Fonte: BDE (2018), adaptado pelo autor (2020).

O município de Ribeirão por ocupar 75% da área da bacia (TABELA 1), ocupando o espaço da paisagem do baixo e médio curso do rio Aripibú, sendo verificado que a maioria das terras são ocupadas pela monocultura da cana de açúcar. Além de uma grande extensão de terra ser resquícios da vegetação original e o próprio centro urbano da cidade de Ribeirão. O alto curso é dividido por áreas de cana e atividades agropecuárias de tamanhos médios a pequenos, estando estas áreas da bacia relacionadas aos municípios de Escada (16%) e Primavera (08%). A não ocorrência de outra grande área urbana na bacia implicaria em afirmar que a maioria das pessoas vivem em Ribeirão e a bacia tem mais terras sendo utilizadas para fins agropecuários.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Nesse capítulo são abordados os conteúdos do referencial teórico relacionados a pesquisa, sendo primordial estes por servir de orientação teórica para a análise dos dados e informações obtidas no decorrer da tese. Nesse sentido, esse capítulo aborda as seguintes temáticas: bacias hidrográficas, método de análise multicritério e processo erosivo.

3.1 BACIAS HIDROGRÁFICAS

A denominação de Bacia Hidrografia (BH) tem sido utilizada no universo das várias ciências e no senso comum. Isso é devido a maior preocupação nas últimas décadas com os recursos hídricos e a disponibilidade da água como matéria a ser aproveitada como recurso, acarretando iniciativas de conservação, preservação e recuperação de mananciais.

Nesse contexto, surgem várias definições para BH, sendo algumas de grande complexidade, por envolver variáveis ou ainda conceituar tais territorialidades de forma incompleta. Em 1945, Robert E. Horton iniciou pesquisas voltadas para a análise específica em BH. Horton deixou um legado metodológico sobre ordenamento de canais, o qual atualmente é utilizado para diagnóstico físico de BH (HORTON, 1945; CHRISTOFOLETTI, 1980).

Em relação ao Brasil, os trabalhos relacionados a análise de bacias hidrográficas de Christofolletti (1980) foram pertinentes devido à proposição de metodologias de parâmetros físicos relacionados a BH, como, por exemplo: análise areal, linear e hipsométrica, que contribui para os estudos das paisagens dos domínios interfluviais e fluviais. Evidencia-se que as BH são analisadas para fins de diagnósticos de âmbito natural, então se fará a mensuração de alguns conceitos importantes a acerca da mesma.

Existem denominações que contemplam apenas a nuance física, ignorando, ou ainda separando, variáveis antrópicas a serem consideradas. Considerando aspectos eminentemente físico-naturais, os autores Carmo e Silva (2010) definem uma bacia hidrográfica como sendo: “[...] um conjunto de terras drenadas por um rio principal e seus afluentes.” Apesar de simples essa definição é bastante usada tanto no meio científico como no senso comum, mostrando a comunhão entre o relevo e a hidrografia na constituição da BH. Isso é também evidenciado por autores como Silva (1995), Barrella *et al.* (2001) e Castro e Carvalho (2009).

O conceito de BH, ainda com o enfoque físico, pode ser mais complexo, como aborda Barrella *et al.* (2001), que define a BH levando em consideração os limites da bacia, isto é, os divisores, além de frisar a infiltração e o escoamento proveniente das águas precipitadas,

transcrevendo o que viriam a ser uma área drenada por um rio principal e seus tributários. Logo, a BH:

[...] é definida como um conjunto de terras delimitadas por **divisores de água** nas regiões mais altas do relevo, drenadas por **um rio e seus afluentes**, onde as **águas pluviais, ou escoam superficialmente** formando os riachos e rios, ou **infiltram no solo** para formação de nascentes e do lençol freático, tal que toda vazão efluente seja descarregada por **uma simples saída** (BARRELLA *et al.* 2001, p. 188, grifo do autor).

Sendo um diferencial da definição acima a preocupação em deixar claro que existe apenas uma saída para a vazão do rio principal, no qual se denomina na literatura científica de exutório. A definição de BH de Castro e Carvalho (2009) se assemelha a de Barrella *et al.* (2001), por se tratar apenas de uma acepção só natural e dos divisores de água. Todavia, essa acrescenta o material transportado pelos cursos fluviais.

[...] bacia de drenagem formada por uma comunhão de canais fluviais, demarcados por relevos adjacentes maiores, dos quais constituem uma rede de drenagem formada por vários afluentes e um rio principal, estes drenam terras desde suas nascentes carreando **sedimentos em suspensão, de fundo e substâncias orgânicas e inorgânicas** diluídas para o canal principal (CASTRO e CARVALHO 2009, p. 01, grifo do autor).

A BH, de acordo com Silva (1995), pode ser denominada também de captação (no momento no qual se pensa como uma área receptora das águas provenientes das chuvas), ou de drenagem (como o espaço drenado pelos cursos fluviais). Isso deixa claro que uma BH seria a soma do seu território (relevo) e a malha fluvial (drenagem). Dessa forma, na superfície terrestre as terras emersas podem ser divididas em bacias hidrográficas.

No enfoque da geografia física, especificamente da geomorfologia, os autores Lima e Zakia (2000), definem a BH associada a concepção sistêmica. Segundo estes a BH seria um sistema do tipo aberto, no qual o *input* de energia viria através do agente climático e o *output* ocorreria pelo escoamento superficial. Sendo frisado pelos autores a interdependência entre as variáveis e um equilíbrio dinâmico, podendo este equilíbrio vir a ser modificado através dos níveis do recebimento e ou liberação de energia para o sistema da BH.

Em relação a classificação das BH, Teodoro *et al.* (2007) ratifica o uso de duas terminologias que subdividem uma BH em sub-bacia e microbacia, as quais se dispõem de conceitos sobre um grande leque de abordagens distintas, indo do físico ao ecológico.

As terminologias BH e Sub-Bacia (SB) são empregadas por estarem relacionadas a uma ordem hierárquica (FERNANDES e SILVA, 1994). A depender da escala de análise, uma BH

pode ser uma sub-bacia, isso por ser menor espacialmente (área em quilômetros e densidade da rede hídrica) em relação a outra. Dessa maneira, estaria subjugada e integrada a uma BH maior, sendo então denominada SB, evidenciando que essas nomenclaturas são variáveis de acordo com o referencial a ser analisado.

Segundo Carmo e Silva (2010), a palavra microbacia, mesmo sendo empregada a nível nacional, se configura como uma denominação empírica, imprópria e subjetiva. Logo, os autores Carmo e Silva (2010), sugerem a terminologia sub-bacia hidrográfica em vez de usar o termo microbacia. Teodoro *et al.* (2007), afirma que existe uma distinção entre uma bacia e microbacia, por esta segunda ter maior sensibilidade as respostas das entradas de chuvas fortes na paisagem.

[...] a classificação de bacias hidrográficas em grandes e pequenas não é vista somente na sua superfície total, mas considerando os efeitos de certos fatores dominantes na geração do deflúvio, tendo as microbacias como características distintas uma grande sensibilidade tanto às chuvas de alta intensidade (curta duração), como também ao fator uso do solo (cobertura vegetal), sendo assim, as alterações na quantidade e qualidade da água do deflúvio, em função de chuvas intensas e ou em função de mudanças no solo, são detectadas com mais sensibilidade nas microbacias do que nas grandes bacias. (TEODORO *et al.*, 2007, p. 139.)

No que se refere ao objetivo da pesquisa, a BH será conceituada como uma bacia de drenagem formada por uma comunhão de canais fluviais, demarcados por relevos adjacentes maiores, os quais constituem uma rede de drenagem formada por vários afluentes e um rio principal, estes drenam terras desde suas nascentes carreando sedimentos em suspensão, de fundo e substâncias orgânicas e inorgânicas diluídas para o canal principal (CASTRO e CARVALHO, 2009).

Os estudos modernos em BH empregam mais o uso da tecnologia, como verificado em Tonello (2005) e Teodoro *et al.* (2007), sendo a análise morfométrica um recurso para um melhor conhecimento acerca de dados físicos quantitativos da fisionomia de uma BH. Para Tonello (2005), uma BH leva em consideração os aspectos hidrogeomorfológicos, tais como: características geométricas do relevo e da rede de drenagem. Teodoro *et al.* (2007) ratifica a importância dos estudos morfométricos do espaço, ou seja, compreender os parâmetros físicos de uma BH ajuda no entendimento da dinâmica da paisagem local, no qual a BH está circunscrita.

Cunha (2012), deixa evidente quão o funcionamento de uma BH é condicionado através das suas características morfológicas tal como: relevo, solo, área, clima, geologia e cobertura

vegetal. Estas especificidades naturais já particularizam a mesma, sendo única a sua dinâmica, contudo, desconsiderando a influência antrópica em uma individualização do comportamento de uma BH.

Neste contexto, Silva *et al.* (2016), vem afirmar que a BH é um sistema aberto, onde seus elementos se inter-relacionam no tempo e espaço, modelando a dinâmica a partir dos *inputs* endógenos e exógenos. Segundo Lima (2008), as BHs seriam exemplos de sistema geomorfológico, tendo seus *inputs* pelo clima e *outputs* pelo deflúvio, sendo o equilíbrio desse sistema dependente das interações entre os aspectos naturais e antrópicos.

Botelho e Silva (2004) ratificam que uma BH seria uma célula básica na análise do ambiente para um sistema constituído naturalmente, visto esta permitir o melhor entendimento dos componentes e processos desencadeados na paisagem circunscrita a mesma. Ao discutir a importância das pesquisas sistêmicas, uma BH de tamanho maior pode ser sistematizada por bacias hidrográficas menores com intercâmbios de energias e matérias em vários níveis de escala, como por exemplo, pelos divisores de águas e processos morfológicos ou ainda por *inputs* climáticos através das precipitações.

Christofoletti (1999) determina que as BHs são categorizadas como sistemas abertos e dinâmicos, visto ocorrer troca de energia e matéria com os sistemas “vizinhos”. Dessa maneira, seriam unidades de análise de sistemas ambientais dinâmicos e complexos, por integrar diversas variáveis do ambiente físico-natural no seu funcionamento.

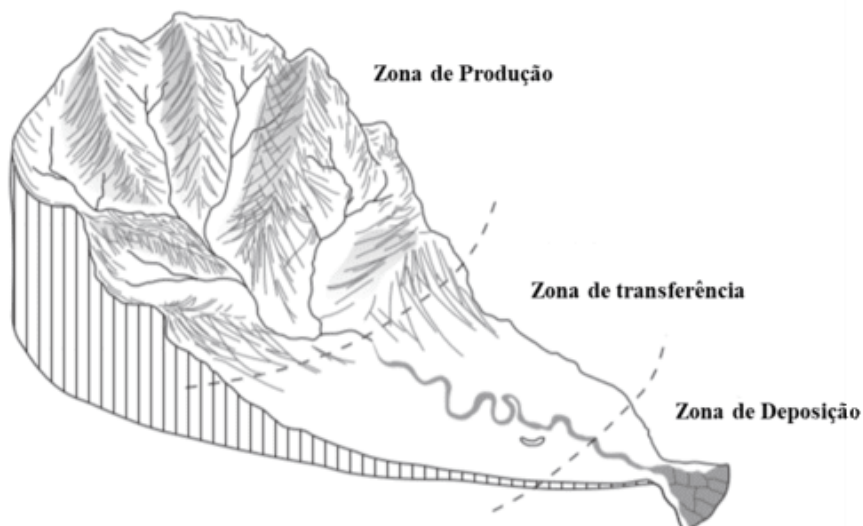
Souza e Fernandes (2000), apresentam uma divisão física de BH, sendo nomeadas de zonas hidrogeodinâmicas, como se segue: zonas de recarga, zonas de erosão e zonas de sedimentação. A primeira zona com solos profundos e permeáveis, relevo suave, servindo para o abastecimento dos lençóis freáticos e estão localizadas no topo; a segunda esta após a zona de recarga, com área declivosa, ocorrência de processos erosivos e fornecedora de sedimentos; e a zona de sedimentação seria a parte mais baixa da bacia correspondendo a planície fluvial, e predominando a deposição dos sedimentos.

Brierley e Fryirs (2013) também apresentam uma classificação de BH em zonas de: origem, transferência e acumulação (FIGURA 3), baseada num perfil longitudinal da bacia levando em consideração os princípios de erosão (origem), transporte (transferência) e deposição (acumulação).

Figura 3 - Elementos de uma bacia hidrográfica.

Fonte: Brierley e Fryirs (2013), adaptado pelo autor 2020.

Charlton (2008) ratifica a ideia de Schumm (1977), no qual a bacia hidrografia pode ser dividida em três zonas de processos, sendo a primeira a produtora de sedimentos (FIGURA 4). Em seguida viria a zona do transporte dos materiais e por último a deposição dos sedimentos. Esta classificação da morfodinâmica da bacia é clássica por dividir os processos de forma geral, ou seja, considerando todo o território do sistema fluvial da bacia. Em escalas maiores às três zonas podem ocorrer em várias partes da bacia, isto é, na zona de produção pode ter transporte e deposição dos sedimentos mesmo sendo considerada de forma ampla como região produtora.

Figura 4 - Zonas de processos dominantes de uma bacia hidrográfica.

Fonte: Charlton (2008), adaptado pelo autor 2020.

De acordo Guerra e Guerra (2011), as BHs podem ser catalogadas de acordo com a maneira como fluem as águas, sendo divididas em: exorreica, endorreica, criptorreica e arreica. Segundo este, as BHs podem ainda ser divididas em principal, secundária e mesmo terciária, no qual o critério selecionado seria o grau de importância dos cursos de água, como por exemplo, subafluente de um rio maior em extensão ou volume. O mesmo aborda ainda a catalogação das bacias hidrográficas em litorâneas, centrais ou interiores, em razão da sua localização no território. Nessas classificações, a área de estudo seria enquadrada em uma bacia exorreica, secundária e litorânea.

Fernandes e Silva (1994), afirmam que a subdivisão de uma BH maior em sub-bacia levaria a individualização de problemas difusos, dessa maneira ficaria mais fácil a localização dos impactos nos recursos naturais. Todavia, existe a necessidade em averiguar o nível escalar da degradação, pois a depender da ação antrópica, a causa e/ou consequências podem se encontrar em escalas diferentes. Nesse sentido, Hollanda (2012) aborda o manejo de uma bacia hidrográfica abrangendo distintas escalas espaciais e temporais, tanto no contexto biofísico como na estrutura das organizações desenvolvidas pela espécie humana.

De acordo com Brooks *et al.* (1991), a gestão de uma BH seria o processo de organização dos recursos naturais, além da orientação correta do uso da terra, portanto produzir sem afetar a dinâmica de elementos como os solos e a água presentes no sistema considerado. Isso é reafirmado por Cecílio *et al.* (2007), o qual afirma que a produção deve ser compatível com a preservação do ambiente, além de comungar as instituições das diversas áreas do conhecimento a fim de garantir o desenvolvimento de atividades econômicas de maneira sustentável. Por conseguinte, a pesquisa sobre o grau de susceptibilidade da bacia hidrográfica do Aripibú aos processos erosivos lineares é pertinente para servir de subsídio a uma melhor gestão sistêmica do espaço da bacia hidrográfica em pauta.

As pesquisas desenvolvidas sobre os processos erosivos no mundo são estudos das mais variadas áreas (Agronomia, Geologia, Geografia), visto se conhecer desde o passado a importância dos solos para as sociedades humanas. Por isso, desde o pretérito até os dias atuais existe a preocupação acerca da temática erosiva, sendo a bacia hidrográfica um recorte natural apto para a compreensão do processo erosivo e suas repercussões quanto a gênese e evolução de feições erosivas. Isso é evidenciado no decorrer das pesquisas no mundo e no Brasil, como por exemplo a partir dos estudos de Horton (1945), Christofletti (1999), Bacellar (2000), Botelho e Silva (2004), Castro (2005), Charlton (2008), Barbalho (2010), Brierley e Fryirs (2013), Silva *et al.* (2017).

3.2 MÉTODO DE ANÁLISE MULTICRITÉRIO

Os avanços relacionados ao desenvolvimento dos Sistemas de Informação Geográfica (SIG), permitem uma melhor análise da terra a partir da maior e melhor quantidade de dados disponíveis para as pesquisas em diversas áreas do conhecimento. A geografia se apropria desses recursos tecnológicos a fim de melhorar a compreensão do ambiente e conseguir uma espacialização mais fidedigna dos fenômenos geográficos estudados. Diante da gama de metodologias existentes para fins de mapeamentos da susceptibilidade da paisagem destacam-se os métodos: estatísticos, determinísticos e heurísticos (VAN WESTEN, 2008; BRITO, 2014; SILVA *et al.*, 2016; BRITO, WEBER e SILVA FILHO, 2017).

Segundo Bispo (2018), a abordagem estatística se desenvolve através de métodos indiretos, no qual o princípio basilar seria a existência de correlações entre os fatores condicionantes e a distribuição do processo morfodinâmico, como por exemplo, erosão, movimentos de massa, dentre outros.

O método determinístico também utiliza de procedimentos indiretos relacionando o entendimento das leis físicas e mecânica controladoras da estabilidade de uma encosta, por necessitar de dados mais precisos e maior detalhe requer maior tempo e custo para desenvolvimento dessa metodologia. Já o enfoque heurístico tem base na atribuição de pesos através da decisão do pesquisador (BISPO, 2018; BRITO, 2014), levando em consideração várias comunhões de mapas temáticos, como por exemplo geologia, solos, geomorfológico, cobertura e uso da terra.

Brito (2014) enfatiza que cada técnica de mapeamento possui uma escala recomendada para a avaliação da suscetibilidade, visto os métodos serem aplicados e terem resultados mais satisfatórios segundo alguns critérios específicos a cada técnica empregada, tal como, nível de detalhamento de dados, custo, tempo e escala. Aleotti e Chowdhuri (1999), reafirma a importância da escolha do método a partir do tamanho da escala do problema a ser compreendido, ratificando a relação do custo e benefício. Essa observação é fundamental para as pesquisas, visto ser essencial iniciar a mesma com o objetivo e a problemática, e *a posteriori* definir a metodologia adequada a contemplar o fenômeno pesquisado.

Safaei *et al.* (2012), ressalta que independente do diagnóstico de susceptibilidade, sempre vai existir incertezas, ou seja, a análise conterà sempre dúvidas pela simplificação da realidade e ou em função das variáveis escolhidas. Todavia, Brito (2014) afirma que esses métodos são instrumentos valiosos para a tomada de decisão, pois permitem simular e prever cenários potenciais, bem como auxiliar na gestão de riscos. Dessa maneira, os métodos são

imprescindíveis para fins de começar a entender o ambiente, porque este é um sistema dinâmico, não podendo ser totalmente compreendido e reproduzido no ambiente do SIG.

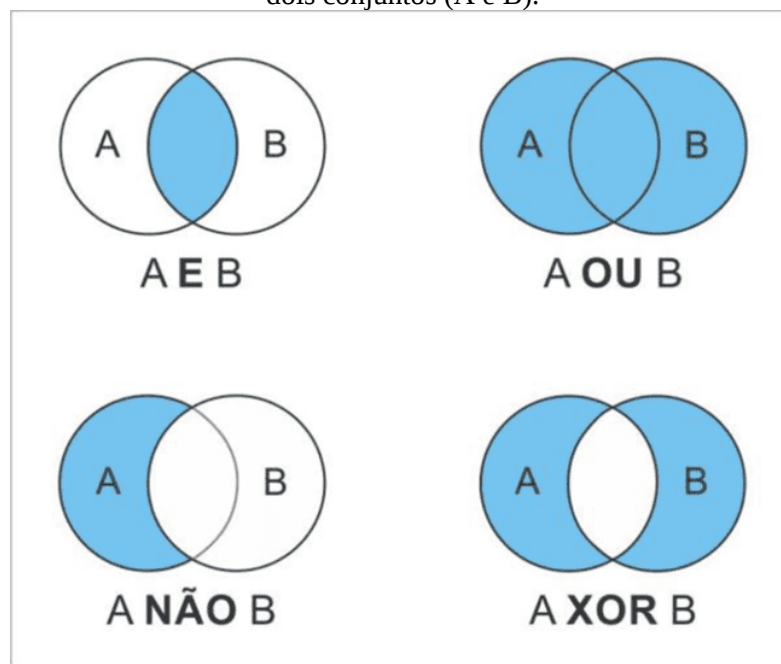
Nesse contexto, a pesquisa foi desenvolvida utilizando o método heurístico, por primordialmente conseguir atender aos objetivos e contemplar o nível da escala da problemática, evidenciando uma aplicação simplificada que permite uma avaliação veloz da susceptibilidade (BRITO, 2014). Tendo a subjetividade como principal problema desse método, em que o resultado é diretamente relacionado ao grau de entendimento do pesquisador (BARREDO *et al.* 2000; FERNANDES *et al.* 2011). No entanto, a subjetividade não é algo negativo, ao considerar: se tem conhecimento da área pesquisada; opinião de especialistas e se trabalha com escalas médias e pequenas, como destaca BARREDO *et al.* (2000). Ademais, deve-se considerar que esse método servi de embasamento para pesquisas de âmbito mais específico, com um grau de detalhamento maior e área de pesquisa menor (BRITO, 2014).

O método heurístico pode ser categorizado em três níveis, dos quais utilizam a lógica matemática para a construção de mapas relacionados a suscetibilidade, sendo então analisados a seguir as técnicas: Booleana, Fuzzy e o Processo Analítico Hierárquico, ou AHP (*Analytic Hierarchy Process*) (CÂMARA *et al.* 2004; FUSHIMI, 2016; FUSHIMI e NUNES, 2016; BISPO, 2018).

3.2.1 Inferência espacial *Booleana* e *Fuzzy*

A lógica *Booleana* é um método algébrico de mapas gerador de dados do tipo temático, sendo representado espacialmente em forma de polígonos que expressa classes, tal como favorável e não favorável (CÂMARA, *et al.*, 2004). O mesmo autor destaca a simplicidade de utilização da abordagem *Booleana* com a comunhão lógica de mapas em um ambiente SIG se comparada aos métodos mais tradicionais, como as sobreposições usadas nas mesas de luz. Sendo empregado os ponderadores simples e lógicos: “E”, “OU”, “Exclusivo OU (XOR)” e “NÃO”, nos quais determinam se uma proposição satisfaz ou não dada condição (CÂMARA *et al.*, 2001; MOREIRA, 2001; FUSHIMI, 2016; FUSHIMI *et al.*, 2016). Isso é evidenciado pelo diagrama de Venn através de conjuntos A e B na figura 5 abaixo.

Figura 5 - Diagrama de Venn, como exemplo da aplicação de operadores da lógica *Booleana* para dois conjuntos (A e B).



Fonte: Burrough e McDonnell (1998), adaptado pelo autor (2020).

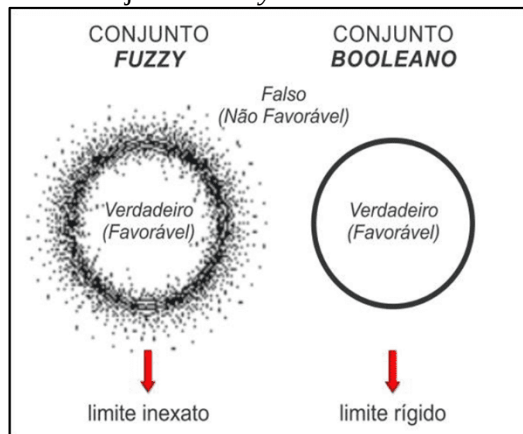
Os autores Câmara *et al.*, (2001), afirmam que o resultado da lógica *Booleana* pode ser demonstrado de maneira binária (0 = hipótese não satisfeita e 1 = hipótese satisfeita), não ocorrendo a condição de talvez. Os autores, Bonham Carter (1994) e Câmara *et al.*, (2001) ainda ratificam que o método mesmo sendo prático e simples não seria o mais adequado, visto não receber pesos diferentes nas combinações. Todavia, em estudos voltados ao meio ambiente a sua utilização é aceitável, como por exemplo, na delimitação de Áreas de Preservação Permanente (APP), Câmara *et al.*, (2001).

A inferência espacial *Fuzzy* surge da necessidade em estudar a complexidade dos sistemas, pois estes não são exatos, dando respostas distintas de acordo com as modificações de grau, número e gênero das variáveis. Fushimi (2016) e Fushimi *et al.*, (2016) abordam a preocupação em analisar a complexidade do sistema, porque os modelos matemáticos tradicionais exibiam uma rápida diminuição da qualidade da informação conforme mais complexo é o sistema. Nesse contexto, Zadeh (1965) desenvolveu a inferência *Fuzzy* como alternativa a essa problemática, na qual é denominada também de nebulosa (CÂMARA *et al.*, 2001; MOREIRA, 2001).

Enquanto a inferência *Booleana* é caracterizada por uma metodologia de duas classes com fronteira definida e rigorosa (FIGURA 6), a lógica *Fuzzy* tem uma representação de várias classes, em que não são definidos limites rígidos (BURROUGH e MCDONNELL, 1998). Kohagura (2007) deixa claro a diferença entre as lógicas citando como exemplo a visualização

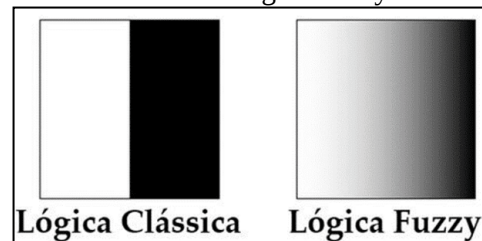
das cores, sendo enxergada apenas o preto e branco no método *Booleano* e as várias tonalidades de cinza da *Fuzzy* (FIGURA 7).

Figura 6 - Diferença de limites entre os conjuntos *Fuzzy* e *Booleano*.



Fonte: Fushimi (2016), adaptado pelo autor (2020).

Figura 7 - Analogia entre a Lógica Clássica e a Lógica Fuzzy.



Fonte: Kohagura (2007), adaptado pelo autor (2020).

Nesse sentido, o método *Fuzzy* tem mais aplicações, e por isso é mais utilizado se comparado ao método *Booleano*. Para Moreira *et al.*, (2001):

As vantagens do modelamento Fuzzy são inúmeras quando comparadas aos modelamentos convencionais que forçam os especialistas à definirem regras dicotômicas rígidas com contatos normalmente artificiais que diminuem a habilidade de articular eficientemente soluções para problemas complexos, tão comum em processos naturais. (MOREIRA *et al.*, 2001, p. 286).

A inferência *Fuzzy* é considerada melhor em quatro fatores em relação a *Booleana*, de acordo com Klir e Yuan (1995, p. 32), sendo eles:

- I. Fornece um meio de expressar observações e medidas incertas em qualquer forma que se apresentam;
- II. Oferece maior quantidade de recursos para demonstrar a complexidade (quanto maior a complexidade maior a superioridade dos modelos de lógica difusa);
- III. Oferece recursos mais expressivos, que permitem trabalhar com uma variedade maior de problemas. Com a capacidade particular de colocar em termos matemáticos problemas que necessitam o uso de linguagem;
- IV. Possui a capacidade de capturar a razão humana e outros aspectos do conhecimento e intuição e incluí-los, ao invés de excluí-los, aos sistemas de computação.

Observa-se a grande quantidade de características favorecendo a lógica *Fuzzy* em analogia a *Booleana*, ressaltando a importância da evolução da ciência para melhoramento do conhecimento. Dessa maneira, não deve haver desprezo de nenhum método empregado no passado e ou presente. Além de existir pesquisas atualmente se apropriando da inferência espacial *booleana* (CÂMARA *et al.*, 2001). De acordo com Fushimi (2016), dentro do contexto *Fuzzy* são apresentadas algumas metodologias como, por exemplo *Fuzzy – Fuzzy mínimo*, *Fuzzy máximo*, *Fuzzy média*, *Fuzzy gama* e *Fuzzy ponderado* (AHP), onde esses métodos viabilizam a comunhão entre os dados nos SIG e formação de distintos cenários sobre a temática analisada.

A *Analytic Hierarchy Process* (AHP) é considerada um método satisfatório se comparado as demais metodologias de análise espacial, sendo isso evidenciado nos trabalhos de Moreira (2001); Câmara *et al.*, (2001); Melo *et al.*, (2010); Pinese Júnior e Rodrigues (2012); Fushimi (2012) e Lollo e Sena (2013). Nesse sentido, Câmara *et al.* (2004, p. 1), frisa:

Na maioria dos projetos desenvolvidos em SIG a principal proposta é a combinação de dados espaciais, com o objetivo de descrever e analisar interações, para fazer previsões através de modelos, e fornecer apoio nas decisões tomadas por especialistas.

Portanto, a metodologia da AHP é a melhor proposta para delineamento de combinação de dados de várias nuances diferentes (geologia, geomorfologia, clima, solos, declividade e dentre outros), a fim de ser trabalhadas no ambiente dos SIG para diagnóstico e prognóstico da paisagem. Pendock e Nedeljkovic (1996) destacam que a combinação dos dados de várias fontes permite uma diminuição na imprecisão das interpretações ocasionadas pela análise individual dos dados. Dessa maneira, o método da AHP se desenvolve a ponto de melhorar as ambiguidades de apreciações de apenas uma variável do ambiente, no qual funciona de maneira dinâmica e sistêmica.

3.2.2 Processo Hierárquico Analítico (AHP)

A AHP se desenvolveu a partir da década de 1970, tendo como impulsionador o professor Thomas Lorie Saaty, da Universidade de Pittsburgh (CÂMARA *et al.*, 2001). A utilização da AHP começou com a área da administração para ajudar na tomada de decisões (RAFFO, 2012), e após o desenvolvimento de resultados satisfatórios nessa área foi replicada em várias outras ciências, tal como a Geografia. Raffo (2012) salienta a aplicabilidade do método da AHP no mundo contemporâneo em vários âmbitos.

Na atualidade o referido método está sendo utilizado nas áreas mais variadas incluindo administração pública, negócios, planejamento urbano e regional, gerenciamento de recursos hídricos, transporte e logística, gerenciamento de recursos naturais e meio ambiente, alocação de recursos para saúde, planejamento de investimentos empresariais e sociais, geomarketing, etc, e também no apoio a **Análise Espacial**. (RAFFO, 2012, p. 26, grifo do autor).

A AHP pode ser definida como sendo uma “[...] metodologia matemática destinada a ponderar quantitativamente variáveis mediante a interação do pesquisador com o modelo matemático e fazer isso em forma de considerações qualitativas.” (RAFFO, 2012, p. 26). Logo, a AHP seria o método heurístico capaz de ajudar a tomada de decisão, utilizando-se de dados numéricos de múltiplas fontes por meio da matemática e contribuir com diagnósticos e criação de cenários do objeto de análise.

O desenvolvimento da AHP de uma tomada de decisão, composta por diversos elementos, e posteriormente decomposta numa hierarquia para análise de maneira independente, sem perder o objetivo do problema. Por exemplo, o mapeamento das áreas mais vulneráveis a erosão. Nesse contexto o pesquisador teria de relacionar vários elementos naturais (geomorfologia, geologia, clima, solos) e artificiais (pastagem, monoculturas, áreas urbanas) contidos na paisagem para tomar a decisão da categorização das áreas mais vulneráveis aos processos erosivos. A complexidade dessa resposta pode ser bem viabilizada pelo uso da AHP, como inclusive é verificado nos trabalhos de Oliveira *et al.*, (2009) e Silva *et al.*, (2016).

Souza *et al.*, (2018), deixa claro esse processo da AHP que tem o objetivo de assessorar no procedimento de tomada de decisão:

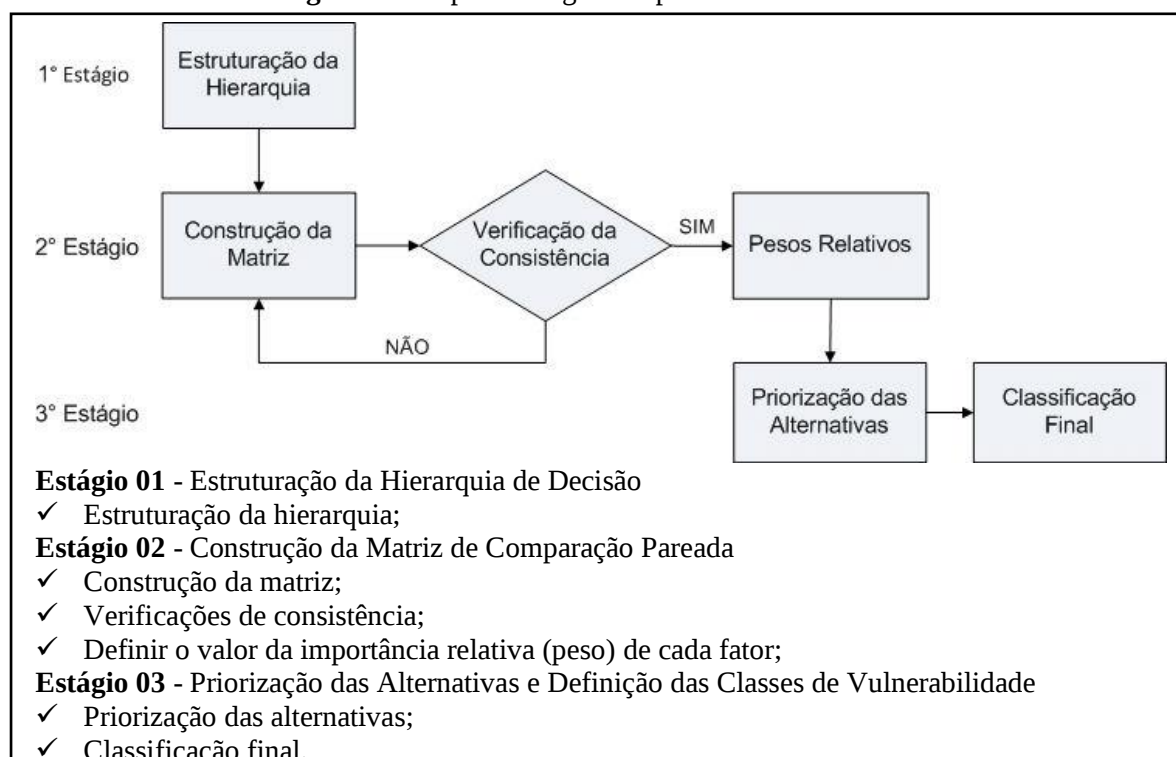
Tem como base a representação de um problema complexo através de uma estruturação hierárquica, que consiste da definição do objetivo global e decomposição do sistema em vários níveis, o que possibilita a visualização do sistema como um todo e seus componentes (SOUZA *et al.*, 2018, p. 104).

Após essa estruturação hierárquica, Silva e Nunes (2009) falam das demais etapas do processo de decisão utilizado pela AHP, no qual existem seis etapas condensadas em três estágios, apresentados abaixo (FIGURA 8), os quais serão explanados na parte da metodologia da pesquisa.

O processamento dos dados matemáticos necessários ao funcionamento da AHP é desenvolvido em vários *softwares*. Para Silva Junior (2013) a ideia da existência de vários instrumentos na rede mundial de informática facilitadores do uso da AHP, tendo uma interface gráfica de usuário prática e confiável, pode ser utilizada para diversos fins. Os avanços

tecnológicos em *softwares* permitiram a utilização do Excel da Microsoft, WEB-HIPRE (WEB-HIPRE, 2018), o programa *Spring* (CÂMARA *et al.*, 1996; INPE, 2018; FUSHIMI, 2016) e o PriEsT (SIRAJ *et al.*, 2018; SILVA JUNIOR *et al.*, 2016) e o ArcGIS (MENEZES JUNIOR, 2015; BISPO, 2018) na utilização da metodologia da AHP.

Figura 8 - Etapas e estágios do procedimento da AHP.



Fonte: Silva e Nunes (2009), adaptado pelo autor (2020).

Observa-se que as análises da AHP podem ser trabalhadas em várias interfaces, sendo estas pagas, tal como o ArcGIS, e gratuitas como o *Spring*, dessa forma, há uma ampliação da utilização desse método. A álgebra de mapas utilizada pelas interfaces empregando a AHP é melhorada, visto esse método atribuir pesos distintos a cada mapa, além de atribuir um valor a cada classe dentro do mesmo mapa utilizado na álgebra (RAFFO, 2012). Isso ajuda ao pesquisador a ponderar, de acordo com sua experiência e dados disponíveis, as variáveis analisadas, levando a elaboração mais condizente com a paisagem atual. No caso desta pesquisa, o método contribuiu para verificar quais variáveis são determinantes nos processos erosivos, fazendo uma hierarquização das mesmas através dos mapas temáticos e classes dos mesmos.

Quanto aos estudos no Brasil voltados a erosão com o uso do método da AHP, estes tem alcançado resultados satisfatórios, como verificado nos trabalhos de Gonçalves e Nogueira (2007); Sena (2008); Oliveira *et al.*, (2009); Júnior e Rodrigues (2012); Gimenes e Filho (2013);

Salis *et al.*, (2013); Magri (2013); Dias e Silva (2014); Souza *et al.*, (2015), Barbosa (2015); Silva *et al.*, (2016). Destas pesquisas, a maioria se encontra localizadas na região Sudeste, com o total de seis trabalhos, com destaque para o estado de Minas Gerais com cinco, e São Paulo com um. Em seguida vem a região Nordeste com três trabalhos, sendo dois do estado da Bahia e um do Ceará, os demais são do Centro-Oeste, contendo dois artigos do Mato Grosso do Sul.

Os trabalhos acima mencionados contemplam estudos relacionados a dois grandes eixos das pesquisas em erosão atualmente, a vulnerabilidade e susceptibilidade. Em termos quantitativos, os estudos acerca da vulnerabilidade do ambiente são mais midiáticos, tendo um total de sete dos 11 trabalhos analisados em oposição aos quatro da susceptibilidade aos processos erosivos. Em relação a demarcação da área de pesquisa o recorte espacial de bacia hidrográfica ficou com a maioria das escolhas, perfazendo um total de sete e os demais ficaram entre delimitação municipal ou áreas de grande escala geográfica. Tais quantitativos demonstram a usual e satisfatória relação dos estudos voltados aos processos erosivos e o recorte espacial de uma bacia hidrográfica.

Dentre os 11 trabalhos averiguados acima os quatro estão relacionados a susceptibilidade sendo eles os de Sena (2008); Magri (2013); Dias e Silva (2014) e Silva *et al.*, (2016). Destes, três desenvolvem suas pesquisas relacionado a delimitação de bacias hidrográficas e apenas Dias e Silva (2014) tem seu recorte de área de estudo baseado num corredor entre unidades de conservação. A unidade bacia hidrográfica é de suma importância para estudos integrados das várias nuances da sociedade (científica, política e civil), e sistêmica pela propensão natural da delimitação da paisagem através de seu perímetro. Os estudos direcionados a dinâmicas superficiais devem levar em consideração a complexidade existente na paisagem, recortada a partir dos limites de uma bacia hidrográfica, para uma melhor compreensão do seu estado atual e de sua dinâmica processual.

Como exemplos de estudos desenvolvidos em bacias hidrográficas voltados para processos erosivos utilizando-se da AHP tem-se o trabalho de Silva *et al.* (2016), que foi de identificar as possíveis áreas sujeitas à susceptibilidade erosiva na sub-bacia do Córrego do Sapé, em Minas Gerais, através dos mapas de precipitação pluviométrica, pedológico, uso e ocupação do solo e declividade. A pesquisa se utilizou da AHP para a determinação da ponderação dos pesos estatísticos relacionando os atributos de cada mapa. Essa metodologia facilitou aos pesquisadores na rápida execução e com custos baixos na elaboração das áreas mais propensas aos processos erosivos, como abordado por Silva *et al.*, (2016) na sua conclusão.

Este estudo permitiu comprovar o grande potencial do SIG na integração de dados geocodificados, decorrentes da possibilidade de automatização de cruzamentos complexos de informações, é a elevada precisão do produto final e a economia de tempo em relação aos métodos tradicionais de análise. (SILVA *et al.*, 2016, p. 77).

Dessa maneira, o mapa de suscetibilidade erosiva convém, inicialmente, para servir em ações voltadas para planejamento, visando à conservação dos recursos ambientais. O método da AHP contribui de maneira notável nos resultados, apesar de ser reconhecida a subjetividade intrínseca a análise multicritério da AHP, a qual é amenizada pela validação da coerência matemática e conhecimentos da área pesquisada.

A validação do método da AHP pode ser realizada de duas formas, a primeira seria a analogia desta com outra metodologia mais tradicional de aferição da suscetibilidade a erosão, no qual se utilizaria dos mesmos critérios para a AHP e o método, posteriormente com os resultados em mãos verificaria se a maioria dos dados coincidiria. Todavia, o emprego desta validação pode conter erros em ambos os modelos de suscetibilidade levando a resultados distintos da realidade. Assim, a confirmação da AHP por esta forma tem mais acurácia se a outra aferição ter sido bem desenvolvida e validada em campo.

A segunda maneira de poder afirmar que a utilização da AHP foi bem-sucedida seria pelo inventário das incisões erosivas na área da pesquisa. Ou seja, se fará um mapeamento das cicatrizes ocasionadas pelos processos erosivos através de imagens da região estudada. A melhor acurácia dessa validação é pela confecção do mapeamento e da confirmação dessas em campo. Visto, apenas a quantificação através de imagem pode não significar o estado real dos locais atuais do desenvolvimento da erosão. Logo, a confecção do mapa de cicatrizes de erosão faz necessário sua ratificação no território analisado para obter melhor acurácia do método.

3.3 PROCESSOS EROSIVOS

A pesquisa relacionada aos processos erosivos vem sendo desenvolvida desde os primeiros trabalhos geomorfológicos com o clássico de Davis (1899), em sua obra o Ciclo Geográfico. De acordo com Lima (2003), na nuance geomorfológica a erosão seria um elemento da morfodinâmica do relevo, sendo trabalhado por vários pesquisadores internacionais e nacionais, a exemplo, Horton (1945), Ruellan Francis (1943), Strahler (1952 e 1956), Young (1960), Keech (1968), Ab'Saber (1968), Christofolletti (1968), Utzer (1974), Rao (1975), Stocking (1978), Tricart (1977 e 1978), Chorley (1978), Kirkby (1980), De Ploey e

Poesen (1985), Lal (1990), Guerra (1994), Thomas (1994), Morgan (2005), Camapum de Carvalho (2006), Gregory (2010), entre outras publicações.

3.3.1 Acepções e tipologias

O processo erosivo ocorre no planeta modelando as paisagens desde a formação da Terra, e a terminologia erosão foi utilizada inicialmente por Penck em 1894, no contexto das ciências da Terra, na qual foi empregada para descrever a gênese de cavidades realizadas pela água e o desgaste de materiais sólidos pela ação fluvial (ZACHAR, 1982). De acordo com Magri (2013), a palavra erosão viria do latim *erodere*, que significa correr e escavar. Atualmente, a concepção de erosão tem um sentido mais complexo por se tratar de uma gama de situações naturais atribuídas a mesma. Inclusive, a espécie humana atua criando ou intensificando os processos erosivos de maneira mais rápida e intensa se comparada a erosão por aspectos naturais.

Nesse sentido, ocorrem diversas acepções teórico-conceituais sobre a erosão. Mortari (1994), por exemplo, define este processo como sendo a realização de um trabalho e seu produto seria o suco, a voçoroca etc. Selby (1993) conceitua erosão incluindo “(...) o destacamento e remoção de solo e rocha pela ação da água corrente, vento, ondas, gelo e movimentos de massa”.

Tais conceituações explicam, de forma sintética e geral, deixando muito ampla as definições de erosão, e evidencia as formas desenvolvidas pelo processo. Os autores Bertoni e Lombardi Neto (2008) e Guerra (2015), conceituam o processo erosivo de maneira semelhante, porém especificando os agentes naturais erosivos como o pluvial, fluvial, marinho e eólico. Sendo isso pertinente, pois cada agente tem características distintas na dinâmica evolutiva erosional, além de se considerar as particularidades de cada paisagem

O Instituto de Pesquisas Tecnológicas - IPT (1986), tem uma definição na qual também já exibe os agentes erosivos, sendo ressaltado na mesma a remoção de fragmentos e partículas de rochas não ficando restrito aos processos erosivos do solo. A erosão ocorre tanto no solo, onde já se encontra mais tempo na paisagem, como no material recém-formado pelo intemperismo, seja ele físico, químico ou biológico.

[...] processos de desagregação e remoção de partículas do solo ou de **fragmentos e partículas de rochas** pela ação combinada da gravidade com água, vento, gelo e/ou organismos (plantas e animais). (IPT 1986, grifo do autor).

O processo de erosão hídrica pode ocorrer em superfície e em subsuperfície (GUERRA, 2009). Em relação a erosão em profundidade sabe-se pouco sobre esse movimento, podendo o escoamento se desenvolver mesmo após a precipitação ter cessado, visto a infiltração entre e sobre as camadas poder ser mais lenta a depender da constituição e espessura das mesmas (GUERRA, 2009). A concentração do fluxo em subsuperfície pode formar dutos ou túneis, podendo ocasionar o colapso das camadas superiores (MORGAN, 2005), logo, consequentemente, a gênese de grandes feições lineares como voçorocas.

A erosão segundo Bennett (1939), pode ser classificada em geológica como normal e acelerada. Sendo a erosão geológica em equilíbrio com o processo de formação do solo, em contrapartida a antrópica ou acelerada, rápida e intensa, estando superior a formação do solo, não permitindo a recuperação natural (MORTARI, 1994; SALOMÃO e IWASA, 1995; BERTONI e LOMBARDI NETO, 2008). Nesse contexto, a erosão dita geológica tem a predominância da pedogênese sobre a morfogênese, e na erosão antrópica o contrário. Todavia, pode ocorrer erosão geológica e está ocorrendo morfogênese sem ter envolvimento com a espécie humana, visto a paisagem terem sido ou estarem sendo modeladas pela dinâmica superficial da terra. Uma classificação mais detalhada dos tipos de erosão natural é apresentada por Lal (1990), no qual tipifica em função dos agentes desencadeadores do processo erosivo como exibido na figura 9 abaixo.

Figura 9 - Classificação dos diferentes tipos de erosão, em função dos agentes naturais.



Fonte: Lal (1990), adaptado pelo autor (2020).

Em relação a esta pesquisa, o foco é a erosão hídrica, e de acordo com Bigarella (2003) e Guerra (2015), esses processos erosivos em paisagem tropicais úmidos são mais efetivos pela ação das chuvas, abundantes e acordo com sua sazonalidade. Nestes ambientes ocorrem totais

pluviométricos elevados (superiores a 1.500 mm anuais) e a precipitação se concentra em certos períodos do ano, intensificando a ocorrência da erosão (GUERRA, 2015). A aceleração do processo erosivo, caso ocorra acumulados de chuvas em solos desprotegidos, tem uma sequência de mecanismos relacionado ao salpicamento (*splash*), infiltração, formação de crostas e escoamento superficial, inicialmente na forma laminar (*sheetflow*) e, posteriormente, linear (*flowline*), este último responsável pela formação de feições erosivas lineares, como as ravinas e as voçorocas.

O *splash* consiste no início do processo erosivo hídrico, visto este inicialmente realizar a desagregação e quebra dos agregados (FIGURA 10), provocado pelo contato das gotas de chuvas diretamente sobre o solo (GUERRA, 2015). Pós a implosão dos agregados, os grãos dispersos realizam o preenchimento e obstrução dos poros da superfície do solo, levando a uma selagem da superfície, ocasionando a diminuição da infiltração e consequente formação de crostas e poças, estas últimas geradas pela dificuldade de infiltração em decorrência da selagem do solo, tendo como consequência uma ampliação do escoamento superficial e carreamento dos sedimentos desagregados (GUERRA, 2015). O termo *splash* pode ser utilizado como sinônimos de salpicamento ou erosão por salpicamento (GUERRA e GUERRA, 2011).

Figura 10 - A atuação da gota da chuva sobre superfície do solo exposto ocasionando o *splash* ocorrendo a desagregação das partículas do solo.



Fonte: Samagra (2018), adaptado pelo autor (2020).

A matéria orgânica nos primeiros horizontes do solo tem uma função inicial de proteger contra a erosividade da chuva e instabilidade dos agregados, destaque para os horizontes superficiais do solo onde tem-se uma maior concentração de matéria orgânica. Todavia, essa defesa não dura muito tempo, pois com a continuidade e/ou intensidade da chuva o processo erosivo vai se desenvolver caso não se tenha outros fatores para ajudar na proteção dos solos. Inclusive, a própria matéria orgânica e a serapilheira são susceptíveis à erosão laminar por se encontrar nas camadas superiores do solo e, geralmente, pouco adensados (GUERRA, 2015).

Os solos com maior concentração de silte tem maior vulnerabilidade a erosão (GUERRA, 2015), assim como solos mais arenosos, devido a menor densidade dos grãos e

maior facilidade em ser desprendidos (FIGURA 10). Bertoni e Lombardi Neto (2008), afirmam que a matéria orgânica pode reter de duas a três vezes o seu peso em água, logo a maior concentração de matéria orgânica ajuda na infiltração da água no solo, restringindo os processos erosivos desencadeados pelo escoamento superficial. Para Guerra (2015), os solos com maior quantidade de argila e matéria orgânica se apresentam menos propensos a formação de crostas e redução do desencadeamento da erosão.

A infiltração das águas da chuva é imprescindível para a compreensão do processo erosivo, visto após a saturação e selamento do solo pela água iniciará a formação de poças e escoamento superficial. A taxa de infiltração vai ser determinado pelas propriedades do solo, características das chuvas, tipo de cobertura vegetal, uso e manejo do solo, características das encostas e microtopografia da superfície do terreno (GUERRA, 1996 e 2015; COELHO NETTO, 1998). Segundo Morgan (2005), um evento de precipitação intensa ocasiona a saturação do solo pela água, diminuindo a infiltração em associação a formação de crostas e desenvolvimento de poças.

A umidade do solo é um aspecto importante ao processo de infiltração da água no solo, devido a saturação ser mais rápida caso já se tenha um solo com maior teor de umidade, relacionada a chamada umidade antecedente, determinada por períodos chuvosos anteriores e prolongados, (GUERRA, 2015).

Também para Guerra (2015) outra variável contributiva ao processo de infiltração é o uso e manejo do solo, tendo como exemplo contrário a infiltração a compactação do mesmo pelo uso de máquinas agrícolas. Neste contexto, ocorreria a formação de torrões pelo peso das máquinas nas camadas mais superficiais do solo, acarretando a compactação e diminuição da infiltração e perda acelerada do solo.

A fase de escoamento superficial começa com a constituição de poças, as quais, para a formação, irão depender da saturação do solo e microtopografias, onde permitam a concentração das águas (GUERRA, 2015). Havendo a conexão das poças, se inicia o escoamento, podendo se configurar primeiro como difuso e em seguida concentrado, ressaltando a ordem do desenvolvimento iniciado das poças e posteriormente o escoamento superficial, sendo considerados concomitantes. O fluxo do escoamento através do solo pode ser de maneira anastomosada ou em forma de lençol, ganhando mais força caso seja alimentado pela energia da chuva (GUERRA, 2009).

O escoamento superficial, pela sua força de cisalhamento, promove a retirada dos sedimentos, sobretudo quando aumenta a profundidade do fluxo (HORTON, 1945). Segundo Guerra (2009) o *overland flow* tem estágios de evolução, os quais seriam: poças, escoamento

laminar, em lençol, escoamento linear, microrravinas, microrravinas com cabeceiras, bifurcações das microrravinas, ravinas até o nível de voçorocas. Frisando, que este desenvolvimento pode ocorrer nessa sequência ou ainda haver alguma mudança de estágio a depender das características intrínsecas da área analisada.

Morgan (2005), define o escoamento em lençol (*sheetflow*) como sendo o ponto inicial dos processos erosivos. Todavia, a força de cisalhamento desse fluxo não seria suficiente para carregar as partículas, porém quando o mesmo começa a tornar-se concentrado, pode dar início a formação de ravinas (HORTON 1945; GUERRA, 2009).

A erosão laminar ou em lençol, ocorre de maneira difusa, como fosse uma retirada do solo por lâminas (BERTONI e LOMBARDI NETO, 2008). Esse tipo de processo erosivo é difícil de observar por ser sutil retirando finas camadas de solo, sendo constatado pela exibição das raízes, queda da produtividade e tons claros do solo (MAGRI, 2013). Horton (1945), deixa claro que num contexto de encosta o topo seria uma zona sem fluxo, logo sem erosão, enquanto mais se afasta do topo ocorre maior fluxo e canalização do escoamento, assim ocorrerá a gênese de ravinas.

O escoamento de fluxo linear (*flowline*), seria a sequência ao *sheetflow*, no qual ocorre a concentração do fluxo em pequenos canais (GUERRA, 2015). Nesse sentido, o *sheetflow* e o *flowline* levaria ao desenvolvimento da erosão laminar e linear, respectivamente.

A erosão linear viria a ser “[...] causada pela concentração das linhas de fluxo das águas do escoamento superficial, resultando na formação de filetes ou canais” (MAGRI, 2013, p. 41). No Brasil, as feições erosivas podem ser classificadas em três tipos: sulcos, ravinas e voçorocas (SALOMÃO, 1994; SALOMÃO e IWASA, 1995; CANIL, 1995 e 2000). Embora Guerra (2009; 2015), tenha uma divisão da erosão linear através de um processo evolutivo, iniciando com as microrravinas, microrravinas com cabeceiras, bifurcações das microrravinas, ravinas e voçorocas.

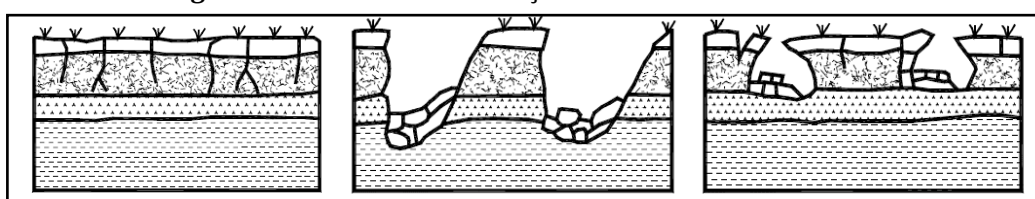
3.3.2 Ravinas e voçorocas

Os processos erosivos lineares podem ser tipificados em várias denominações. Todavia as mais abordadas são em três: sulcos, ravinas e voçorocas, sendo os sulcos os primeiros filetes ou riscos ocasionados pelo escoamento superficial linear, quando a água escoada de forma concentrada ganhou volume e velocidade e se concentrou nas irregularidades presentes na superfície do solo (LAL, 1990; BAHIA *et al.*, 1992; GUERRA; BOTELHO, 1996; GUERRA, 2015). De acordo com Bertoni e Lombardi Neto (2008), os sulcos no início de sua formação

podem ser sanados com ações fáceis de preparo do solo. Entretanto, numa fase mais avançada, o mesmo pode requerer mais tempo e capital, pois adquirem maiores dimensões quanto a largura e profundidade.

Os sulcos (FIGURA 11) são incisões pequenas em comparação as ravinas e voçorocas, contendo um tamanho aproximado entre 10 a 30 cm de largura e entre 5 a 15 cm de profundidade, e no seu estágio máximo pode ser corrigido através de máquinas agrícolas na realização de um nivelamento do terreno (OLIVEIRA, 1994).

Figura 11 - Processo de formação dos sulcos em forma de V até U.



Fonte: Díaz (2001), adaptado pelo autor (2020).

Os sulcos são conceituados como uma fase inicial da canalização do fluxo e sua evolução através do aumento de sua extensão passaria ser denominada de ravina. Logo, os sulcos podem ser denominados por ravinas, inclusive autores como Horton (1945) e Guerra (2015) compreendem feições erosivas lineares em ravinas e voçorocas. A evolução dos sulcos através do aprofundamento leva a geração de ravinas (GUERRA e BOTELHO, 1996), e nesta pesquisa se utilizará apenas as terminologias ravinas e voçorocas para denominações dos processos erosivos lineares.

Guerra (2015), designa as ravinas como incisões de até 50 cm de largura e profundidade e acima desses valores, as feições erosivas são nomeadas de voçorocas. O mesmo frisa a existência de várias classificações acerca dos padrões limítrofes quanto a profundidade e largura entre as ravinas e voçorocas. Por questão morfológica e hierárquica das incisões erosivas esta pesquisa leva em consideração as extensões de até 50 cm de largura e profundidade para as ravinas, acima desse valor se considera voçoroca (OLIVEIRA, 2007).

A constituição das ravinas em uma encosta ocorre a uma distância crítica do seu topo, no qual o escoamento superficial se concentra dando origem a incisão, que recua no sentido contrário ao fluxo, ou seja, na direção ao topo da encosta, em processo erosivo remontante (GUERRA, 2009).

O processo de recuperação de áreas que sofrem ravinamentos vai demandar de recursos humanos para a erradicação da perda de solo, visto a morfologia das ravinas terem uma

proporção maior em analogia aos sulcos. Estas duas feições erosivas, sulcos e ravinas, geralmente não chegam a alcançar o lençol freático. Contudo, se ocorrer, rapidamente se converte para a forma de voçoroca.

Bertoni e Lombardi Neto (2008), afirmam que a ravina em solos com horizontes uniformes terá suas paredes aproximadamente verticais, e caso o material seja incoeso haverá desmoronamentos constantes. Sendo as camadas mais profundas menos friáveis em comparação as mais superficiais, a forma das paredes será em forma de V.

Em relação a classificação das ravinas se tem uma grande variedade de tipologias a depender do objetivo a ser alcançado ou do critério analisado. Bergonse e Reis (2011), descreve alguns como os de contexto geográficos específicos (forma da secção transversal e quantidade de cabeceiras), morfométricos (profundidade e a forma da secção transversal), e padrões evolutivos.

A origem das ravinas pode acontecer de maneira natural ou por ação antrópica. Selby (1993) afirma que a gênese destas feições resulta de uma quebra da encosta, ou em locais no qual a vegetação foi removida. As ravinas tendem a ser mais frequente em solos profundos, solos vulcânicos, aluviões, coluviões, cascalho e em áreas não consolidadas. Isto é, as ravinas terão um desenvolvimento notável, principalmente em materiais incoesos de fácil remoção pela erosão. Desta (2012), aborda que a constituição das ravinas pode aparecer em qualquer depressão, a exemplo dos caminhos realizados pelos animais ou até feitos por pessoas e caso não erradicadas podem evoluir para as voçorocas.

A diferenciação entre as ravinas e voçorocas está relacionada ao tamanho da forma erosiva por ser mais profundas, largas e extensas, além de serem mais relativamente permanentes na paisagem (GUERRA e BOTELHO, 1996). Logo, esses concluem que a voçoroca pode ser proveniente de uma evolução direta da ravina, ou ainda ser formada pela ação do escoamento subsuperficial. Díaz (2001), ratifica a ideia acima e acrescenta a possibilidade dos vários sulcos e ou ravinas se unificarem levando a formação de uma voçoroca. Outra característica para a distinção entre essas feições seria a possibilidade do voçorocamento alcançar o lençol freático, devido ao aprofundamento da feição voçoroca (GUERRA, 2009).

A terminologia boçoroca, equivalente a voçoroca, foi utilizada até a década de 1990 por pesquisadores do Brasil relacionados a nuance das geociências. Entretanto, a partir do final da década de 1990, houve a mudança pelos pesquisadores por voçoroca sem acontecer nenhuma argumentação científica da necessidade de mudar a nomenclatura (FRANCISCO, 2018). Na literatura internacional a feição geomorfológica boçoroca tem várias denominações, tais como:

cárcava nos países hispânicos, *barroca* em países lusófonos, *donga* na África do Sul; *gully* nos Estados Unidos da América e *lavaka* em Madagascar (VIEIRA, 1978; DÍAZ, 2001).

De acordo com Vieira (1978), a gênese do conceito de voçoroca vem da expressão do tupi-guarani *yby soroc*, no qual corresponde a rasgão da terra. O mesmo define voçoroca como:

[...] são depressões profundas circundadas por vertentes quase verticais que se alargam nas proximidades das cabeceiras devido à intensa atividade erosiva regressiva e se afunilam junto à foz do curso d'água que a percorre, cortando sedimentos arenosos de fraca coesão, sem apresentar forte declive longitudinal (VIEIRA, 1978, p. 07).

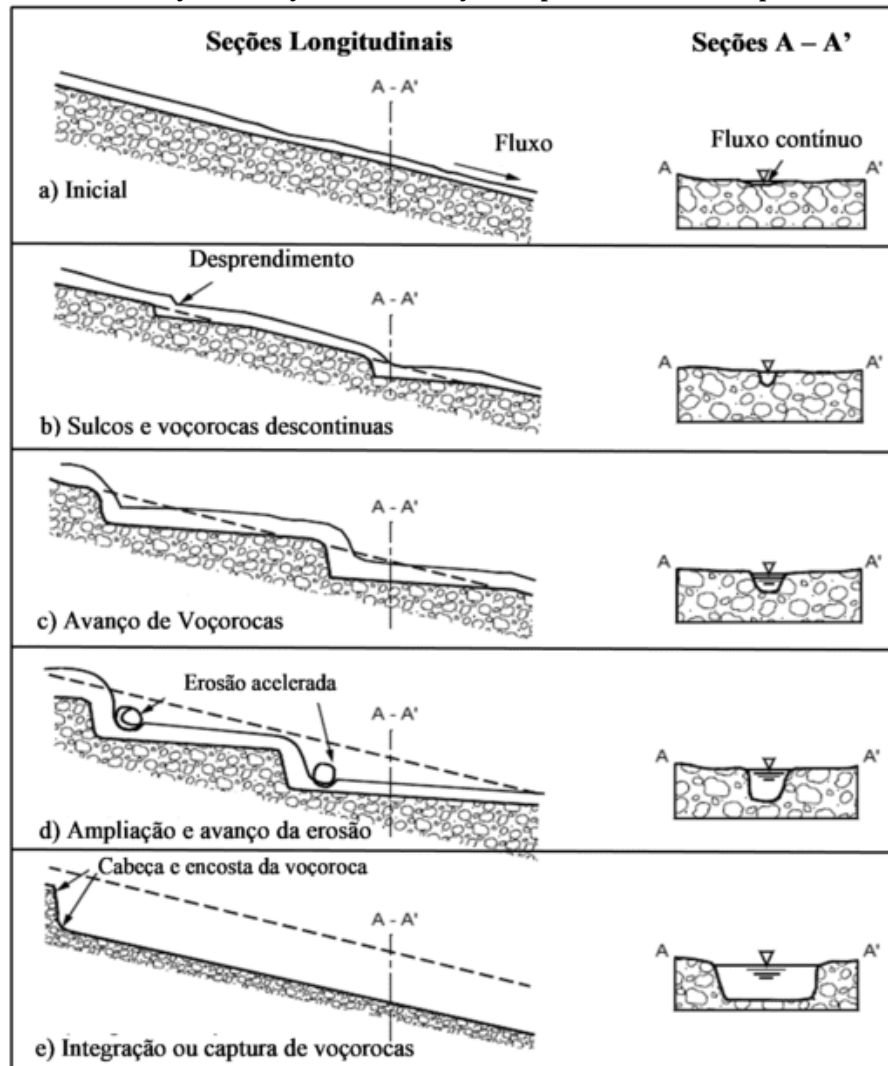
A definição de voçoroca de Vieira (1978), traz inicialmente a descrição morfológica e em seguida aborda o processo atuante, no qual seria da erosão remontante; posteriormente contempla o material existente no fundo. Essa descrição abordando forma, processo e material é pertinente nas conceituações das voçorocas por relatar mais aspectos sobre essa feição. Todavia, existem definições com menos detalhes acerca do definido ou ainda que contempla outras informações peculiares a análise do pesquisador, a exemplo Guerra (2009), traz ao conceito elementos específicos como o tempo de existência da feição, a forma do fundo e a periodicidade do fluxo no interior da voçoroca.

A formação dessa feição erosional pode acontecer de três maneiras, por fluxo superficial, subsuperficial ou pela ação dos dois ao mesmo tempo (PICHLER, 1953; RODRIGUES, 1982; PONÇANO e PRANDINI, 1987; BIGARELLA, 2003). Em relação aos fluxos superficiais as voçorocas se desenvolvem a partir de sulcos e ou ravinas (FIGURA 12), onde vão aumentando suas dimensões no decorrer do tempo até chegar ao nível de uma voçoroca (VILAR e PRANDI, 1993; SALOMÃO e IWASA, 1995; GUERRA e BOTELHO, 1996). A constituição dessa feição por erosão do escoamento subsuperficial ocorre pelos dutos (*pipings*), os quais removem os sedimentos do subsolo levando ao colapso do material acima originando a voçoroca (GUERRA, 2009).

A união da erosão pelo fluxo superficial e subsuperficial leva ao voçorocamento mais rápido, por intensificar a retirada do material aumentando proporcionalmente essa feição erosiva. As voçorocas podem ser conectadas a rede hidrográfica tendo uma taxa erosiva maior em relação as desconectadas, visto existir um fluxo constante de água careando os sedimentos dentro da incisão erosiva (OLIVEIRA, 2007). Ainda segundo Oliveira (1989; 1992; 2007), as ravinas e voçorocas podem ser mais destrutivas se forem do tipo conectadas a rede hidrográfica, em compensação as voçorocas desconectadas têm taxas erosivas bem menores. Isso é evidente

visto a voçoroca ser um processo erosivo hídrico, tendo a água com agente principal, estando a mesma de maneira contínua ou nos momentos de precipitação.

Figura 12 - Evolução da feição erosiva voçoroca por escoamento superficial.



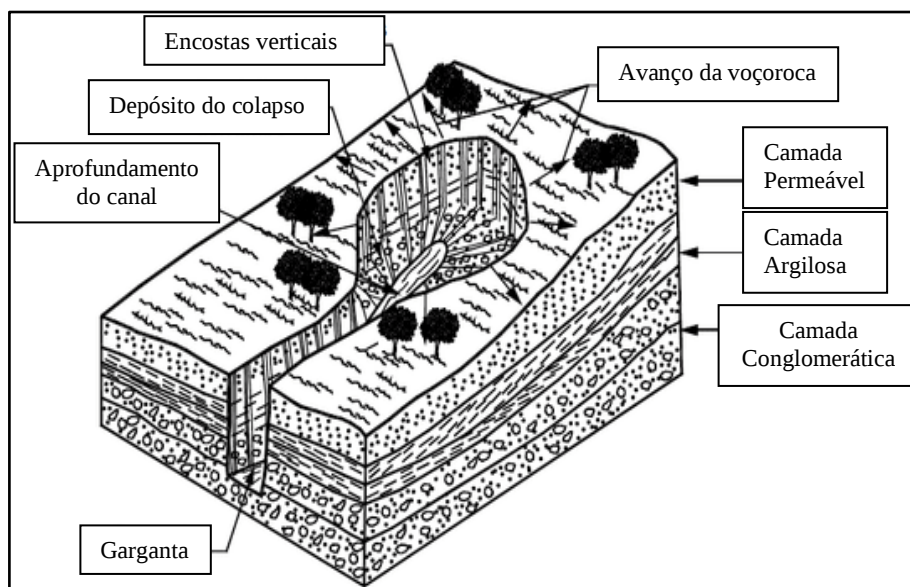
Fonte: Díaz (2001), adaptado pelo autor (2020).

As voçorocas podem chegar até o lençol freático (GUERRA, 2009), passando de um contexto com pouca remobilização do material por ter água no sistema de maneira intermitente para outro com fluxo contínuo e extração ininterrupta do material remobilizado. Além dos próprios *piping* ocasionarem o *input* da água no sistema da voçoroca.

Em relação ao desenvolvimento das voçorocas, a água é o fator primordial, seja a mesma por superfície ou subsuperfície, por ser desencadeadora da evolução do processo e consequente feição erosiva. Guerra (2015) deixa evidente o poder decisivo da água atuando na base e laterais das ravinas e voçorocas levando ao colapso do material ao centro da feição e posteriormente carreado para partes mais baixas. A água pode ser mais efetiva caso ocorra de maneira

permanente e com maior volume e velocidade, nesse contexto só intensifica o processo erosivo da voçoroca. Díaz (2001), afirma que as voçorocas iniciam com um perfil transversal em V e evolui para U pela continuidade da erosão do fundo e das laterais (FIGURA 13).

Figura 13 - Esboço geral de uma voçoroca em desenvolvimento.



Fonte: Díaz (2001), adaptado pelo autor 2020.

De acordo com Fendrich *et al.* (1997), o desenvolvimento de uma voçoroca passa por quatro estágios:

1. Formação de ravinas através do escoamento superficial canalizado;
2. O aumento das dimensões das ravinas gerador das voçorocas com surgimento da cabeceira da feição devido a erosão regressiva;
3. O encontro do nível de base de erosão com desenvolvimento de fundo achatado;
4. Início da estabilização da feição, com atenuação dos taludes e colonização de plantas proveniente dos escorregamentos.

A estabilização da voçoroca vai depender da diminuição progressiva da entrada de energia no processo erosivo, ou seja, a morfogênese será cessada aos poucos, principalmente pela diminuição de água no sistema.

Em relação a origem das voçorocas Selby (1993), afirma que a formação estaria relacionada a união de fatores em paisagens submetidas a mudanças ambientais, tais como: aumento da declividade, desmatamento e concentração de fluxos. Para Guerra (2009), as atividades antrópicas levam ao aparecimento das voçorocas a partir de ações como desmatamentos, queimadas, usos agrícolas da terra, além das características do ambiente como tipos de chuva, propriedades dos solos, dentre outros serem determinantes. A voçoroca é um

processo pertencente a morfodinâmica da paisagem, essa dinâmica naturalmente pode alcançar seu equilíbrio, todavia pode-se levar muito tempo para a estabilização.

A ação humana como agente geológico-geomorfológico pode criar ou reativar o voçorocamento por ações não planejadas, tornando-se um processo comum da morfogênese e morfodinâmica contemporânea.

Para Oliveira (1989; 1992; 2007), as voçorocas são classificadas em conectadas, desconectadas e integradas. As voçorocas conectadas estão localizadas na parte inferior da encosta e associadas ao escoamento hipodérmico e/ou subterrâneo podendo ser consideradas em canais de primeira ordem. As voçorocas desconectadas estão inseridas na parte superior da encosta e ligadas ao escoamento superficial e ou movimentos de massa e não estando associadas a canais. Por último, as voçorocas integradas das quais seriam uma união entre as voçorocas conectas e desconectadas, dando origem a uma única feição erosiva.

Em relação a classificação das voçorocas existem uma grande variedade de tipologias, utilizadas pelos mais variados autores a exemplo de Oliveira (1989; 1992; 2007), Fendrich (1997), Camapum de Carvalho *et al.* (2006), Vieira (2008), tendo, por conseguinte vários objetivos distintos a exemplo: formato da seção transversal, tamanho, profundidade, formato em planta e entre outros.

Fendrich (1997), classifica as voçorocas em relação a seção transversal, no qual seria o formato V ou U, a voçoroca com perfil em V teria solos com maior resistência a erosão em contrapartida o formato em U demonstra solos mais susceptíveis a altas taxas de erosão. Em relação ao atributo de profundidade Fendrich (1997), considera as voçorocas em pequenas, medias e grandes (TABELA 6), baseado em quantos metros de espessura e a extensão drenante em hectares.

Tabela 6: Classificação das voçorocas em relação ao critério profundidade.

Tamanho	Profundidade (m)	Área Drenante (ha)
Pequena	< 1	2
Média	1 a 5	2 a 20
Grande	> 5	> 20

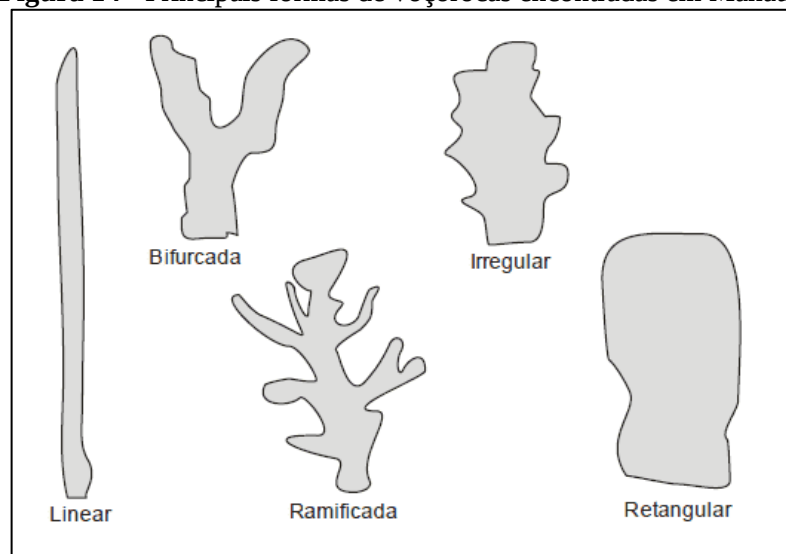
Fonte: Fendrich (1997), adaptado pelo autor (2020).

As ravinas e voçorocas podem assumir forma linear de acordo com as características geológicas e estruturais da paisagem, tendo um perfil transversal em V inicialmente podendo evoluir até a forma em U ou trapezoidal (CAMAPUM DE CARVALHO *et al.*, 2006). Dobek *et al.* (2011), consegue obter perfis distintos em voçorocas num ambiente de desenvolvimento

de silvicultura. Ratificando, a funcionalidade da classificação de voçorocas através de um perfil de V a U, propostas por de Fendrich (1997) e Camapum de Carvalho *et al.* (2006).

Vieira (2008), afirma a existência de categorizações para as voçorocas, obedecendo a critérios diversos. Todavia, se tem os mais utilizados, sendo eles: área de abrangência, a forma, a dimensão e formato da seção transversal do canal e a localização (rural ou urbana). Vieira (2008), determina uma classificação em forma planar (FIGURA 14) para voçorocas encontradas em Manaus, baseada na geologia (litologia e estrutura), relevo (forma e declividade), solo, cobertura vegetal e sistema de drenagem superficial ou subsuperficial, frisando que essas formas são resultado de processos intrínsecos ao ambiente ocorrente do processo erosivo, podendo não ocorrer esse tipo de feição em outras paisagens.

Figura 14 - Principais formas de voçorocas encontradas em Manaus.



Fonte: Vieira (2008), adaptado pelo autor (2020).

As voçorocas podem ainda ser classificadas usando o critério morfológico, em: linear, bulbiforme, em treliça, composta, dendrítica, paralela (BIGARELLA e MAZUCHOWSKI, 1985), e retangular (VIEIRA, 1998). Outra categorização das voçorocas mais antiga seria a proposta por Ireland *et al.* (1939), no qual se define quatro tipos: linear, sem ramificações expressivas, sendo desenvolvida essencialmente pelo canal principal; dendrítica seria formada por voçorocas em ramificações; composta, na qual agregaria os tipos lineares e bulbosas, não apresentando um padrão único; e a indefinida, onde os canais principais estão em processo de formação, não tendo uma forma definitiva.

As múltiplas classificações exibidas acima evidenciam a preocupação dos autores em conhecer o desenvolvimento das voçorocas para uma melhor prevenção e recuperação das áreas

afetadas por essas feições erosivas. Abaixo segue uma síntese das principais classificações das voçorocas (TABELA 7), confeccionadas por vários critérios e autores ao longo do tempo.

Tabela 7 - Resumo das principais tipologias para a feição erosiva voçoroca.

Autores	Ano de publicação	Categorização
Ireland <i>et al.</i>	1939	Linear, dentrítica, composta e indefinida.
Fendrich	1984	Rural e urbana.
Bigarella e Mazuchowski.	1985	Linear, bulbiforme, em treliça, composta, dendrítica e paralela.
Oliveira	1989	Conectadas, desconectadas e integradas.
Fendrich	1997	Pequena, média e grande.
Vieira	1998	Linear, bulbiforme, em treliça, composta, dendrítica, paralela e retangular.
Vieira	2008	Linear, bifurcada, ramificada, irregular e retangular.

Fonte: O autor, 2020.

As voçorocas são feições presentes em diversas paisagens pelo mundo, ocasionado problemas socioambientais e econômicos, apesar destas e outros tipos de erosão hídrica, fazerem parte da morfodinâmica do planeta no relativo ao processo de modelagem da superfície terrestre.

Salomão (2015) aborda que a aplicação de medidas eficazes de controle preventivo e corretivo dos processos erosivos irão depender da compreensão da dinâmica de funcionamento hídrico na superfície do terreno. O mesmo afirma a grande variedade de técnicas de conservação do solo utilizadas na agricultura, podendo ser classificadas em vegetativas, edáficas e mecânicas. As duas primeiras têm fácil execução e custam menos, já as técnicas mecânicas são mais dispendiosas e são aplicadas em espaços muito suscetíveis a erosão tendo a complementação das técnicas vegetativas e edáficas.

Nesse contexto, Sales *et al.* (2006) ratifica a ideia de Salomão (2015), afirmando que existe uma grande quantidade de ações a serem empregadas como uma atitude de controle dos processos erosivos. Sales *et al.* (2006) divide de forma didática as atitudes em medidas preventivas e corretivas, as primeiras destinam-se a impedir que um agente inicie o processo erosivo. As medidas corretivas compreendem o conjunto de intervenções realizadas posteriormente a uma erosão instituída, essas medidas têm como objetivo reparar os danos ocasionados e ou tentar parar o desenvolvimento da erosão. Dessa maneira esse autor categoriza as medidas corretivas em: medidas de estabilização e medidas de recuperação.

Sales *et al.* (2006) afirma que alguns profissionais decidem sanar a causa do processo erosivo deixando o ambiente natural se recompor de forma espontânea, para alcançar um novo equilíbrio. Essa situação deve ser bem estudada, visto a depender das características da erosão

pode requerer muito tempo para a mudança de morfogênese a pedogênese. Isto é, as erosões tipo voçorocas em estágios avançados levaram muito tempo para alcançar o equilíbrio, mesmo tendo sua causa sanada. Nesse sentido, Díaz (2001) deixa claro que é mais fácil prevenir a ocorrência dos processos erosivos, principalmente das voçorocas, do que controlar após as mesmas serem geradas.

As ações e obras usuais para o controle de erosões são agrupadas nas categorias: retenção de águas a montante; obras na microdrenagem e pavimentação; obras na macrodrenagem; drenos; dissipadores de energia; estabilizadores de talvegue; estabilizadores de taludes e reaterro de erosões (SALES *et al.* 2006). O mesmo autor ressalta a eficácia e problemas encontrados nas formas de controle da erosão. Todavia, o sucesso de um método não pode servir como modelo a ser repetido e nem os problemas já identificados como desestímulo em seu uso. Portanto, as metodologias de ação devem ser utilizadas após o diagnóstico do processo erosivo, levando em consideração as características intrínsecas do local. Dessa forma, não se deve adotar um modelo metodológico no controle para todas as formas de erosões identificadas, devendo-se considerar o ambiente e as dinâmicas processuais das paisagens.

Díaz (2001) afirma que o controle de voçorocas tem seu método mais eficiente através do uso da vegetação com estruturas que favoreçam seu crescimento, podendo ser necessário o uso de método mecânicos para conter esse processo momentaneamente enquanto as plantas são estabelecidas. O mesmo autor aborda sobre a necessidade da estabilização das voçorocas em quatro ações, sendo elas:

1. Diminuir a velocidade e o fluxo, reduzindo o gradiente;
2. Parar o fluxo usando sistemas de barragens;
3. Desviar o fluxo para áreas não perigosas;
4. Dissipar a energia usando estruturas ou aumentando a sinuosidade e o comprimento do canal.

A forma como Díaz (2001) apresenta as formas de contenção das voçorocas é de acabar com a causa e a força do processo erosivo, posteriormente estabilizar a feição com a vegetação para não gerar outros processos erosivos ou intensificar o já existente.

A voçoroca não deve ser corrigida apenas no seu aspecto de forma sem haver a exumação do motivo de sua gênese e desenvolvimento, caso contrário, a metodologia empregada vai funcionar por um certo tempo até se criar outros condicionantes para reativar os processos erosivos. Isso acontece por não se ter alcançado o equilíbrio da morfogênese, no qual o ambiente vai continuar evoluindo pelos processos morfodinâmicos.

Logo, para haver a contenção das voçorocas deve-se primeiro realizar um diagnóstico sistêmico da mesma, assim se conceberá o entendimento do seu funcionamento e evolução. Em seguida, utilizar-se de uma ou mais metodologias de práticas mecânicas apropriadas a estabilização do processo, sendo salutar a utilização da melhor ação de controle para cada caso específico. Por fim, seria encontrar uma maneira de restaurar o equilíbrio da paisagem levando a mudança do processo de morfogênese para pedogênese.

Para Morgan (2005), práticas mecânicas de campo podem ser utilizadas para restringir o movimento da água e do vento sobre a superfície do solo, citando os seguintes exemplos: barreiras de contorno; terraços; vias navegáveis; medidas temporárias (cercas de silte, rolos de serapilheira, fardos de palha, lagoas de sedimentação); estruturas de estabilização; geotêxteis; esteira de escova; controle do canal; caminhos e quebra-ventos.

O uso das metodologias mecânicas são um consenso entre pesquisadores como Díaz (2001), Morgan (2005), Sales *et al.* (2006), Faria *et al.* (2013), Guerra (2015), Almeida Filho (2015), Salomão (2015), por se tratar de meios já consolidados e com bons resultados no controle dos processos erosivos e suas consequentes feições, especialmente as voçorocas. Ressaltando a prática de outros métodos com utilização consagrada no tratamento das feições e processos erosivos, tais como a de caráter vegetativo e edáfico (ALMEIDA FILHO, 2015).

Em relação a região Nordeste do Brasil, os estudos dos processos erosivos são poucos se comparado a outras regiões brasileiras, a exemplo do Sudeste. Santos *et al.*, (2018) reuniram registros de casos de erosão por cada estado da região Nordeste, entre o período de 1980 a 2017 (QUADRO 1), no qual verificou-se que os estados da Bahia e Pernambuco são os mais representativos com um percentual de 72,5% dos casos de erosão para o Nordeste. Esse acúmulo de casos em Pernambuco é decorrente dos condicionantes naturais, como por exemplo geologia, relevo e clima, sendo o território pernambucano susceptível a dinâmica superficial da paisagem, principalmente através da erosão e movimentos de massa. Além do uso e ocupação da terra ser intenso, principalmente na Região Metropolitana de Recife, área principal dos registros de erosão no estado.

Quadro 1: Registros de casos de erosão do Nordeste do Brasil no período de 1980 a 2017.

ESTADOS	AL	BA	CE	MA	PB	PE	PI	RN	SE	Total
Erosão (nº de ocorrências)	05	12	03	00	03	17	00	00	00	40

Fonte: Santos *et al.*, (2018), adaptado pelo autor (2020).

3.3.3 Fatores condicionantes no processo erosivo em ambiente tropical

Os mecanismos da erosão se modificam no tempo e no espaço, ocorrendo os processos erosivos quando as forças de remoção e transporte dos sedimentos suplantam as que tendem a resistir a retirada dos materiais (THORNES, 1980). Nesse sentido, o equilíbrio seria um estado momentâneo, no qual a pedogênese ou morfogênese ficam dominando por um certo período de tempo e num certo espaço, determinado pelos fatores condicionantes da paisagem. Em relação aos fatores que controlam a erosão do solo, Guerra e Guerra (2011) e Guerra (2009), cita os principais: os processos hidrológicos, erosividade da chuva, propriedades do solo, características das encostas e cobertura vegetal. Vieira (2008), acrescenta o papel do uso da terra, isto é, a intervenção antrópica como determinante no desencadeamento dos processos erosivos.

Valentin *et al.* (2005), destacam também alguns dos principais reguladores da erosão, principalmente das voçorocas, citando:

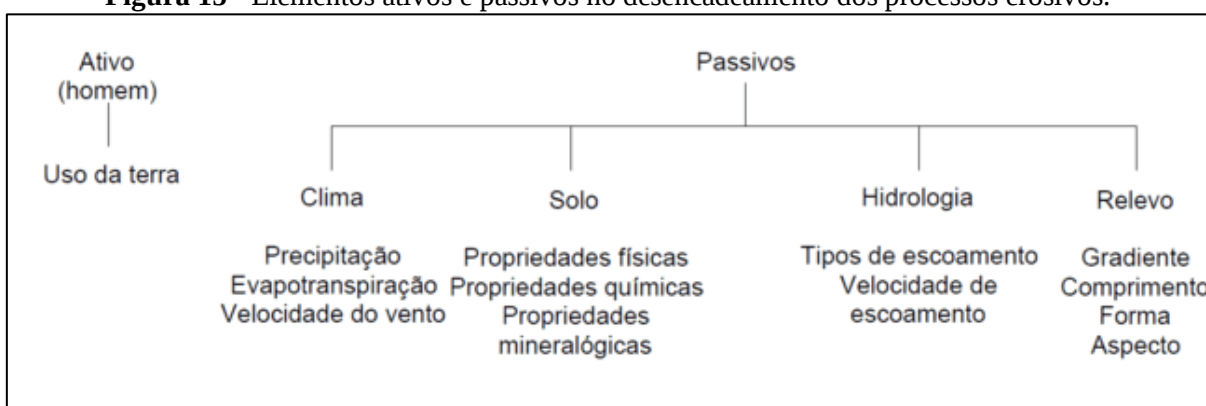
- a) Características topográficas (gradiente da encosta e crostas do solo, encostas e área crítica de drenagem);
- b) Solos e controles litológicos (solo, litologia, fatores geomorfológicos, crostas do solo, piping);
- c) Uso da terra (mudanças atuais relativas ao uso da terra, abertura de estradas e ampliação de lotes urbanos, uso da terra no passado e mudanças climáticas);
- d) Mudanças climáticas.

Verifica-se nestes controladores propostos pelo autor, as mudanças climáticas como um diferencial, mesmo este tendo uma ocorrência de longo tempo, podendo ser substituído ou acrescentado a variação climática por possuir uma escala temporal menor.

O IBGE (1989) e Silveira (2002), sugere uma classificação dos fatores que interferem no processo erosivo relacionados ao tempo de mudança, sendo estes definidos em mutáveis e imutáveis. Os fatores mutáveis têm um período curto para ocorrer mudanças, a exemplo: cobertura vegetal, uso do solo, manejo e práticas conservacionistas e estrutura fundiária. Os fatores imutáveis não seriam alterados num curto espaço de tempo, tal como o relevo, o solo e o clima. Essa categorização aborda a ação antrópica como sendo passiva, visto pelo conhecimento técnico e tecnológico atual é sabido da capacidade humana em alterar a paisagem numa escala de tempo curto, principalmente o relevo e o solo. Todavia, a interferência do clima poderia ocorrer num processo a médio e longo prazo com alterações no clima, principalmente na escala de detalhe do espaço.

Lal (1990), classifica as forças controladoras da erosão em ativas e passivas (FIGURA 15), esta última viria a ser o relevo, a hidrografia, o solo e o clima, enquanto a primeira seria o uso da terra. Bertoni e Lombardi Neto (2008), também categoriza as forças em ativas e passivas, todavia numa perspectiva diferente, sendo as formas ativas: a chuva, a declividade, o comprimento da encosta e a infiltração da água no solo. Já as passivas seria a densidade da vegetação e a resistência do solo à ação abrasiva da água. Logo, a pesquisa levou como primordiais os seguintes fatores condicionantes no processo erosivo: substrato rochoso, relevo, cobertura vegetal, erosividade das chuvas, erodibilidade solos e uso da terra.

Figura 15 - Elementos ativos e passivos no desencadeamento dos processos erosivos.



Fonte: Lal (1990), adaptado pelo autor (2020).

A relação do substrato rochoso a erosão está conexas aos tipos e distribuição das rochas no espaço. De acordo com Crepani *et al.* (2001), a erosão vai depender da resistência da rocha ao intemperismo, ou seja, vai depender dos minerais que a constituem, da natureza das ligações entre os átomos, dos diferentes elementos químicos constituintes e da natureza das forças as quais uniram as partículas, cristais ou grãos. Logo, o grau de coesão das rochas influencia na maior ou menor suscetibilidade aos processos erosivos numa área da paisagem, pois a depender dos demais fatores o substrato rochoso é determinante na erosão.

Os autores Infanti Jr. e Fornasari Filho (1998), Suguio (2003) e Magri (2013), deixam claro que as características litológicas das rochas correlacionadas a intensidade do intemperismo, a natureza da alteração e grau de fraturamento, condicionam a suscetibilidade do material aos processos erosivos. Estes ratificam a importância do substrato rochoso na erosão, destacando além das características apontadas por Crepani *et al.* (2001), no qual os processos de fraturamento, como zonas de fraqueza nas rochas, facilita o intemperismo e consequentemente a erosão. Silva, Schulz e Camargo (2003) e Magri (2013), afirmam que de acordo com a variação dos agentes participantes da constituição das rochas, pode existir

diferenças na resistência em relação ao processo erosivo mesmo sendo dentro de um grupo de rochas.

Nesse sentido, os autores Infanti Jr. e Fornasari Filho (1998), Crepani *et al.* (2001), Silva, Schulz e Camargo (2003), Suguio (2003) e Magri (2013), deixam evidente a necessidade em compreender o substrato rochoso como item relevante na determinação da susceptibilidade da paisagem aos processos da erosão. Infanti Jr. e Fornasari Filho (1998) e Magri (2013), afirmam na contribuição do relevo na intensidade dos processos erosivos, com ênfase a declividade e comprimento da encosta. Esses dois elementos interferem na maior velocidade do escoamento das águas e consequentemente na magnitude da erosão por inserir mais energia cinética no fluxo.

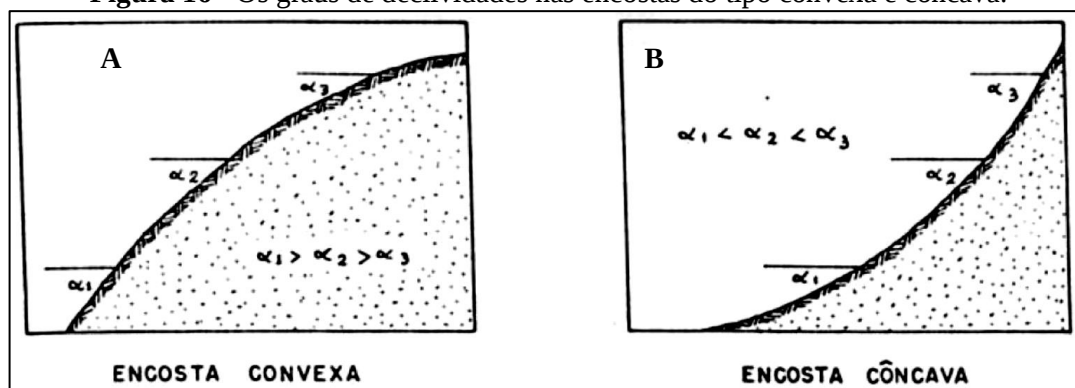
Strahler (1956) e Rodrigues (1982), contemplam três componentes do relevo condicionantes do processo erosivo, os quais seriam: declividade (grau do declive), geometria das encostas (côncava, convexa e retilínea) e extensão das encostas. Embora a erosão decorra de um conjunto de fatores combinados, a declividade seria fundamental no escoamento superficial para fins de avaliação da suscetibilidade a denudação da superfície terrestre (PEJON, 1992). Entretanto, Feres (2002) assevera que a declividade elevada não seria condição imprescindível para o desenvolvimento dos processos erosivos, todavia é contributiva ao escoamento superficial para evolução da erosão.

Nessa perspectiva, os autores Infanti Jr. e Fornasari Filho (1998) e Magri (2013), deixam evidente a possibilidade de existir alta intensidade erosiva em encostas com baixa declividade e comprimento de rampa grande, desde que sujeitas à maiores fluxos do escoamento superficial. Rodrigues (1982), analisa a declividade de uma encosta através dos graus da mesma, isto é, toma pelo menos três pontos da declividade perfazendo um perfil, sendo estes na área baixa, média e alta da encosta (FIGURA 16). Logo, segundo o mesmo se tem perfis longitudinais convexos e côncavos, onde o perfil convexo tem declividade alta na parte baixa da encosta com começo da erosão e nos demais pontos a declividade vai diminuindo (FIGURA 16 A), consequentemente decresce a susceptibilidade aos processos erosivos. No perfil longitudinal côncavo da encosta ocorre o contrário (FIGURA 16 B).

Bigarella e Mazuchowski (1985) deixam evidente a menor taxa de infiltração nas encostas com maior grau de declividade e uma menor quantidade obstáculos, devido o escoamento superficial ocorrer com maior velocidade. Poesen (1984) diz que a declividade das encostas ocasiona uma diminuição da formação de crostas e nas maiores declividades aumenta a porosidade dos solos. Em oposição a essa diminuição da infiltração e formação de crostas, a

maior velocidade do fluxo pode intensificar os processos erosivos, levando a atuação da morfogênese superar a pedogênese nesse contexto.

Figura 16 - Os graus de declividades nas encostas do tipo convexa e côncava.



Fonte: Rodrigues (1982), adaptado pelo autor (2020).

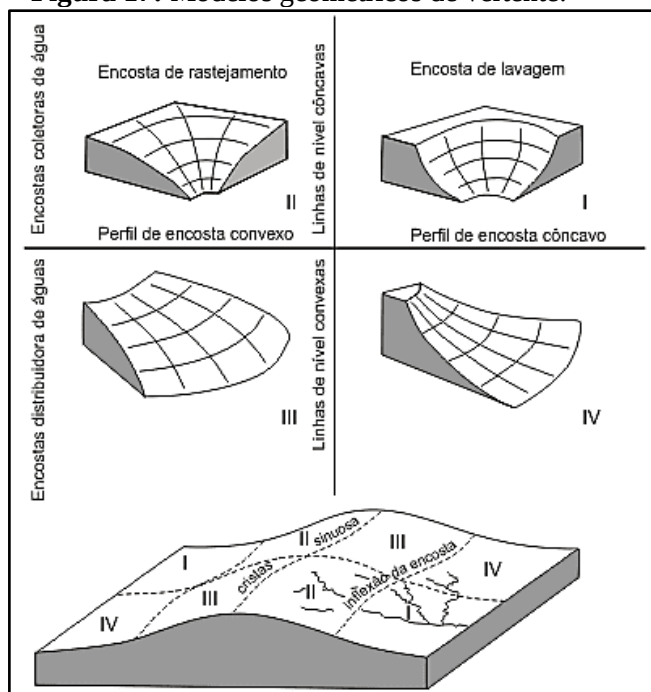
Isso é ratificado pela FAO (1965), que admite que a maior declividade leva a velocidades maiores do escoamento superficial concentrado e, por consequência, o arreste intenso de partículas do solo. Entretanto, Morgan (2005) discorda desta afirmação, pois, para ele, as encostas muito íngremes não teriam muito material para remoção e transporte, diminuindo assim a erosão. A declividade é um fator pertinente ao processo erosivo, todavia outros fatores em um caso específico podem ser mais determinantes aos processos erosivos, a exemplo do formato e tamanho da encosta.

Em relação a geometria da encosta Lal (1990) e Lima (2003), salientam que a forma da encosta pode contribuir com a erosão do solo através da influência na quantidade e velocidade do escoamento superficial, destacando as encostas convexas detentoras das maiores velocidades do fluxo de escoamento. Outros autores ratificam essa tese dos processos erosivos serem mais proeminentes nas encostas convexas, a exemplo de Young e Mutchler (1969); Lal (1976 e 1990); Xujiongxin (1996); Silveira (2002); Lima (2003); Morgan (2005); Vieira (2008); Magri (2013) e Guerra (2009). No qual, segundo Lal (1990), a erosão pode ser cinco vezes maior em encostas convexas se comparadas a retilíneas.

Lal (1976 e 1990) e Lima (2003), afirmam que o formato da encosta pode ser mais importante comparado a extensão da mesma, atribuindo uma ordem decrescente da perda de solo e água, a qual seria: encosta convexa > encosta retilínea > encosta complexa > encosta côncava. Estes autores acrescentam a tese em que os atributos do comprimento e da declividade da encosta nos processos erosivos são fortemente determinados pela morfologia da encosta. Existem outras classificações para a forma das encostas, sendo as mais utilizadas Troeh (1965)

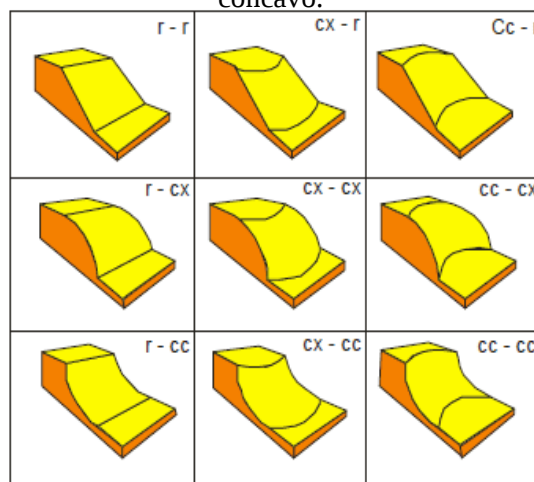
e Silveira (2002), as quais associam a curvatura do perfil longitudinal e as curvas de nível (FIGURA 17), além da classificação de Ruhe (1975), constituída nos elementos longitudinais e laterais, o comprimento e largura formando uma análise tridimensional (FIGURA 18).

Figura 17: Modelos geométricos de vertente.



Fonte: Troeh (1965), modificado por Bloom (1970), adaptado pelo autor (2020).

Figura 18: Principais tipos de encostas, sendo: r = retilínea, cx = convexo e cc = côncavo.



Fonte: Ruhe (1975), modificado por Silveira (2008), adaptado pelo autor (2020).

Portanto, a forma da encosta (convexa, retilínea e côncava) é determinante no escoamento superficial e nos processos erosivos (laminares e lineares). De acordo com Rodrigues (1982), as voçorocas têm sua ocorrência, sobretudo, em encostas convexas coletoras e posteriormente em encostas convexas dispersoras, assim, as côncavas (dispersoras e coletoras) tem menos predisposição a erosão rápida. Entretanto, a declividade e o tamanho da encosta são pertinentes ao desenvolvimento desses processos hidrológicos. Em relação ao comprimento da encosta Lima (2003) afirma que o aumento da extensão da encosta leva a uma velocidade maior ocasionando processos erosivos mais intensos.

Cunha *et al.* (2012), Nishivama, (1995), Silveira (2002) e Vieira (2008), ratificam a ideia da influência do comprimento de uma encosta levar a um maior volume do escoamento superficial, portanto um aumento na intensidade da erosão, primordialmente com erosão linear. De acordo com Guerra (2009), o parâmetro do tamanho da encosta deve ser estudado em união com outros elementos, tais como: propriedades dos solos, declividade, geometria da encosta. A análise do processo erosivo deve ser diagnosticada levando em consideração o sistema como

um todo, evidentemente deve se investigar cada elemento da paisagem relacionado aos processos erosivos, assim como as interações entre os elementos considerados.

Outro elemento natural relevante ao considerar processos erosivos é a cobertura vegetal, de suma importância para a proteção da superfície do solo a ação erosiva da precipitação, a qual inicia o processo erosivo através do salpicamento das gotas da chuva. Diversos autores exibem a vegetação como protetora primordial do solo na erosão hídrica, tais como: Greenway (1987), Infanti Jr e Fornasari Filho (1998), Díaz (2001), Lal (1990), Lima (2003), Guerra *et al.* (2004), Morgan (2005), Camapum de Carvalho *et al.* (2006), Bertoni e Lombardi Neto (2008), Vieira (2008), Pruski (2009), Oliveira (2011), Fernandes (2011) e Magri (2013).

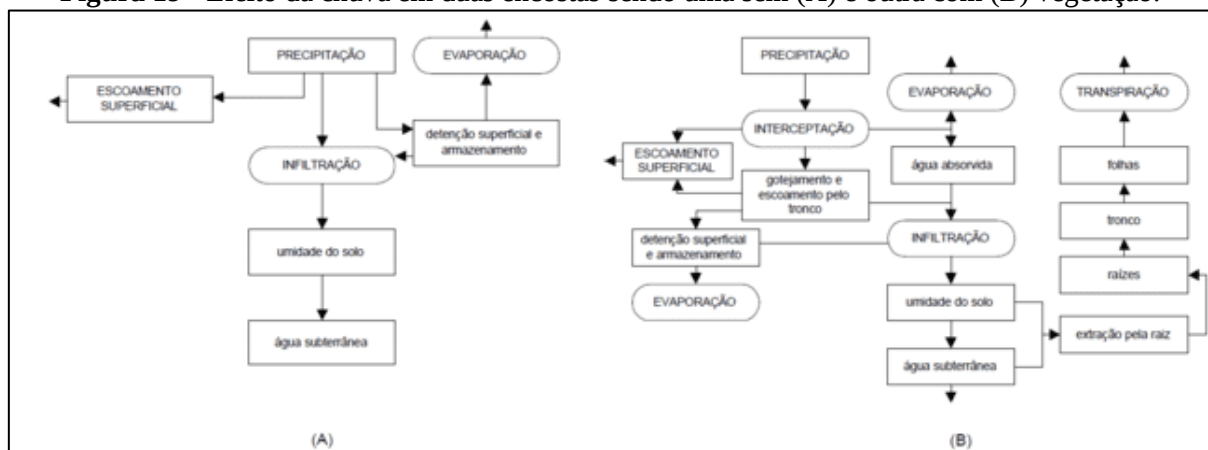
Segundo Infanti Jr e Fornasari Filho (1998) e Bertoni e Lombardi Neto (2008), a vegetação influencia na proteção do solo das seguintes maneiras: defesa direta do impacto da chuva; distribuição da água entre evaporação, escoamento e infiltração; aumento da infiltração da água pelas raízes; melhoramento da estrutura do solo pela adição de matéria orgânica; redução da velocidade de escoamento superficial.

Nesse sentido, quanto mais conservada a vegetação estiver menos susceptibilidade a ocorrência da erosão. Guerra *et al.* (2004) deixam evidente a função protetora da vegetação na erosão dos solos e que sua remoção parcial ou total levaria a aceleração dos processos erosivos de forma mais rápida e intensa. Ratificando, a retirada da cobertura vegetal ou a sua substituição por outras espécies exógenas ou cultivos pode alterar a defesa natural do solo, mesmo este estando vegetado.

Os autores, Infanti Jr e Fornasari Filho (1998) e Bertoni e Lombardi Neto (2008), afirmam que a principal causa dos processos erosivos é o desmatamento. Essa prática decrépita altera todo o sistema presente na paisagem, perpassando entre interceptação, infiltração, evaporação e escoamento. Nesse contexto, Greenway (1987) e Lima (2003), exibem um esquema comparando a ação da precipitação em duas encostas, sendo uma sem e outra com cobertura vegetal (FIGURA 19).

Observa-se na figura 19 (B) que na encosta vegetada o escoamento superficial é retardado pela cobertura vegetal, a qual dissipa a energia cinética atenuando os efeitos erosivos (LIMA, 2003). Em contrapartida, a encosta sem cobertura vegetal (FIGURA 19A), a ação da precipitação é direta sobre o solo, levando ao desenvolvimento rápido e intenso da erosão, indo desde a desagregação dos grãos até o transporte dos sedimentos (LIMA, 2003). A ausência de vegetação faz com que a água entre no sistema e saia mais rápida, principalmente pelo escoamento superficial e evaporação, visto a infiltração ficar comprometida rapidamente pela rápida saturação da capacidade de campo do terreno.

Figura 19 - Efeito da chuva em duas encostas sendo uma sem (A) e outra com (B) vegetação.



Fonte: Greenway (1987) e Lima (2003), adaptado pelo autor (2020).

A perda de solo nos diversos tipos de culturas pela erosão hídrica é inegável. Silva *et al.* (1986), realizaram pesquisas sobre as coberturas vegetais na proteção dos solos na região Nordeste do Brasil, e destacaram a pastagem como sendo um dos usos da terra de maior proteção, em seguida vira a cana-de-açúcar, o milho, o feijão e o algodão. Lima (2003), demonstrou que a forma de plantio, o manejo, a rotação de culturas interferem no maior ou menor amparo do solo ao desenvolvimento da erosão. De acordo com este autor, a rotação de culturas tem caráter positivo a proteção do solo por acrescentar mais matéria orgânica, melhorar a permeabilidade e manter a cobertura vegetal.

A vegetação pode ser utilizada para conter os processos erosivos, todavia deve haver conhecimento para aplicar o melhor método e espécie de plantio para a elucidação do problema, visto o emprego da cobertura da vegetação errada pode ocasionar outros entraves, a exemplo plantas de grande porte e pouca estabilidade nas encostas erodidas. Coelho e Pereira (2006), ratifica essa ideia mostrando a importância da vegetação correta para haver a melhor transferência da água para a atmosfera e subsolo. Estes autores afirmam que a vegetação pode ter influência positiva e negativa na estabilidade das encostas (QUADRO 2), sendo seus efeitos relacionados as raízes, caules e folhas.

Outro fator condicionante no processo erosivo é a erosividade da chuva. Fernandes (2011) deixa evidente que o clima é um fator importante por ser controlador do desenvolvimento dos processos erosivos. De acordo com Bertoni e Lombardi Neto (2008), o volume e a velocidade do escoamento superficial vão depender da duração, frequência e intensidade da chuva, sendo o elemento pluviométrico o natural desencadeador do processo erosivo hídrico. Guerra e Mendonça (2004) ratificam essa ideia, acrescentando à erosividade as peculiaridades das gotas de chuva e a energia cinética da chuva.

Quadro 2 - Os principais efeitos positivos e negativos das plantas na estabilidade das encostas.

Efeitos	Raízes	Caules / Folhas
Positivos	– Agregam partículas de solo, aumentando a coesão. – Aumentam a resistência do solo. – Aumentam a taxa de infiltração de água no solo. – Aumentam a porosidade. – Funcionam como canais de sucção.	– Reduzem a erosão pelo Efeito <i>Splash</i>. – Reduzem a erosão laminar. – Aumentam a rugosidade. – Plantas rasteiras recobrem eficientemente o solo.
Negativos	– Podem danificar estruturas cimentadas. – Raízes secas podem concentrar fluxo de água pluvial. – Raízes finas e superficiais impedem a infiltração e desagregam partículas de solo (bambu).	– Árvores em taludes o peso aumenta as forças atuantes provocando deslizamentos. – Plantas altas, de folhas largas, podem causar erosão através do efeito salpicamento. – Vento em árvores produz forças sobre as massas de solo, ativando deslizamentos.

Fonte: Coelho e Pereira (2006), adaptado pelo autor (2020).

Segundo Lal (1990), Selby (1993), Guerra e Mendonça (2004), Bertoni e Lombardi Neto (2008), Santoro (2009), Fernandes (2011) e Magri (2013), a chuva seria o elemento mais importante na erosividade climática, em relação ao processo erosivo hídrico. Fendrich *et al.* (1997) evidência que paisagens com climas úmidos, tropical quente e temperado, com inverno chuvoso e verão seco, são mais favoráveis a serem afetados pelos processos erosivos. Assim, a área desta pesquisa está mais susceptível a erosão por se inserir quase por completo nesse contexto climático.

Fendrich *et al.* (1997), Guerra e Mendonça (2004), Bertoni e Lombardi Neto (2008), demonstram um maior poder erosivo da precipitação constituída de chuvas de maior intensidade e com alta frequência, visto deterem uma grande energia cinética contida no momento da sua queda. Bertoni e Lombardi Neto (2008) esclarecem que uma precipitação de 50 milímetros (mm) num período de 30 minutos poderia ter um peso aproximadamente de 560 toneladas em 1 hectare, tendo cerca de 3 mm o diâmetro das gotas das quais cairiam com uma velocidade por volta de 8 m/s. Estes números demonstram a forte ação da precipitação no desenvolvimento da erosão numa paisagem com um clima favorável a morfogênese ou pedogênese.

Fernandes (2011) e Guerra (2015) conceituam erosividade da chuva como sendo o potencial de desagregação, transporte e deposição das partículas pela ação hídrica. Ressaltado por estes que a precipitação, por se tratar de fenômeno da natureza, a humanidade não tem controle sobre o mesmo. Frisa-se que alguns locais na superfície do planeta podem ter maior susceptibilidade as chuvas a depender da sua localização geográfica, na qual está relacionada a outros fatores do clima como altitude e latitude.

O estudo da erosividade da chuva tem várias metodologias, destaca-se a proposta por Wischmeier (1959), por ser consagrada internacionalmente e deter bons resultados. A mesma se baseia no histórico pluviográficos para determinar a energia cinética e a intensidade máxima de precipitação em 30 minutos. A partir desse método é possível definir as linhas da erosão, que Wischmeier e Smith (1978) delimitaram os Estados Unidos, denominadas de isoerodentes. Essa metodologia foi empregada no Brasil com sucesso em várias regiões brasileiras através de trabalhos desenvolvidos pelos pesquisadores: Lago (1984), Lombardi Neto (1987), Bertol (1993 e 1994), Lago (2000), Santos (2003), Moreira (2006), Cogo, Eltz e Cassol (2006) e Santos (2008).

Em relação ao estado de Pernambuco, essa metodologia foi aplicada com sucesso nas pesquisas de Cantalice (1991, 1993 e 2009), Santos e Montenegro (2012) e Pinheiro *et al.* (2018). Segundo estes autores a erosividade média anual das mesorregiões de Pernambuco está diretamente relacionada a sua precipitação total, diminuindo sentido oeste do estado (TABELA 8). Logo, o maior índice médio de erosividade se encontra na região próxima ao oceano Atlântico, contemplando as mesorregiões da Mata e Metropolitana.

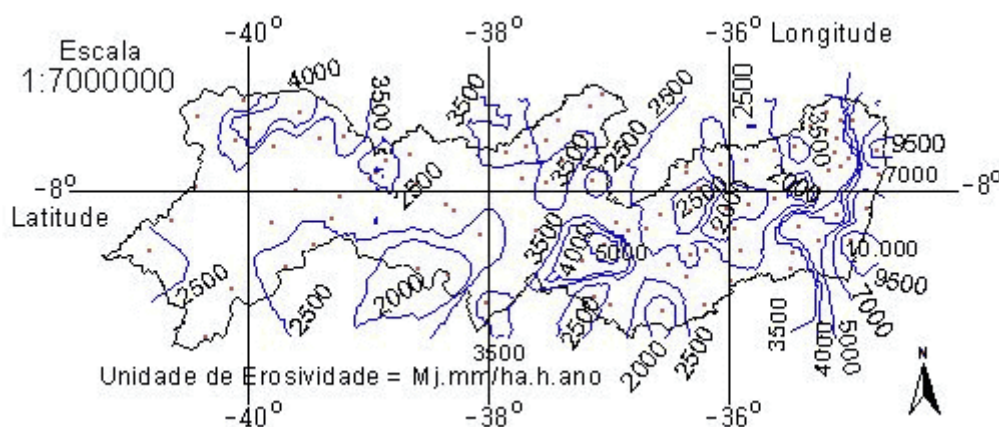
Tabela 8 - Erosividade nas diferentes regiões do estado de Pernambuco, Brasil.

Mesorregiões	Erosividade
Metropolitana do Recife	9,704
Zona da Mata	8,695
Agreste	8,640
Sertão Pernambucano.	6,067
Sertão do São Francisco	4,902

Fonte: Pinheiro *et al.* (2018), adaptado pelo autor (202

A tabela 8, evidência que após a mesorregião Metropolitana do Recife, a Zona da Mata seria a de maior erosividade, indicando uma maior propensão aos processos erosivos em relação a Pernambuco. Cantalice (2009) concluiu que os valores de erosividade descobertos na sua pesquisa para o estado de Pernambuco variaram de 1.500 a 10.000 ($\text{Mj mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$), em que a Zona da Mata Norte, Agreste e Sertão (FIGURA 20) exibiram baixo potencial erosivo, entre 1.500 a 3.500 ($\text{Mj mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$), enquanto no Litoral apresentou uma erosividade de moderada a forte, com valores entre 5.500 a 10.000 ($\text{Mj mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$). Essas pesquisas ratificam a grande susceptibilidade da bacia do Rio Aripibú a erosão, a mesma está localizada na mesorregião da Zona da Mata e ter linha erosiva entre 7.000 a 10.000 ($\text{Mj mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$).

Figura 20 - Mapa das linhas isoerosivas do estado de Pernambuco.



Fonte: Cantalice *et al.* (2000), adaptado pelo autor (2020).

A erodibilidade dos solos é dos fatores condicionantes primordiais, visto a depender do solo a susceptibilidade a erosão vai variar podendo este condicionante ser mais importante referente aos demais em situações específicas. Magri (2013), afirma que os solos terão uma resposta distinta para situações idênticas, a exemplo, da energia das gotas de chuva ou ainda ao cisalhamento do escoamento superficial. Lal (1990), enfatiza dizendo que os solos exibem diferentes graus de propensão a erosão em relação as ações desencadeadas pelos agentes erosivos. Logo, as singularidades de cada solo podem ser decisivas para o processo erosivo ocorrer, onde naturalmente a erosão encontra-se inerente aos solos.

A erodibilidade do solo seria a susceptibilidade deste em ser erodido, segundo os autores: Lal (1990), Díaz (2001), Bertoni e Lombardi Neto (2008), Vieira (2008), Fernandes (2011) e Magri (2013). Em relação aos elementos influenciadores na erodibilidade do solo existem várias categorizações na literatura tendo cada uma a sua finalidade, como por exemplo a proposta de Fendrich *et al.* (1997) e Infanti Jr. e Fornasari Filho (1998). A apresentada por Lal (1990), organiza bem esses fatores determinantes dividindo em propriedades dos fatores, os fatores propriamente ditos e as características de cada fator (QUADRO 3). Lima (2003), aborda que em relação aos fatores exibidos no quadro 3, os de maior relevância a resistência do solo aos processos erosivos são: textura, estrutura (estabilidade dos agregados), infiltração, permeabilidade e matéria orgânica.

Quadro 3 - Fatores determinantes na erodibilidade dos solos.

Propriedades	Fatores	Características
Mecânicas	Textura	- Influi no destacamento e carreamento de partículas do solo; - Determina a facilidade com que o solo é dispersado; - Determina a força limite necessária para o destacamento.
	Estrutura	- Formação de agregados que resistem à dispersão, aos efeitos abrasivos da água de escoamento e ao destacamento; - Grau de agregação e distribuição de agregados estáveis; - Tamanho dos agregados.
	Tamanho dos torrões e cultivo do solo	- Superfície rugosa e cheia de torrões possuem elevada capacidade de retenção; - Resistência a desagregação pela chuva e erosão pelo vento.
	Formação de crosta	- Responsável pela alta taxa de escoamento superficial; - Desenvolve-se em solos com baixa porcentagem de matéria orgânica.
Resistência	Resistência ao cisalhamento	- Importante no destacamento de partículas de solo (impacto e escoamento superficial); - Rolamento e deslizamento de grãos.
Hidrológicas	Retenção de água	- O estado de energia da água do solo ou a pressão neutra influencia a resistência ao cisalhamento do solo; - Resistência do solo ao arrastamento pela água é influenciada pela umidade inicial; - Solos secos são mais suscetíveis à erosão pelo vento e pela água do que solos úmidos; - A umidade fornece coesão entre as partículas.
	Transmissão de água no solo-infiltração	- Taxa de infiltração determina o maior ou menor volume de escoamento superficial.
	Permeabilidade	- Solos com permeabilidade extremamente baixa a moderada gera mais escoamento superficial.
Reológicas	Sistema solo água	- A umidade do solo influi na suscetibilidade à erosão por afetar a coesão, a resistência ao cisalhamento, consistência e plasticidade.
Químicas e Mineralógicas	Matéria orgânica	- Influencia a distribuição granulométrica, propriedades de retenção e transmissão de água; - Fortalece as ligações que estabilizam as unidades estruturais e mantém um balanço favorável entre retenção e transmissão nos poros; - Diminui o efeito compactação; - Concentração de matéria orgânica nos microagregados aumenta a sua resistência à desagregação e à dispersão; - Elevada concentração de matéria orgânica em alguns solos é responsável por características hidrofóbicas.
	Argilominerais	- A estrutura do solo e a sua resistência são influenciadas pela quantidade e natureza dos argilominerais; - A fração fina do solo interage com a matéria orgânica para formar agregados estáveis que resistem ao impacto das gotas de chuva.
Características do perfil	Diretos e indiretos	- Influencia a erosão direta e indiretamente; - Influência sobre o escoamento subsuperficial de água em decorrência de mudanças nas propriedades hidrológicas de diferentes horizontes; - Influência sobre o crescimento vegetal.

Fonte: Lal (1990), adaptado pelo autor (2020).

O último fator condicionante no processo erosivo considerado é o uso ocupação da terra. O gênero humano é considerado um elemento ativo no desenvolvimento dos processos erosivos (LAL, 1990), pois através dos seus recursos técnicos e tecnológicos cria, intensifica e restabelece a erosão na paisagem em uma escala de tempo curto. Como os usos da terra são

distintos nas áreas rurais e urbanas as ações desencadeadoras são diferentes, desenvolvendo os processos erosivos de várias maneiras. Ou seja, uma voçoroca será denominada nos dois espaços, porém com sistemas evoluindo de formas diferentes.

Segundo Galetti (1985), Fendrich *et al.* (1997), Panachuki *et al.* (2006), Nunes e Cassol (2008) e Fernandes (2011), em espaços rurais os solos encontram-se mais suscetíveis a erosão hídrica quando: extração da cobertura vegetal e a agricultura feita de forma errada; compactação pelo pisoteio do gado e uso de máquinas e implementos agrícolas; aberturas de valas perpendiculares às curvas de nível; abertura de estradas sem infraestrutura. Os ambientes rurais usam o solo principalmente para fins agropecuários, estando a erosão relacionada a forma inadequada desse recurso.

Nas áreas urbanas o processo erosivo é desenvolvido pela influência humana, relacionada principalmente às obras de engenharia, por exemplo: a exposição de taludes de corte em rodovias e barragens não protegidos; a exploração de áreas para a retirada de materiais de empréstimo; a execução de loteamentos sem os devidos cuidados com a drenagem; e obras de retificação de rios e canais, (GALETI, 1985; FENDRICH *et al.*, 1997; PANACHUKI *et al.*, 2006; NUNES e CASSOL, 2008; FERNANDES, 2011). O espaço urbano impermeabiliza muitos espaços diminuindo a infiltração e intensificando o escoamento, dessa maneira pode potencializar a erosão em locais desprovidos de proteção.

Por conseguinte, os fatores desencadeadores principais no processo erosivo (substrato rochoso, relevo, cobertura vegetal, erosividade climática, erodibilidade solos e uso da terra), tem sua atuação individual no desenvolvimento da erosão. Todavia, a realidade não se manifesta em partes e sim de maneira sistêmica, no qual todos os fatores condicionantes atuam ao mesmo tempo para formar a dinâmica do ambiente. Frisando, há momento em que um condicionante se sobrepõe, ou seja, tem um peso maior naquele momento na constituição e evolução da erosão.

4 MATERIAIS E PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Neste capítulo foi abordado aspectos relacionados aos materiais e metodologias para a constituição da tese. Tal tópico visa responder aos questionamentos de como foi o desenvolvimento do estudo realizado, evidenciando as particularidades dos procedimentos utilizados para alcançar os objetivos propostos. Essa seção é imprescindível ao leitor para a compreensão dos procedimentos que levaram a alcançar os resultados do estudo, sendo estes agrupados em: bases cartográficas, índices morfométricos, trabalhos técnicos de campo, análises laboratoriais e estruturação da suscetibilidade a erosão.

4.1 BASES CARTOGRÁFICAS

A pesquisa usou as imagens do satélite *Advanced Land Observing Satellite* - ALOS, especificamente o sensor PALSAR com resolução espacial de 12,5 metros (ALOS, 2018). O processamento dos dados para elaboração dos mapas foi realizado pelo *software* ArcGIS 10.3. A projeção foi a geográfica e o sistema de coordenadas Universal Transversal Mercator (UTM), zona 25 sul e a referência SIRGAS 2000. A bacia hidrográfica e a drenagem foram delimitadas pelo Modelo Digital de Elevação (MDE), proveniente da ALOS servindo de base territorial para os demais materiais cartográficos.

A geologia da bacia hidrográfica do Aripibú foi de acordo com os dados disponibilizados pela Companhia de Pesquisas em Recursos Minerais – CPRM do Mapa de Recursos Minerais do Estado de Pernambuco na escala 1:500.000 (CPRM, 2001). O mapeamento geomorfológico foi gerado através da metodologia da União Geográfica Internacional (UGI), descrita por Demek (1972) na escala de 1:100.000, e as nomenclaturas baseadas na proposta de Girão *et al.* (2013). Esse mapeamento foi confeccionado com base na morfologia, em que foi individualizado as principais formas da bacia hidrográfica em foco, sendo elas: crista residual, colinas conservadas, colinas dissecadas e planícies fluviais.

No mapeamento pedológico usou-se a representação do Zoneamento Agroecológico de Pernambuco – ZAPE com escala de 1:100.000 (SILVA *et al.*, 2001). Sobre os tipos de solo utilizou-se a classificação adotada pelo Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos (EMBRAPA, 2018), e as convenções de cores do Manual Técnico de Pedologia (IBGE, 2015).

O mapeamento de cobertura e uso terra, foi baseado no Manual Técnico de Uso da terra (IBGE, 2013). Usou-se a escala de 1:100.000, visto buscou-se representar a classificação com adaptações do autor do Nível I, a qual determina as classes e do Nível II, que aborda as subclasses. Sendo encontrado na BHRA no primeiro nível Áreas Antrópicas Não Agrícolas,

Áreas Antrópicas Agrícolas e Áreas de Vegetação Natural. No segundo temos a área urbana, culturas temporárias, culturas temporárias (cana-de-açúcar), pastagens e área florestal. Houve adaptações das nomenclaturas para a cobertura e uso da terra da BHRA em relação a classificação do IBGE. Utilizou-se as imagens de satélites do *Google Earth Pro* para identificação e mapeamento da cobertura e uso terra, além de atividades de campo para validação.

A confecção dos dois gráficos da média mensal da precipitação pluviométrica dos anos de 1993 até 2018 do município de Ribeirão foi realizado a partir dos dados do pluviômetro localizado em Ribeirão, pertencentes a APAC (2019). O gráfico da precipitação acumulada anual dos anos de 1993 até 2018 do município de Ribeirão também foram construídos com os mesmos dados do pluviômetro de Ribeirão, provenientes APAC (2019).

A elaboração do mapa de unidades de paisagem foi possível através da união dos elementos: geologia, relevo, solos, cobertura e uso da terra. Através de uma abordagem sistêmica houve a delimitação das unidades de paisagem, onde procurou fazer a junção dos elementos naturais e antrópicos, os quais possuem uma relação integrada e dinâmica. A metodologia se baseou nos trabalhos de Vasconcelos e Souza, (2016) e Cavalcanti (2016), onde através da análise das sobreposições dos elementos escolhidos da BHRA e o geoprocessamento destes foi realizado a diferenciação dos espaços e a confecção das unidades.

4.2 ÍNDICES MORFOMÉTRICOS

Os produtos obtidos pelos índices morfométricos elaborados pelo software ArcGIS 10.3 ajudaram no entendimento da morfodinâmica da paisagem. Assim, seu uso é pertinente para uma melhor compreensão dos processos desenvolvidos na área de estudo. Portanto, utilizou-se da organização proposta por Tonello (2005), na qual as características morfométricas são divididas em: geométricas, relevo e rede de drenagem. Estes índices foram necessários para a execução dos objetivos da pesquisa e, embora existam outros índices morfométricos, não foram utilizados no desenvolvimento deste estudo.

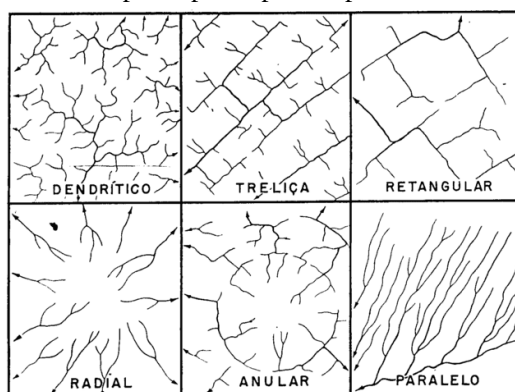
4.2.1 Características geométricas

A morfometria neste campo analisa a bacia hidrográfica através de sua geometria, se utilizando dos seguintes índices: área, coeficiente de compacidade, direção de fluxo, fator forma, padrão de drenagem e perímetro. A área da bacia hidrográfica é calculada com base na drenagem da mesma, projetada em um plano horizontal (CHRISTOFOLETTI, 1980), utilizando a ferramenta *Calculate Geometry* do ArcGIS.

O perímetro da bacia de drenagem é formado pelo comprimento da linha imaginária ao longo do divisor da mesma Tonello (2005), empregando a semelhante ferramenta do cálculo de área. O padrão de drenagem foi definido segundo Christofoletti (1980), sendo a organização espacial dos cursos fluviais, podendo ser: dendrítico, treliça, retangular, paralela, radial e anelar (FIGURA 21).

O Coeficiente de Compacidade (KC) é um índice de relação do perímetro da bacia hidrográfica e a circunferência de um círculo de área igual (TONELLO, 2005). De acordo com esse autor, através deste índice, quanto mais idêntica a um círculo for uma bacia hidrográfica, maior será a sua competência de desenvolver grandes cheias.

Figura 21 - Os principais tipos de padrão de drenagem.



Fonte: Christofoletti (1980), adaptado pelo autor (2020).

Logo, quanto mais próximo do valor $K=1$, for esse coeficiente, mais a bacia se assemelha a um círculo e terá alta capacidade a enchentes. O Kc foi obtido pela equação:

Kc = coeficiente de compacidade

P = perímetro da bacia (km)

A = área de drenagem da bacia (km²).

$$K_c = 0,28 \cdot \frac{P}{\sqrt{A}}$$

O índice morfométrico e a direção de fluxo mostram os escoamentos dispostos em vários sentidos. Esse índice foi obtido através da rede de drenagem da bacia hidrográfica, através do ArcGIS na função *Spatial Analyst, Hydrology, flow Direction*. O índice

morfométrico fator forma (F) seria a relação do formato da bacia hidrográfica a de um retângulo, obedecendo à razão entre a largura média e o comprimento axial da bacia (TONELLO, 2005). Este é constituído pela equação:

F = fator de forma

A = área de drenagem da bacia (km²)

L = comprimento do eixo da bacia (km).

$$F = \frac{A}{L^2}$$

4.2.2 Características do relevo

Os índices morfométricos relacionados ao relevo desenvolvidos na pesquisa foram: altitude, declividade, índice de Chi e volume mínimo erodido. Os mesmos foram essenciais para compreender melhor a morfologia e dinâmica da paisagem da bacia hidrográfica do Aripibú. O índice da altitude foi obtido através da hipsometria da bacia hidrográfica. Esse dado de elevação permitiu várias análises, inclusive saber quais regiões são mais elevadas e baixas, além de iniciar a inferir as categorias de relevo.

A declividade da bacia hidrográfica foi realizada por meio do MDE, imagem da ALOS e a ferramenta *Arctoolbox*, *Slope*. Em seguida se utilizou das classes de declividade do Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT, 2002), as quais se baseiam em graus, indo de 0 ° até mais que 27 ° (TABELA 9).

Tabela 9 - Classes de declividade em graus.

Declividade	Classificação
00 ° - 03 °	Plana
03 ° - 07 °	Muito Fraca
07 ° - 11 °	Fraca
11 ° - 17 °	Média
17 ° - 27 °	Forte
> 27 °	Muito Forte

Fonte: IPT, 2002, adaptado pelo autor (2020).

O Índice Volume Mínimo Erodido é calculado com a diferença entre a superfície teórica antes da erosão e o modelo de elevação digital (GAIDZIK; HERRERA, 2017). Ou seja, o resultado representa as diferenças de elevação entre toda a superfície teórica da bacia hidrográfica e a topografia atual. Este permite discernir as regiões com distintos graus de erosão em coluna de rochas erodidas (GIACONIA *et al.*, 2002). A metodologia deste índice foi baseada nos trabalhos de Brocklehurst e Whipple (2002), Giaconia *et al.* (2012) e Gaidzik e Herrera (2017), baseada na formula: $V_{ME} = S_{PET} / S_A$. Onde, volume mínimo erodido (V_{ME}) seria a relação da superfície pré-erosão teórica (S_{PET}) de uma bacia hidrográfica e a superfície atual (S_A) da bacia.

O Índice χ afere o grau de estabilidade dos divisores de drenagem entre as bacias hidrográficas, analisando os valores de elevação onde se encontram os canais de cabeceira (WILLETT *et al.*, 2014). Os valores entre os lados do divisor indicam sua estabilidade ou migração no sentido das regiões onde o índice de χ é mais elevado, caso haja equilíbrio teremos um divisor estacionário (WILLETT *et al.*, 2014; FORTE e WHIPPLE, 2018). O método usado foi constituído na extensão DvideTools implementada no *software* MATLAB (FORTE; WHIPPLE, 2018).

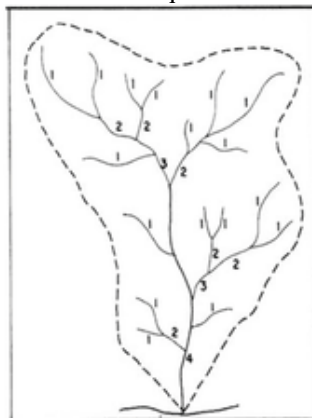
4.2.3 Características da rede de drenagem

Os atributos advindos da malha fluvial são imprescindíveis para a compressão da dinâmica da paisagem da bacia hidrográfica do Aripibú. Assim, foram utilizados seis indicadores morfométricos relacionados a drenagem, sendo eles: comprimento do canal principal e demais canais, densidade de drenagem, índice de sinuosidade do rio principal, ordem dos canais, direção dos canais de 1.^a e 2.^a ordem e perfil longitudinal.

A drenagem da bacia foi gerada a partir do MDE e a ferramenta *ArcHydro* do ArcGIS, utilizando os processos: *Fill Sinks*, *Flow Direction*, *Flow Accumulation*, *Stream Definition*, *Stream Segmentation* e *stream to feature*. A delimitação do comprimento do rio principal e demais canais foi realizada pela ferramenta *Calculate Geometry* e o somatório total dos canais foi por *Statistics*.

A hierarquia dos canais foi constituída pela metodologia de Strahler (1952), no qual os rios de primeira ordem são os menores e não recebem afluentes, já os canais de segunda ordem advêm da junção de dois canais de primeira ordem, e assim sucessivamente (FIGURA 22).

Figura 22 - Esquema da hierarquia fluvial de Strahler (1952).



Fonte: Christofolletti, 1980, adaptado pelo autor (2020).

O método foi obtido por meio da ferramenta *Stream Order* do ArcGIS. A densidade de drenagem é um índice onde é possível verificar a capacidade do escoamento da bacia

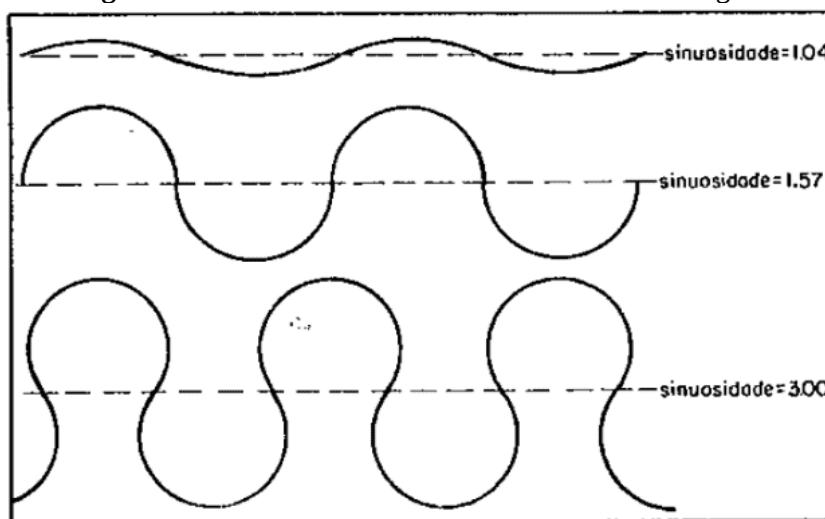
hidrográfica, o mesmo é realizado através do comprimento total dos canais com o território total da bacia de drenagem (CHISTOFOLETTI, 1980; STEVAUX, 2017). A metodologia empregada foi a de Horton (1945) constituída por uma equação, onde: Dd é a densidade da drenagem, Lt é o comprimento total de rios e A é a área da bacia.

$$Dd = \frac{Lt}{A}$$

O índice de sinuosidade (Is) é definido pela relação entre o comprimento do canal e a distância do eixo do vale (CHISTOFOLETTI, 1980). O desenvolvimento deste é realizado pela metodologia proposta por Schumm (1963) constituído pela equação abaixo, no qual Is é o índice de sinuosidade, L é o comprimento do canal principal e Dv é a distância vetorial entre os pontos extremos do canal principal. A categorização considera: canais sinuosos com valores acima de 1,5 e inferior a esse valor seria os retilíneos (FIGURA 23).

$$Is = \frac{L}{Dv}$$

Figura 23 - Índice de Sinuosidade dos canais de drenagem.



Fonte: Christofolletti, (1980), adaptado pelo autor (2020).

O índice morfométrico relacionado a direção dos canais de 1.^a e 2.^a ordem foi realizado através do *software Spring 5.4* e *ArcGIS 10.3*, no qual foram desenvolvidos os Diagramas de Roseta de frequência. Este indicador contribuiu para melhor compreensão da rede de drenagem e o seu escoamento superficial da bacia hidrográfica do rio Aripibú. Por fim, foi aplicado através do *ArcGIS* o perfil longitudinal com a linha de tendência, observando as quebras de patamar e grau de entalhamento da drenagem da bacia do Aripibú.

4.3 TRABALHOS DE CAMPO

A análise da suscetibilidade a erosão linear na bacia hidrográfica do rio Aripibú teve nos trabalhos de campo os objetivos de reconhecimento da área, confirmação dos dados obtidos em gabinete e mapeamento das principais incisões. A primeira atividade de campo, realizada em dois dias consecutivos de outubro de 2017, foi para conhecimento da bacia hidrográfica e verificação de informações primárias e secundárias já adquiridas previamente ao campo. Nesta investida examinou-se a bacia hidrográfica desde a nascente até a foz, ou seja, visitou-se o alto, médio e baixo curso da bacia, investigando alguns dos critérios ao desenvolvimento da erosão, a exemplo da geomorfologia e do uso da terra.

A segunda atividade de campo foi para realização de confirmação dos mapeamentos realizados, principalmente o geomorfológico, cobertura e uso da terra. A mesma foi realizada em março de 2018 em três dias consecutivos por toda a BHRA. Na ocasião foi possível a identificação e confirmação de incisões lineares existentes em várias partes da bacia hidrográfica do Aripibú. Na mesma houve tomada de fotos, anotação da localização geográfica e demarcação de pontos para mapeamentos. Analisou nesse campo os divisores da bacia e sua relação com as demais, além de investigar os resultados obtidos pelos índices morfométricos utilizados na pesquisa.

O último campo realizado teve como foco principal a confirmação e identificação das principais erosões lineares da BHRA. O período deste trabalho de campo foi de três dias consecutivos em outubro de 2019. Nesse campo foi verificado novamente os dados geomorfológicos, cobertura e uso da terra, além da tomada de fotos e anotações das localizações dos níveis das erosões lineares, as ravinas e as voçorocas, encontradas na bacia.

4.4 MÉTODO DE ANÁLISE DE PROCESSOS HIERÁRQUICOS

O modelo de tomada de decisão *Analytic Hierarchy Process* (AHP) de Saaty (1977), permite verificar a importância de cada elemento, atribuindo-se pesos distintos, formando uma hierarquia para a produção do resultado. A pesquisa utilizou-se de sete critérios para confeccionar os cenários, sendo eles: geologia, geomorfologia, curvatura da encosta, declividade, precipitação, solos, cobertura e uso da terra. Em princípio, houve a classificação de cada critério de acordo com suas particularidades em três níveis de suscetibilidade aos processos erosivos lineares. A categorização da suscetibilidade à erosão ficou estabelecida nas classes: baixo, médio e alto (TABELA 10), para cada atributo dos critérios.

Tabela 10 - As classes de suscetibilidade a erosão.

Nível	Peso
Baixo	1
Médio	2
Alto	3

Fonte: Saaty (2008), adaptado pelo autor (2020).

O diagnóstico dos critérios foi especializado através de um mapa individual de propensão aos processos erosivos, além da confecção de um gráfico da porcentagem da área para os níveis de susceptibilidade à erosão na BHRA. Posteriormente, efetivou-se a classificação dos atributos de cada mapa de acordo com Saaty (2008), e construiu-se a matriz quadrada para realizar a analogia entre os pares de critérios (QUADRO 4).

Quadro 4 - Matriz quadrada dos critérios.

Critérios	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆	C ₇
C ₁	1	C ₂₁ =1/C ₁₂	C ₃₁ =1/C ₁₃	C ₄₁ =1/C ₁₄	C ₅₁ =1/C ₁₅	C ₆₁ =1/C ₁₆	C ₇₁ =1/C ₁₇
C ₂	C ₁₂	1	C ₃₂ =1/C ₂₃	C ₄₂ =1/C ₂₄	C ₅₂ =1/C ₂₅	C ₆₂ =1/C ₂₆	C ₇₂ =1/C ₂₇
C ₃	C ₁₃	C ₂₃	1	C ₄₃ =1/C ₃₄	C ₅₃ =1/C ₃₅	C ₆₃ =1/C ₃₆	C ₇₃ =1/C ₃₇
C ₄	C ₁₄	C ₂₄	C ₃₄	1	C ₅₄ =1/C ₄₅	C ₆₄ =1/C ₄₆	C ₇₄ =1/C ₄₇
C ₅	C ₁₅	C ₂₅	C ₃₅	C ₄₅	1	C ₆₅ =1/C ₅₆	C ₇₅ =1/C ₅₇
C ₆	C ₁₆	C ₂₆	C ₃₆	C ₄₆	C ₅₆	1	C ₇₆ =1/C ₆₇
C ₇	C ₁₇	C ₂₇	C ₃₇	C ₄₇	C ₅₇	C ₆₇	1

Fonte: Torres (2014), adaptado pelo autor (2020).

O preenchimento da matriz quadrada (QUADRO 4), ocorreu pela comparação (QUADRO 5) dos critérios aos pares, obedecendo à metodologia de Saaty (1977).

Quadro 5 - Ordenação dos níveis de intensidade de importância.

Intensidade de Importância	Definição	Explicação
1	Mesma importância.	Os critérios apresentam o mesmo grau de importância.
3	Importância pequena de uma sobre a outra.	A experiência e o julgamento beneficiam de maneira moderada uma atividade em relação à outra.
5	Importância grande ou essencial.	A experiência e o julgamento beneficiam fortemente uma atividade em relação à outra.
7	Importância muito grande ou demonstrada.	Um critério é fortemente favorecido em relação ao outro. Ocorre uma dominação na prática.
9	Importância absoluta.	Ocorre o mais alto grau de certeza de um critério sobre o outro.
2, 4, 6, 8	Valores intermediários entre os adjacentes.	Nível intermediário entre dois valores.

Fonte: Saaty (1977), adaptado pelo autor (2020).

O comparativo se baseia nos graus de importância que são definidos, variando de 1 até 9 (QUADRO 5). sendo os valores pares (2, 4, 6 e 8) considerados intermediários entre os

adjacentes. Na atribuição do valor 1, os dois critérios têm mesma relevância na suscetibilidade à erosão, quanto maior for o número haverá importância absoluta de um critério sobre o outro. Logo, após o preenchimento da matriz quadrada (QUADRO 4), com os níveis de intensidade de importância (QUADRO 5), criou-se a matriz de normalização para vislumbrar os pesos de cada critério (QUADRO 6). A mesma é confeccionada seguindo a metodologia de Saaty (1977), em que o valor de importância atribuído na matriz de correlação (QUADRO 4), é dividido pelo somatório da coluna (ΣC). Assim, o peso de cada critério (W_i) é o resultado da divisão da soma de cada linha (ΣL) pelo número de critérios utilizados.

Quadro 6 - Matriz de normalização dos sete critérios analisados.

Crítérios	C₁	C₂	C₃	C₄	C₅	C₆	C₇	W_i
C₁	1/ ΣC_1	C ₂₁ / ΣC_2	C ₃₁ / ΣC_3	C ₄₁ / ΣC_4	C ₅₁ / ΣC_5	C ₆₁ / ΣC_6	C ₇₁ / ΣC_7	$\Sigma L_1/7$
C₂	C ₁₂ / ΣC_1	1/ ΣC_2	C ₃₂ / ΣC_3	C ₄₂ / ΣC_4	C ₅₂ / ΣC_5	C ₆₂ / ΣC_6	C ₇₂ / ΣC_7	$\Sigma L_2/7$
C₃	C ₁₃ / ΣC_1	C ₂₃ / ΣC_2	1/ ΣC_3	C ₄₃ / ΣC_4	C ₅₃ / ΣC_5	C ₆₃ / ΣC_6	C ₇₃ / ΣC_7	$\Sigma L_3/7$
C₄	C ₁₄ / ΣC_1	C ₂₄ / ΣC_2	C ₃₄ / ΣC_3	1/ ΣC_4	C ₅₄ / ΣC_5	C ₆₄ / ΣC_6	C ₇₄ / ΣC_7	$\Sigma L_4/7$
C₅	C ₁₅ / ΣC_1	C ₂₅ / ΣC_2	C ₃₅ / ΣC_3	C ₄₅ / ΣC_4	1/ ΣC_5	C ₆₅ / ΣC_6	C ₇₅ / ΣC_7	$\Sigma L_5/7$
C₆	C ₁₆ / ΣC_1	C ₂₆ / ΣC_2	C ₃₆ / ΣC_3	C ₄₆ / ΣC_4	C ₅₆ / ΣC_5	1/ ΣC_6	C ₇₆ / ΣC_7	$\Sigma L_6/7$
C₇	C ₁₇ / ΣC_1	C ₂₇ / ΣC_2	C ₃₇ / ΣC_3	C ₄₇ / ΣC_4	C ₅₇ / ΣC_5	C ₆₇ / ΣC_6	1/ ΣC_7	$\Sigma L_7/7$

Fonte: Saaty (2008), Torres (2014) e Menezes Júnior (2015), adaptado pelo autor (2020).

Em seguida a tomada dos pesos de cada critério, fez necessário verificar a Razão de Consistência (RC), a qual é adquirida pela divisão do Índice de Consistência (IC) e o Índice Randômico (IR), onde λ_{max} seria a média das medidas de consistência calculadas inicialmente, e n corresponderia ao número de alternativas comparadas. O IR (QUADRO 7), é um valor consolidado obtido em laboratório presente na metodologia de Saaty (2008).

$$RC = \frac{IC}{IR} \quad IC = \frac{(\lambda_{max} - n)}{(n - 1)}$$

Quadro 7 - Valores do IR em função ao número de critérios utilizados na matriz quadrada.

n	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
IR	0,53	0,89	1,11	1,25	1,35	1,40	1,45	1,49	1,52	1,54	1,56	1,58	1,59

Fonte: Saaty (2008), adaptado pelo autor (2020).

A metodologia de Saaty (2008) ratifica a ideia de que o processo realizado e o valor encontrado nos pesos dos critérios (W_i), apenas são aceitos se a RC for igual ou inferior a 0,10. Os valores diferentes desse contexto tornam a matriz inconsistente. Assim, deverá ocorrer a reavaliação da relação entre os pares de critérios na matriz quadrada. Os valores RC da pesquisa para os cinco mapas de suscetibilidade ficaram com 0,03, logo, todas as relações são consideradas validas de acordo com a metodologia empregada. Os três primeiros cenários

foram desenvolvidos apenas com critérios naturais e os dois últimos foi acrescido o sétimo elemento, a cobertura e uso da terra.

Os mapas de suscetibilidade a erosão por critério e os cenários foram confeccionados através da álgebra de mapas utilizando o ArcGIS 10.3. Os mapas individuais dos sete critérios foram classificados nos três níveis de suscetibilidade, em seguida usou a ferramenta *Raster Calculator* para realizar a multiplicação dos pesos de cada critério e o somatório desses (QUADRO 8). Vale salientar que os pesos foram distintos em cada cenário mais o procedimento de cálculo é o mesmo, ou seja, multiplicar o peso pelo critério e somar todos para dar o mapa final de suscetibilidade a erosão da bacia hidrográfica Aripibú.

Quadro 8 - Álgebra dos cinco cenários para a suscetibilidade a erosão na bacia do rio Aripibú, PE.

Cenários	Equações
1º	$\text{Geológico} \times 0,06 + \text{Geomorfológico} \times 0,11 + \text{Curvatura} \times 0,16 + \text{Solos} \times 0,27 + \text{Declividade} \times 0,41$
2º	$\text{Geológico} \times 0,06 + \text{Geomorfológico} \times 0,11 + \text{Curvatura} \times 0,16 + \text{Declividade} \times 0,27 + \text{Solos} \times 0,41$
3º	$\text{Geológico} \times 0,06 + \text{Geomorfológico} \times 0,11 + \text{Solos} \times 0,16 + \text{Declividade} \times 0,27 + \text{Curvatura} \times 0,41$
4º	$\text{Geológico} \times 0,04 + \text{Geomorfológico} \times 0,07 + \text{Curvatura} \times 0,10 + \text{Solos} \times 0,16 + \text{Declividade} \times 0,21 + \text{uso} \times 0,42$
5º	$\text{Geológico} \times 0,04 + \text{Geomorfológico} \times 0,07 + \text{Curvatura} \times 0,10 + \text{Declividade} \times 0,16 + \text{Solos} \times 0,21 + \text{uso} \times 0,42$

Fonte: O autor, 2020.

No trabalho de campo foram identificadas 191 cicatrizes, as mesmas foram georreferenciadas e transformadas em *shape* de pontos e linhas. Esse formato das erosões foi sobreposto nas unidades de paisagem, nos mapas de declividade, geomorfologia, uso da terra e nos cinco cenários para validar os resultados. Em seguida, no ambiente do ArcGIS, através das coordenadas geográficas das cicatrizes obteve-se o quantitativo de feições erosivas em cada unidade de paisagem e nos mapas de declividade, relevo e uso da terra. O comprimento das cicatrizes foi realizado nas imagens do *Google Earth Pro*, validadas em campo e quantificadas em quilômetros pelas ferramentas *Clip* e *Calculate Geometry* no ArcGIS, sobre cada nível de suscetibilidade para cada um dos cinco cenários.

5 ANÁLISE MORFOMÉTRICA E ASPECTOS FÍSICO-NATURAIS E DE USOS

Neste capítulo é contemplado o início dos resultados e discussões da pesquisa, começando com a análise morfométrica da área estudada, na qual os índices morfométricos calculados serviram de base para o entendimento da dinâmica da bacia hidrográfica em questão. Em seguida tem-se a apreciação dos indicadores ambientais, com destaque para a geologia, geomorfologia, clima, solos, uso e cobertura da terra, que são relevantes para a compreensão da dinâmica processual da BHRA.

5.1 ANÁLISE MORFOMÉTRICA

A análise morfométrica da bacia hidrográfica é imprescindível para o entendimento da sua hidromorfodinâmica. Os dados primários coletados através dos índices geométricos ajudaram para a compreensão dos processos morfodinâmicos atuais. Assim, a pesquisa utilizou-se de alguns índices morfométricos da BHRA, reunidos em três grupos de características, sendo eles: geométricas, relevo e drenagem (TABELA 11).

Em relação aos índices geométricos, temos a bacia hidrográfica do Aripibú com uma área de 100 km² e 80 km de perímetro (TABELA 11). A área de drenagem dessa bacia é considerada pequena, o que ocasiona uma relação mais rápida da entrada e saída do fluxo hídrico na mesma. Isso pode ocasionar enchentes mais rápidas após as precipitações, tendo em vista a distância percorrida ser pequena se comparada a outras bacias maiores.

O padrão de drenagem da BHRA é dendrítico, também denominado de arborescente, em que o canal principal seria “tronco” e os tributários os “ramos” lembrando uma árvore. Essa configuração demonstra a uniformidade da resistência das rochas, a grande amplitude da drenagem por toda a área da bacia. Os ângulos agudos têm graus variados entre os canais, tendo ausência dos ângulos retos (90 °), ficando entendido que a bacia Aripibú tem pouca influência estrutural no escoamento superficial. O escoamento superficial da BHRA é do tipo exorreico, tendo seu exutório no rio Sirinhaém, que deságua no oceano Atlântico.

A BHRA tem um Coeficiente de Compacidade de 2,24 (TABELA 11) e este valor significa que a mesma não está sujeita a grandes enchentes e possui contorno irregular, visto segundo Tonello (2005), quanto mais próximo de 1,0 a mesma possuiria um formato aproximado ao de círculo. O Índice Coeficiente de Compacidade da BHRA possui uma forma alongado e o escoamento superficial não é concentrado em um único ponto.

Tabela 11 - Índices morfométricos aplicados na bacia do rio Aripibú, Pernambuco.

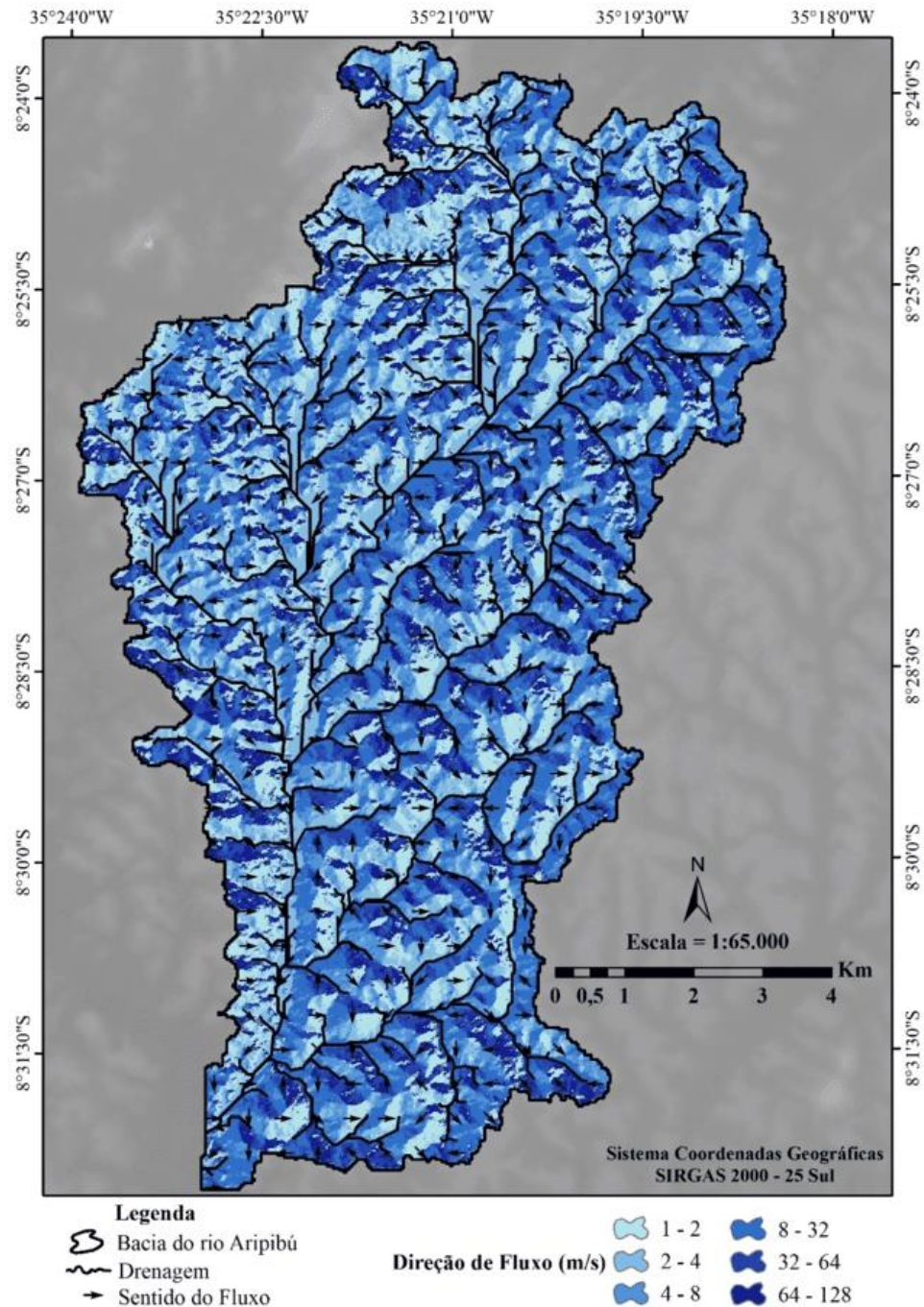
Características	Índices Morfométricos	Resultados
	Área da Bacia	100 km ²
	Coefficiente de compacidade	2,24
Geométricas	Direção de Fluxo	01 – 128 m/s
	Fator forma	0,34
	Padrão de drenagem	Dendrítico
	Perímetro da Bacia	80 km
	Altitude máxima	267 m
	Altitude mínima	76 m
Relevo	Declividade máxima	65.º
	Declividade mínima	0.º
	Índice de Chi	0 – 21,35
	Volume mínimo erodido	3,97 km ³
	Comprimento do canal principal	25 km
	Comprimento de todos os canais	218,60 km
Rede de drenagem	Densidade de drenagem	2,186 Km/km ²
	Índice de sinuosidade do canal principal	1,60
	Ordem dos Canais	5.º ordem
	Direção dos canais de 1.ª e 2.ª ordem	N-S / NO-SE

Fonte: O autor, 2020.

Quanto ao Fator Forma, este foi de 0,34 (TABELA 11), esse dado corrobora a configuração estreita e longa da BHRA havendo menor potencialidade à ocorrência de enchentes. Assim, estes dois índices demonstram que a BHRA é alongada e seus afluentes atingem o canal principal em diferentes pontos ao longo da sua extensão, diminuindo a possibilidade de grandes enchentes.

O mapa de direção de fluxo da BHRA (FIGURA 24) exhibe os fluxos dispostos em várias direções, variando de 1 até 128 m/s. Isso demonstra que o trajeto percorrido pelo escoamento superficial na bacia hidrográfica em questão é diversificado, frisando que esse mapa confirma os índices de Coeficiente de Compacidade e Fator Forma. Dessa forma, a BHRA pela sua fisionomia distendida, não está sujeita a grandes enchentes, sendo comprovado através desses três índices morfométricos apresentados acima. Além disso, o mapa de direção de fluxo é imprescindível como uma ferramenta para auxiliar no planejamento gerenciamento de uma bacia hidrográfica na organização das ações, visto demonstrar os caminhos percorridos pelas águas das chuvas em superfície.

Figura 24 - Mapa da direção de fluxo da bacia hidrográfica do Aripibú, PE.



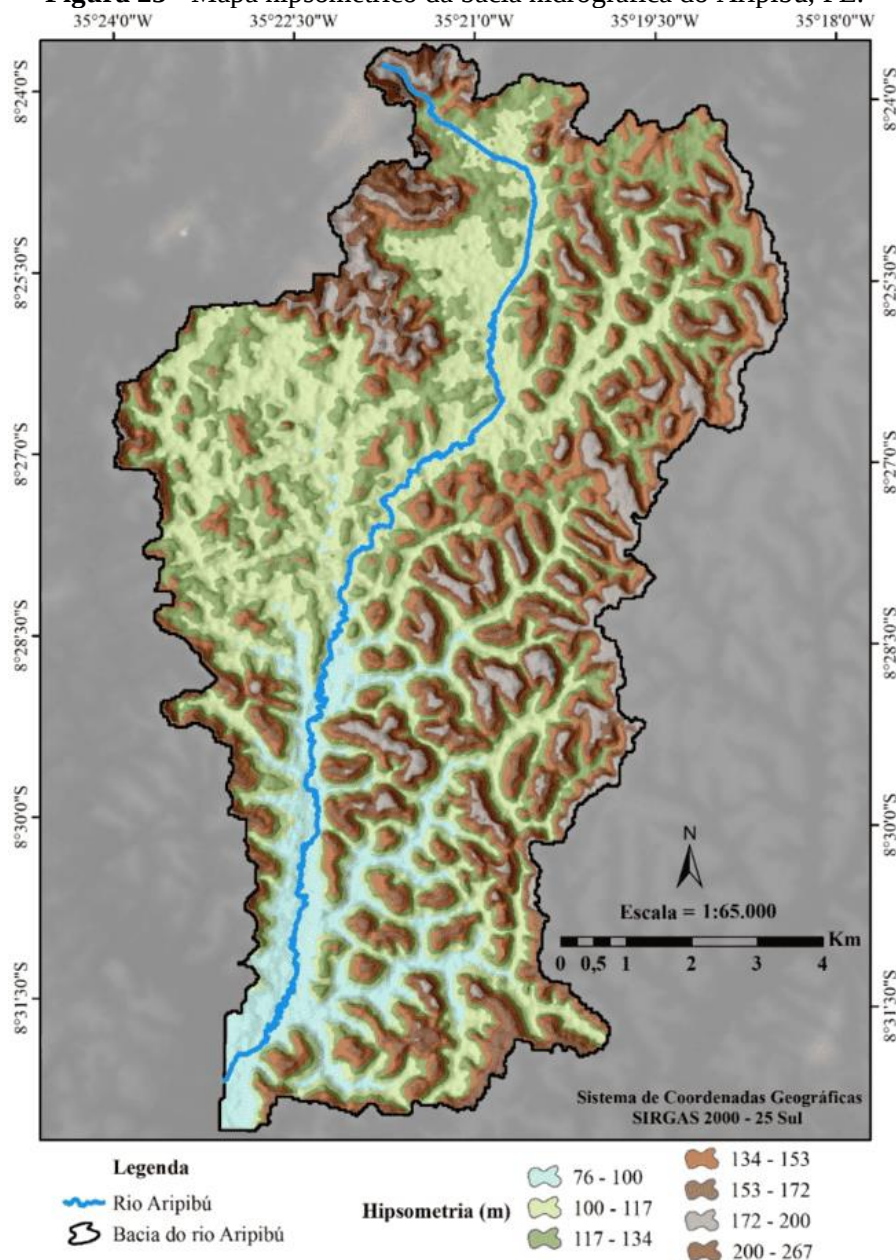
Fonte: O autor, 2020.

No baixo curso do rio Aripibú o processo de enchentes é mais salutar pelos condicionantes inerentes a própria dinâmica da bacia hidrográfica, pois neste compartimento o vale fluvial e as planícies de inundação são amplas, ocorrendo no momento de maior precipitação pluviométrica o transbordamento das águas no canal principal sobre as planícies de inundação. Tal fenômeno natural ocasiona problemas, visto que a cidade de Ribeirão ocupa grande parte do território inundável. A impermeabilização do solo, aterros, drenagem ausente

ou precária, somada a precipitações intensas e/ou recorrentes, deixam as inundações como um entrave causador de prejuízos.

Sobre os índices morfométricos relacionados ao relevo, temos a altitude variando de 76 a 267 metros (FIGURA 25), tendo uma maior elevação no alto curso, essencialmente na área de cabeceira e, diminuindo até a foz. A BHRA possui, de modo geral, uma hipsometria média de 100 a 200 metros, possuindo um relevo baixo, tendo em sua maior parte morfologia de colinas pluriconvexas. A margem esquerda do rio Aripibú detém, em sua maioria, uma morfologia de maior altitude e a direita temos uma topografia suave.

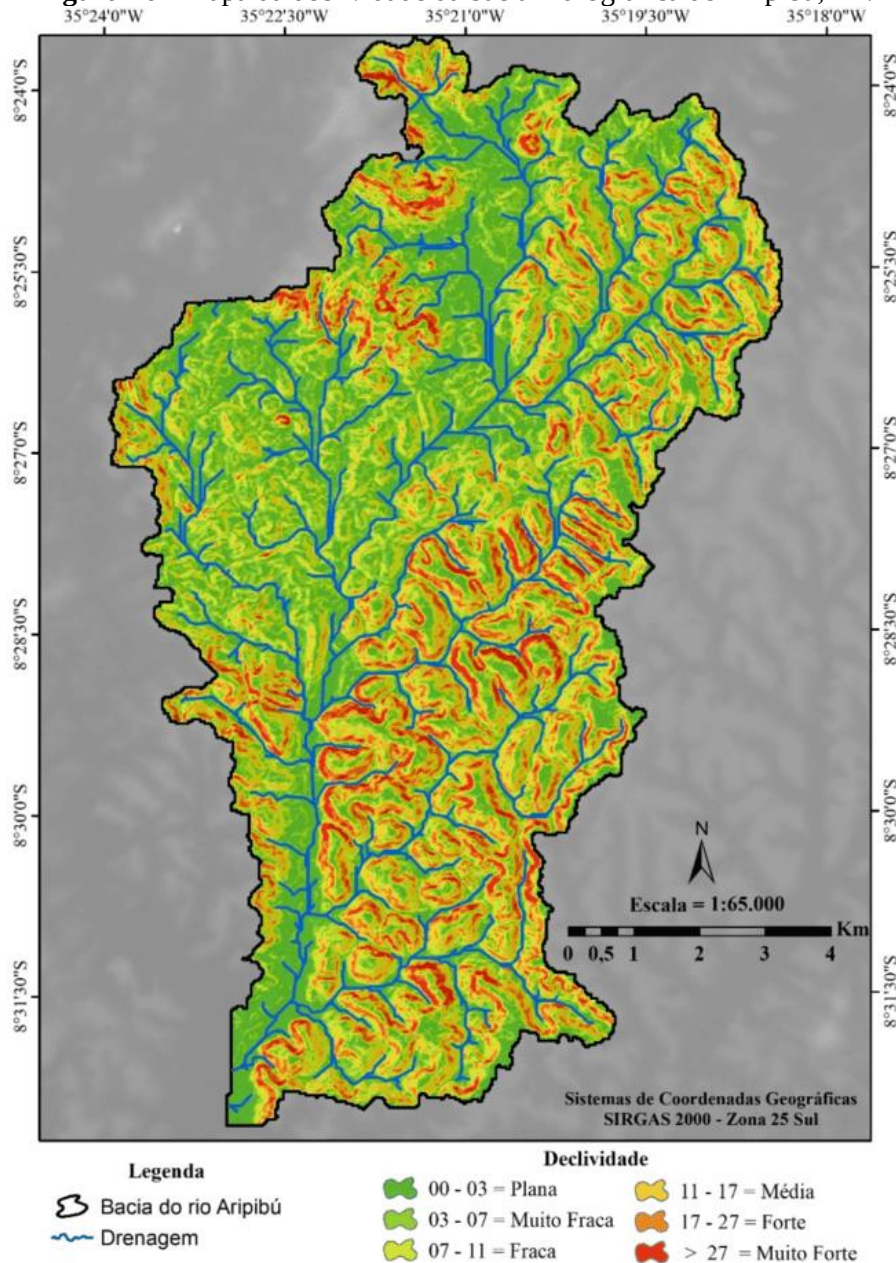
Figura 25 - Mapa hipsométrico da bacia hidrográfica do Aripibú, PE.



Fonte: O autor, 2020.

A declividade da BHRA varia de 0° a $> 27^{\circ}$ (FIGURA 26), apresentando-se mais acentuada nos pontos do relevo com maior altura, destacando-se as colinas. As maiores declividades estão nas encostas dos relevos pluriconvexos, tendo um percentual acima de 27° . Próximo à drenagem, sobretudo no canal principal, a inclinação do relevo é suave, tendo uma declividade de nula a baixa. A maior declividade das encostas das colinas potencializa o escoamento superficial, ocorrendo maior energia do fluxo nas partes mais inclinadas do relevo. Assim, ocorre com mais intensidade os processos morfodinâmicos, especificamente os erosivos, tendo maior susceptibilidade a ocorrência e desenvolvimento de feições erosivas.

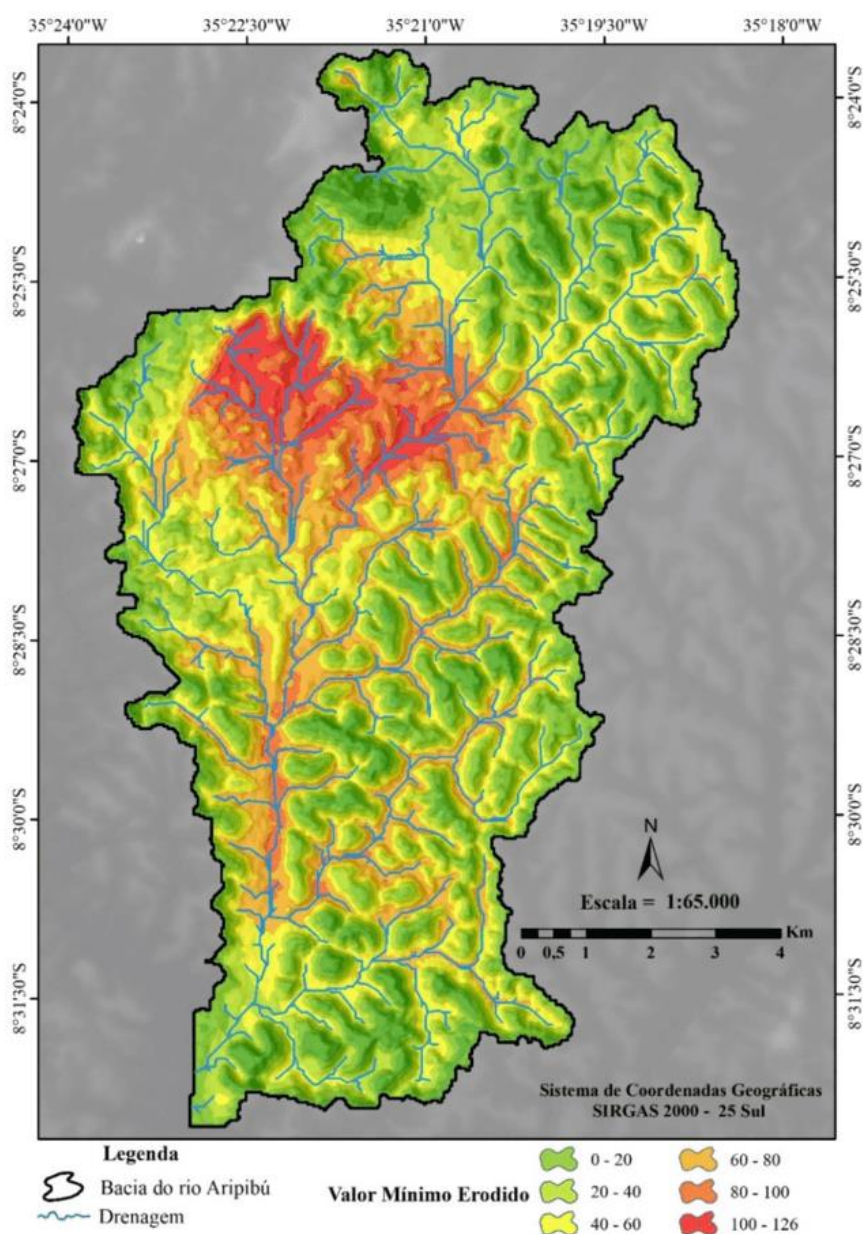
Figura 26 - Mapa da declividade da bacia hidrográfica do Aripibú, PE.



Fonte: O autor, 2020.

Em relação aos processos erosivos e o relevo atual, a BHRA possui áreas com maior grau de exumação da paisagem, isso é verificável através do mapa Volume Mínimo Erodido (FIGURA 27). A diferença entre a elevação dos divisores limítrofes da bacia a “tampa” e a topografia permite distinguir os diferentes graus de erosão em termos de coluna do material erodido. A BHRA possui 3,97 km³ de volume erodido, sendo maior nos espaços mais baixos, com destaque para centro-noroeste, onde ocorreu a dissecação mais significativa da bacia hidrográfica em foco. Assim, considerando este índice morfométrico, a perda de massa mais significativa estaria numa zona pouco soerguida e bastante erodida.

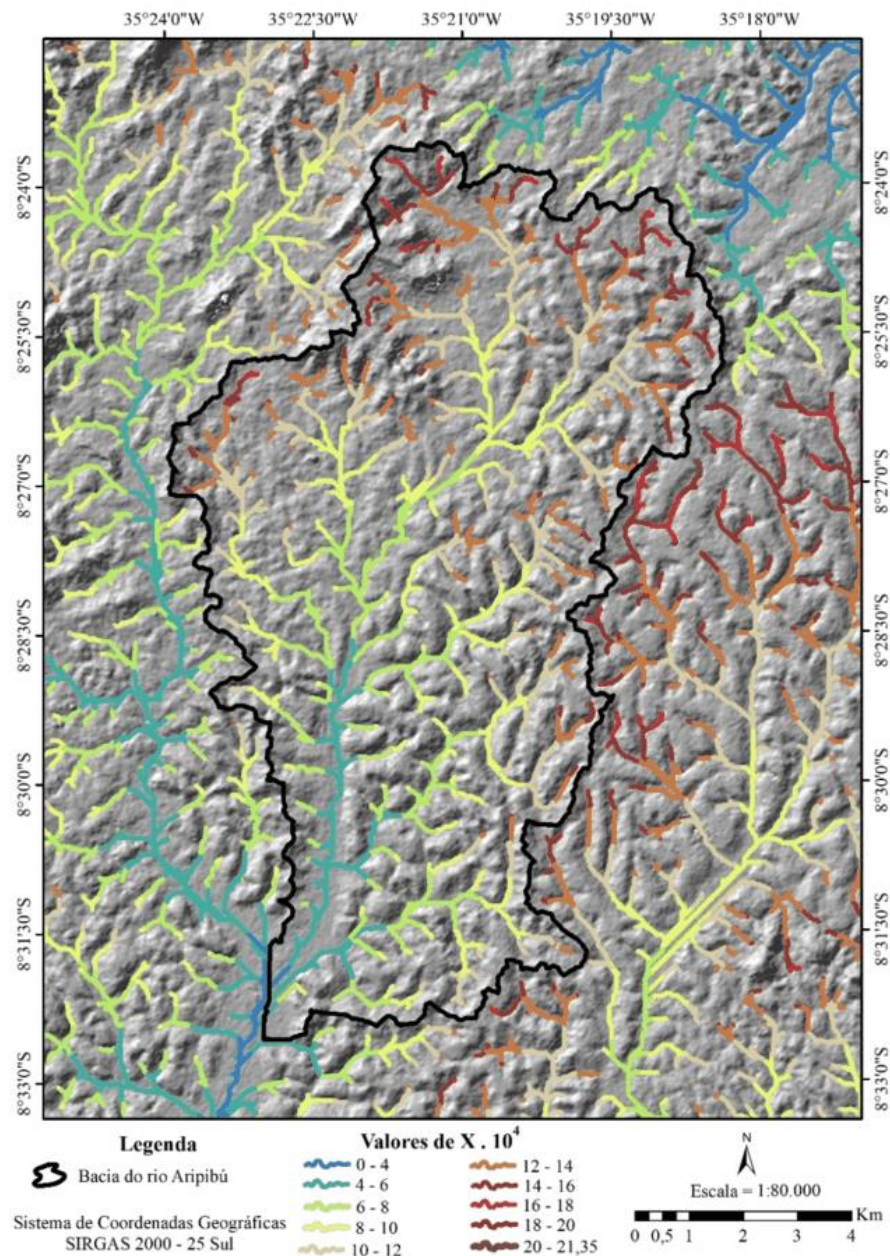
Figura 27 - Mapa da distribuição espacial do Volume Mínimo Erodido na bacia hidrográfica do Aripibú, Pernambuco.



Fonte: O autor, 2020.

A BHRA tem nas áreas limítrofes um forte processo erosivo desencadeado pelos canais próximos das cabeceiras da drenagem, principalmente no médio e alto curso. Esta informação é ratificada pelo índice de X (FIGURA 28), através do qual tem-se a bacia avançando sobre outras circunvizinhas, a exemplo da bacia hidrográfica do rio Camaragibe. Todavia, outras bacias hidrográficas detêm um poder erosivo mais significativo em relação ao avanço dos canais de ordem menor, avançando sobre a BHRA, como a dos rios Ipojuca e Amaraji. Assim, de modo geral, a bacia do rio Aripibú está sendo “consumida” nos seus limites oeste e norte, enquanto no limite leste avança com os processos erosivos sobre o relevo das colinas.

Figura 28 - Mapa dos valores de χ da bacia hidrográfica do Aripibú, PE.



Fonte: O autor, 2020.

As características da rede de drenagem da bacia hidrográfica são imprescindíveis para compreender o funcionamento da mesma, nesse sentido se escolheu alguns índices para caracterizar a dinâmica da BHRA. Esta é constituída pelo canal principal do rio Aripibú, que possui 25 quilômetros de extensão e o comprimento de todos os afluentes totalizam 218,60 quilômetros (TABELA 11). A densidade de drenagem da área em questão é de 2,186 km/km², a mesma atua na dissecação da paisagem através dos processos morfodinâmicos relacionados a malha fluvial.

O Índice de Sinuosidade do canal principal é de 1,60 (TABELA 11), isto é, esse valor indica que o rio Aripibú teria um nível sinuosidade retilíneo, visto os valores próximos a 1,0 serem retilíneos e acima de 2,0 significarem sinuosos. Mesmo assim, o Aripibú possui tendência a ser retilíneo no alto curso, transicional no médio e mais sinuoso no baixo. A hierarquização da bacia é de 5.º ordem (TABELA 12), essa configuração demonstra o potencial da ramificação na bacia hidrográfica em questão, na qual ocorre uma maior quantidade de canais de primeira e segunda ordem, indicando uma elevada dissecação de toda a BHRA (FIGURA 29).

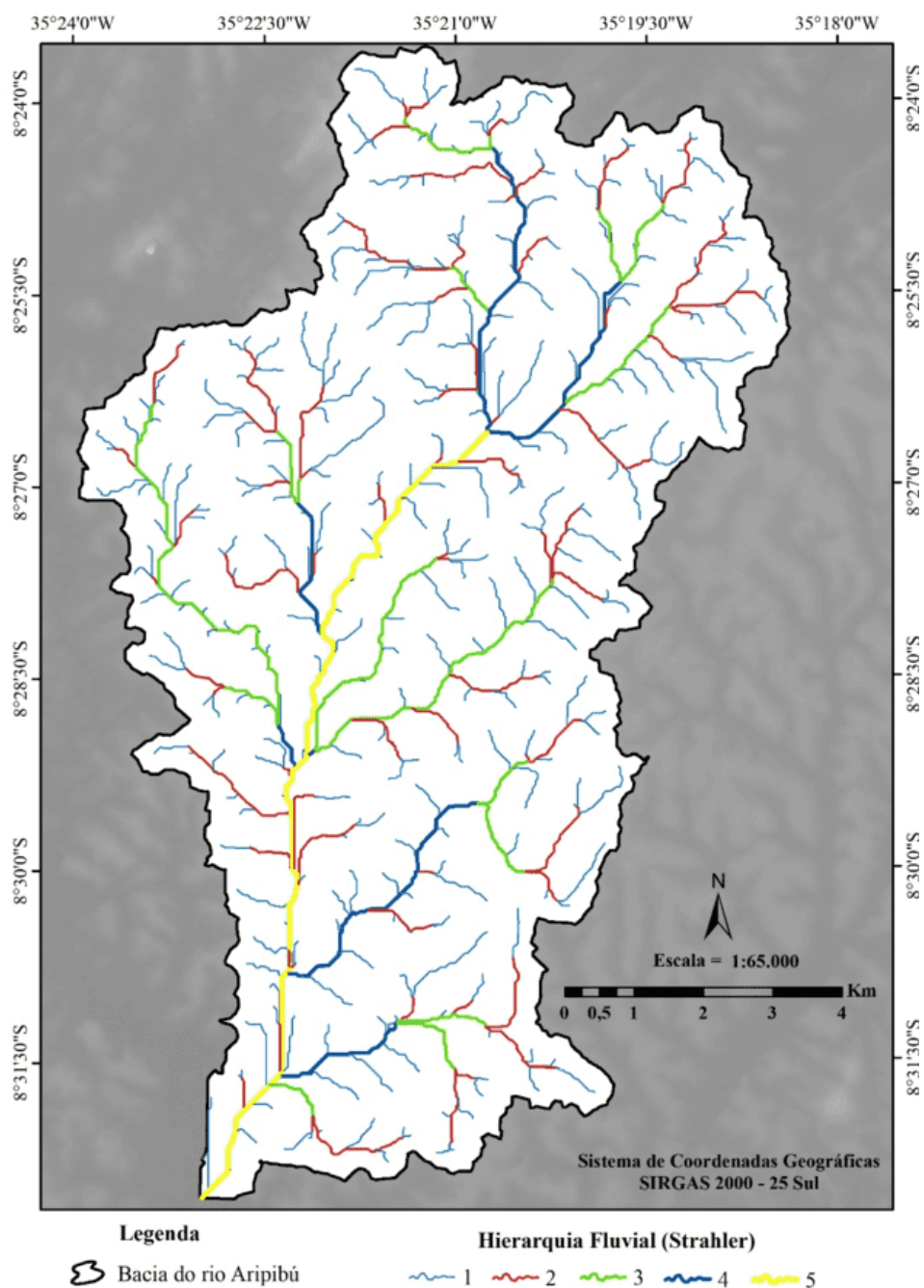
Tabela 12 - Número dos canais da bacia hidrográfica do Aripibú, PE.

Ordem	Número de Canais	Comprimento total (m)
1	343	132.955
2	60	57.284
3	17	31.419
4	07	17.584
5	01	13.591
Total	428	252.833

Fonte: O autor, 2020.

O mapa de hierarquia fluvial do rio Aripibú (FIGURA 29), reforça os índices morfométricos analisados acima, onde a morfologia da bacia e os canais distribuindo o fluxo em vários pontos da drenagem dificulta a ocorrência de grandes enchentes. O escoamento percorre muitos canais de ordem menor para assim chegar no de 5.º ordem. Dessa maneira, a água tem um tempo maior até encontrar o canal principal. Frisando que outros elementos afetam a velocidade do fluxo chegar no rio Aripibú, tais como uso e cobertura da terra, tipos de solos, declividade, morfologia do vale, duração e intensidade da precipitação e entre outros de significância ao escoamento da área em questão. Todavia, considerando os índices morfométricos de características relacionadas a geometria, o relevo e drenagem aplicados na BHRA, esta não tem predisposição a grandes enchentes.

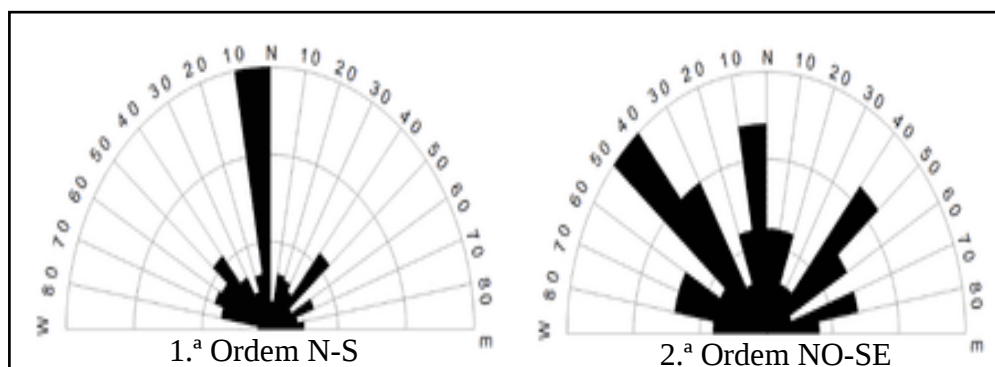
Figura 29 - Mapa de hierarquização dos canais da hidrografia do Aripibú, PE.



Fonte: O autor, 2020.

A BHRA apresenta em sua maioria os canais de 1ª e 2ª ordens, com uma direção principal norte-sul e noroeste-sudeste (FIGURA 29), respectivamente. Os de 1ª ordem seguem o mesmo sentido do rio Aripibú (norte-sul), especificamente a drenagem de 5.º (FIGURA 30). Enquanto o de 2ª ordem tem uma tendência principal noroeste-sudeste, além de duas direções secundárias: norte-sul e nordeste-sudoeste, assim não concorda com o sentido primordial da BHRA. Estas direções exibem o sentido principal do escoamento superficial mais relacionado aos processos erosivos.

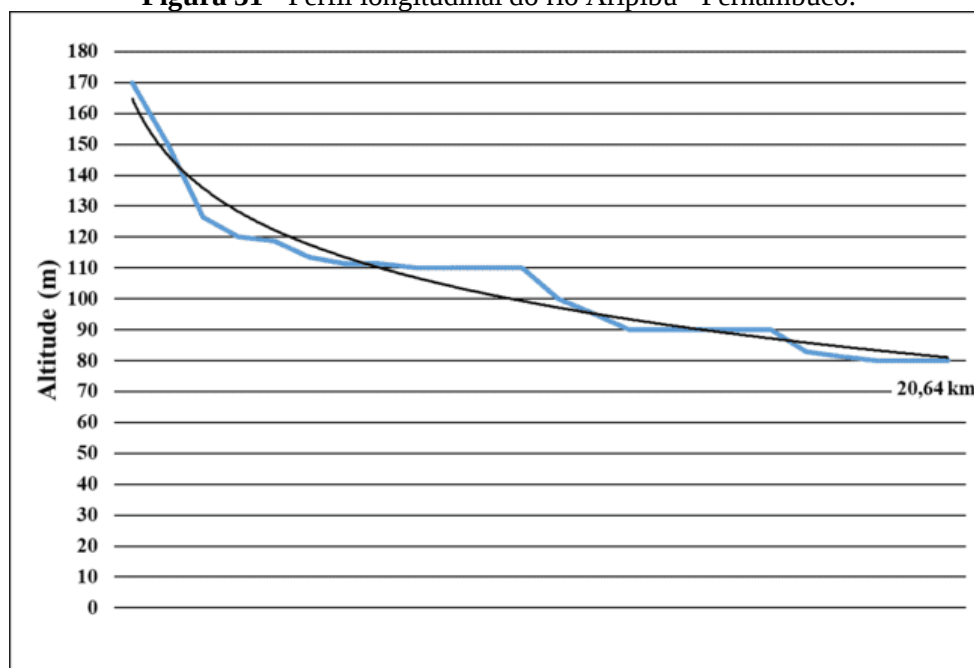
Figura 30 - Direção dos canais de 1.^a e 2.^a ordem da bacia hidrográfica do Aripibú.



Fonte: O autor, 2020.

O perfil longitudinal do rio Aripibú tende a seguir a sua curva de melhor ajuste (FIGURA 31), ocorrendo algumas quebras de patamares, estando em momentos acima e abaixo da linha, contendo “degraus” significativos entre as cotas de 120, 110, 90 e 80 metros de altitude, tendo o perfil uma diferença altimétrica de 90 metros, estando a nascente na cota de 170 metros e a foz a 80 metros. Essa relação entre a altitude e a extensão do rio Aripibú evidencia um potencial considerável aos processos erosivos pelo gradiente da altura. Logo, a BHRA vai ter 3 trechos acima da linha de melhor ajuste e 3 situados abaixo da linha com uma diferença grande para o canal principal ter condições de chegar ao equilíbrio num contexto sem declividade.

Figura 31 - Perfil longitudinal do rio Aripibú - Pernambuco.



Fonte: O autor, 2020.

5.2 ASPECTOS FÍSICO-NATURAIS E DE USOS

Os indicadores ambientais analisados na área da pesquisa foram: geologia, compartimentação morfoestrutural, unidades geomorfológicas, clima, solos, uso e cobertura da terra. O melhor conhecimento destes contribui no diagnóstico da suscetibilidade da bacia do rio Aripibú ao desenvolvimento da erosão.

5.2.1 Geologia e Geomorfologia

Em relação ao primeiro indicador da BHRA, este é composto por 4 unidades geológicas, segundo CPRM (2001), Torres e Pfaltzgraff (2014), (FIGURA 32) denominadas: Complexo Belém São Francisco, Complexo Cabrobó, Suíte Intrusiva Itaporanga e Suíte sem denominação. Evidenciando a presença de apenas uma estrutura designada de Zona de Cisalhamento Indiscriminada.

As unidades geológicas têm uma representação espacial em quilômetros quadrados na bacia bem homogênea, tendo apenas a Suíte Intrusiva Itaporanga uma menor expressão territorial, de 8% (TABELA, 13), estando localizada ao norte da bacia hidrográfica em questão. A unidade Suíte Intrusiva sem denominação é a de maior representatividade no território da BHRA, com 36%, ocorrendo em duas regiões, uma ao sul e outra mais ao norte, perpassando de leste a oeste (FIGURA 32). Em seguida, vem os complexos, Belém São Francisco (25%), e Cabrobó (31%), estando as mesmas localizadas a noroeste e ao centro-sul da BHRA, respectivamente, esta última unidade transcorre de leste a oeste na mesma.

Tabela 13 - Unidades geológicas da bacia hidrográfica do Aripibú, PE.

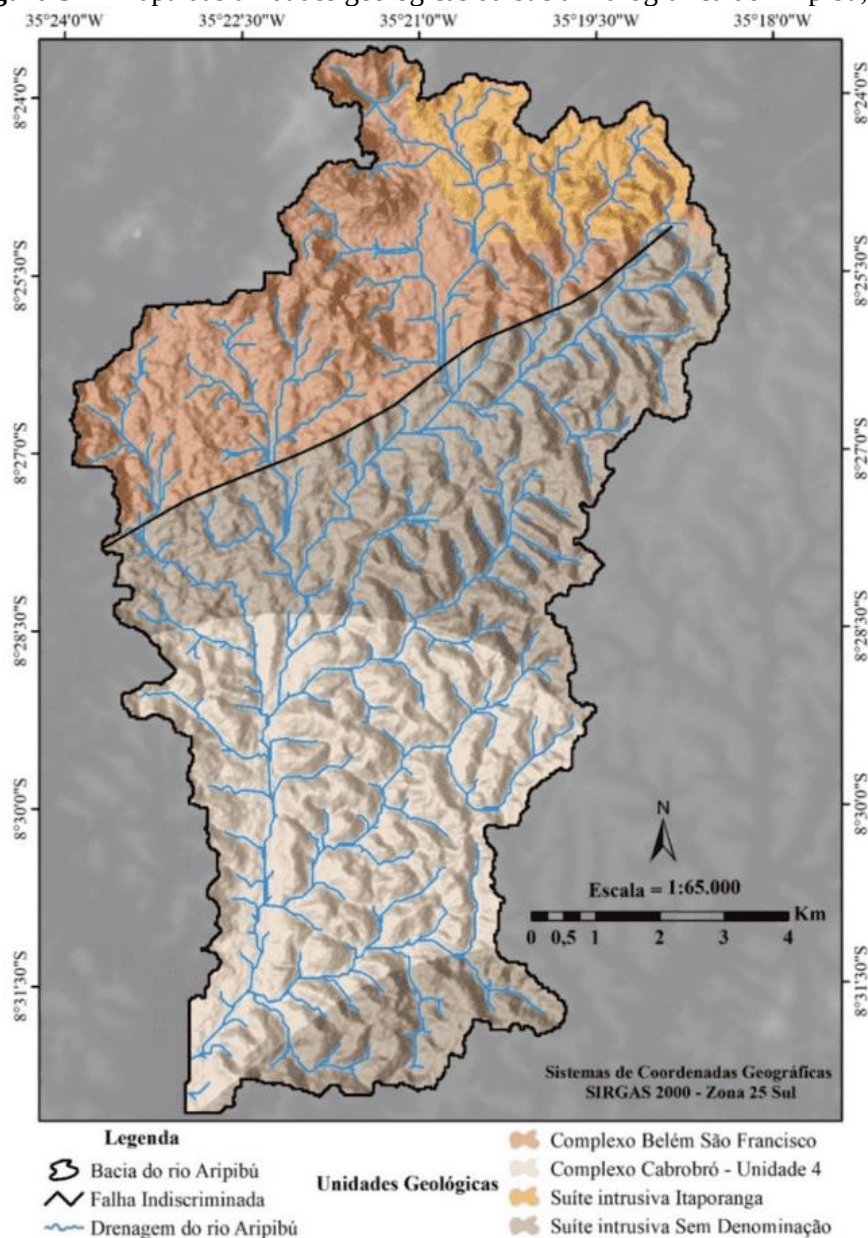
Unidades	Área na Bacia (km ²)	Porcentagem
Complexo Belém São Francisco	25	25%
Complexo Cabrobó	31	31%
Suíte Intrusiva Itaporanga	8	8%
Suíte Intrusiva Sem Denominação	36	36%
Total	100	100%

Fonte: CPRM (2001), adaptado pelo autor (2020).

A Zona de Cisalhamento Indiscriminada marca a divisão entre o Complexo São Francisco e a Suíte Intrusiva sem denominação. Em relação aos tipos das rochas, temos o Complexo Belém São Francisco constituído por metamórficas (equigranular), a Suíte sem denominação composta por rochas ígneas (porfírica), a Suíte Intrusiva Itaporanga constituída

por metafóricas e ígneas (fanerítica), e por fim o Complexo Cabrobó formado por rochas metamórficas.

Figura 32 - Mapa das unidades geológicas da bacia hidrográfica do Aripibú, PE.



Fonte: CPRM (2001), adaptado pelo autor (2020).

A composição da BHRA possui rochas com origem magmática e metamórfica com maior grau de dureza e resistência a erosão em comparação a rochas sedimentares. De acordo Toledo *et al.*, (2000), as rochas serão mais susceptíveis aos processos erosivos a depender da sua constituição estrutural, mineralógica e textural. Assim, as unidades geológicas da BHRA possuem variação nos graus de resistência à decomposição e à desagregação por possuírem composição distintas (QUADRO 9), mesmo todas sendo rochas cristalinas.

Quadro 9 - Unidades geológicas e litologias da bacia hidrográfica do Aripibú, PE.

Unidades	Litologias
Complexo Belém São Francisco	Ortognaisses tonalíticos, migmatitos, metadiorito, ortognaisses granodiorítico e ortognaisses granítico.
Complexo Cabrobó	Quartzito feldspático e metarcóseo.
Suíte Itaporanga	Diorito, granito, granodiorito, monzonito.
Suíte Sem Denominação	Metagranitóide e leucogranito.

Fonte: CPRM (2001), adaptado pelo autor (2020).

Em referência aos aspectos geomorfológicos, a área de estudo está totalmente inserida, em uma escala regional, na morfoestrutura do Piemonte da Borborema (QUADRO 10), especificamente na sua unidade meridional em relação ao Planalto da Borborema (GIRÃO *et al.*, 2013). O piemonte da Borborema tem sua delimitação a oeste com a encosta oriental do planalto da Borborema e a leste com o Planalto Sedimentar Costeiro. Essa morfoestrutura, onde está a BHRA, encontra-se estruturada em embasamento cristalino profundo, visto esta sessão ter sofrido processos intensos de denudação, detendo uma morfologia baixa se comparada a morfoestrutura do Planalto da Borborema.

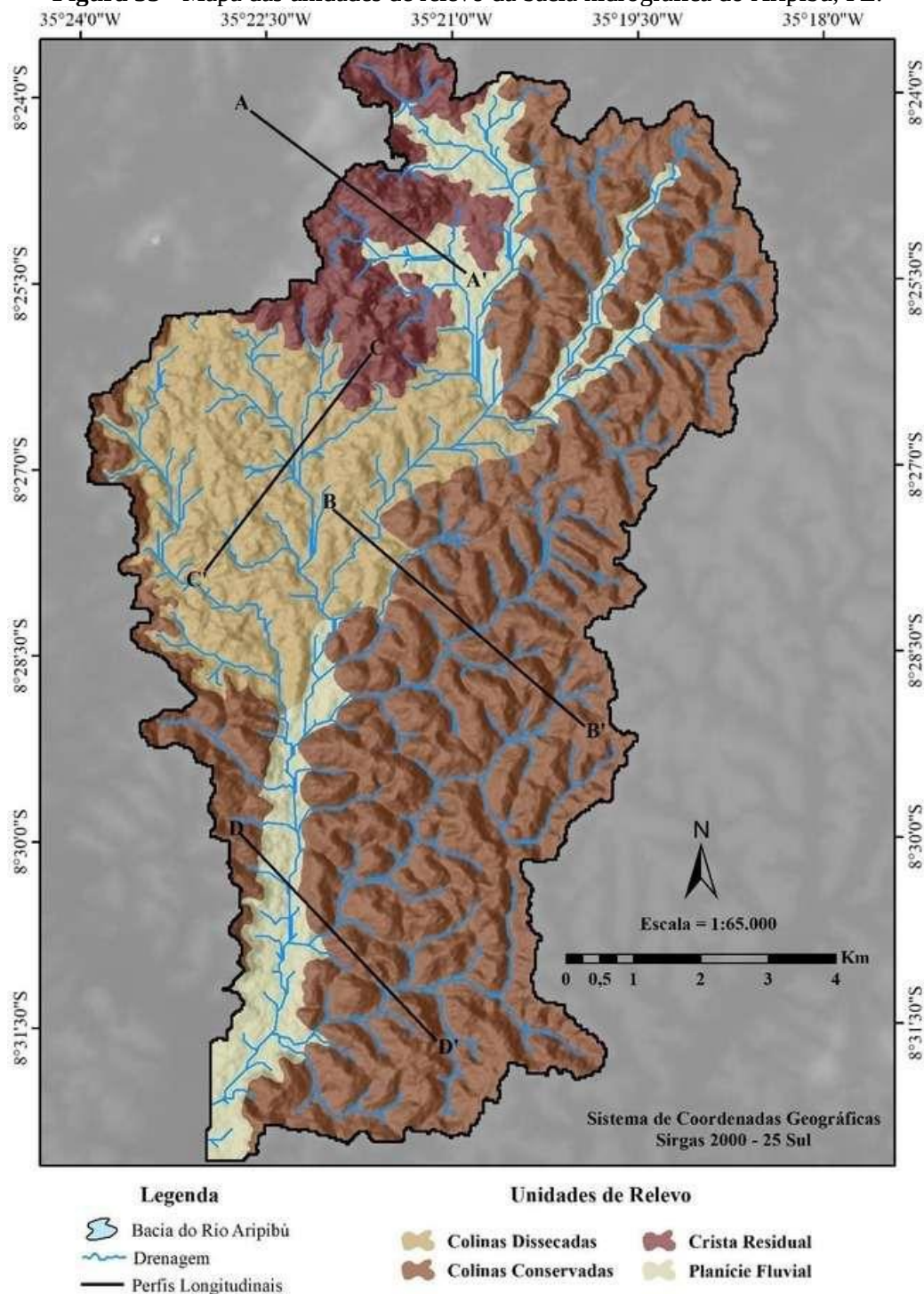
Quadro 10 - Compartimentação geomorfológica da bacia hidrográfica do Aripibú, PE.

Morfoestrutura regional	Unidade Morfoestrutural	Unidades Geomorfológicas	Porcentagem (%)
Piemonte da Borborema	Piemonte Meridional da Borborema	Crista Residual	8
		Colinas Conservadas	59
		Colinas dissecadas	21
		Planícies fluviais	12
		Total	100

Fonte: O autor, 2020.

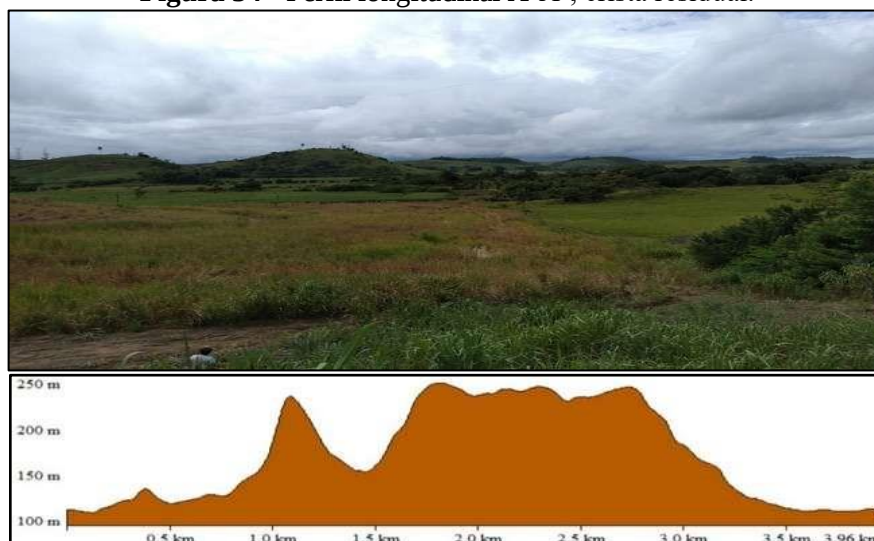
A unidade do piemonte meridional é composta morfologicamente pelo conjunto de formas convexas, na BHRA este possui altitudes variando de 76 até 267 metros (FIGURA 33). A drenagem dendrítica, com influência estrutural e litológica nos padrões dos canais, contem segmentos retilíneos e *knickpoints* ao longo dos rios.

Com a dissecação, ao longo do tempo, houve a modelagem da paisagem, compondo o relevo atual (FIGURA 33), sendo a bacia constituída das unidades de relevo: Colinas conservadas e dissecadas, crista residual e planícies fluviais. As colinas ocupam a maior parte da BHRA, com 80% (QUADRO 10), sendo constituídas por rochas cristalinas (ígneas e metamórficas), advindas do período Proterozóico, presentes em todas as unidades geológicas da bacia (Complexo Belém São Francisco, Complexo Cabrobó, Suíte Intrusiva Itaporanga e Suíte sem denominação). As colinas estão dispostas em toda a área da pesquisa, tendo uma morfologia pluriconvexa com dissecação forte e altitudes indo desde 75 até 267 metros.

Figura 33 - Mapa das unidades de relevo da bacia hidrográfica do Aripibú, PE.

A crista residual (FIGURA 34), estão localizadas em uma pequena parte da BHRA (8%), contemplando os municípios de Ribeirão, Primavera e Escada. Essa forma de relevo é constituída pela unidade geológica Complexo Belém São Francisco e são as áreas mais elevadas da bacia hidrográfica, com altitudes variando de 190 a 270 metros, nestas a morfologia é de topos curtos, convexos e declividade muito forte.

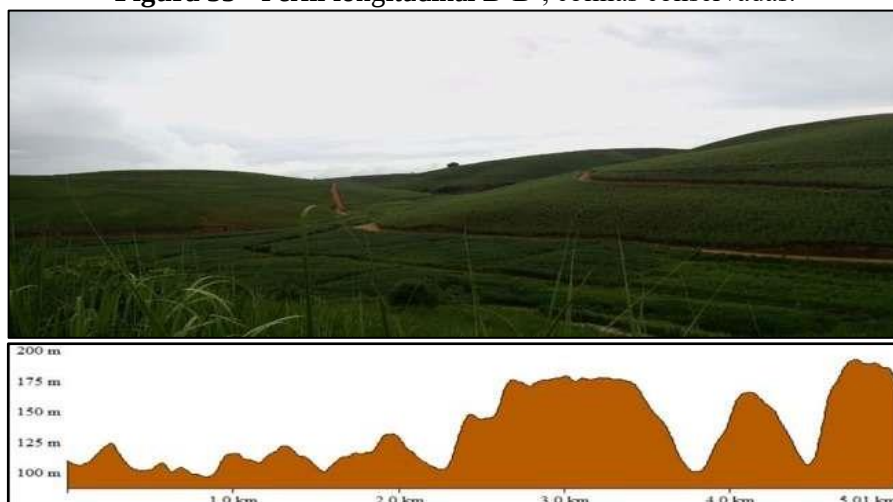
Figura 34 - Perfil longitudinal A-A', crista residual.



Fonte: O autor, 2020.

As colinas foram agrupadas em duas unidades: colinas conservadas e colinas dissecadas. Essa divisão ajudou na melhor compreensão da morfologia do relevo, sendo possível identificar dois níveis de colinas, considerando os aspectos morfométricos, a exemplo da altitude, declividade, forma do topo e dentre outras. As colinas conservadas possuem topos amplos com altitude de 130 a 180 metros (FIGURA 35).

Figura 35 - Perfil longitudinal B-B', colinas conservadas.



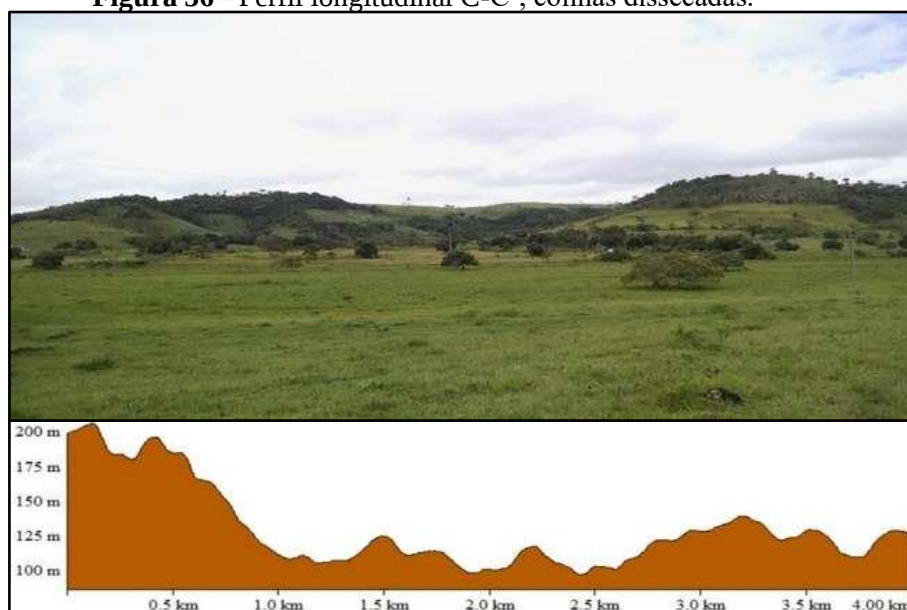
Fonte: O autor, 2020.

As colinas conservadas estão dispostas em quase toda a BHRA (59%), contemplando os municípios de Escada, Ribeirão e Gameleira. Essas colinas são formadas por todas as unidades geológicas existentes na bacia hidrográfica em questão e são o segundo conjunto de relevo mais elevado. As colinas têm uma morfologia de topos extensos, convexos, alongados e uma declividade variando de muito forte a média. Os processos de dissecção são fortes,

principalmente pelo trabalho fluvial, onde encontram-se os vales fechados a abertos, tendo uma distribuição destes do alto até o baixo curso. Destaque-se a concentração dessas colinas na margem esquerda do rio Aripibú.

As colinas dissecadas com altitude de 115 a 130 metros (FIGURA 36), estão concentradas ao noroeste da BHRA e possui 21% da extensão territorial da pesquisa, contemplando os municípios de Primavera e Ribeirão. Estas colinas são constituídas por todas as unidades geológicas da bacia hidrográfica em pauta. Contém uma morfologia de topos convexos, alongados e uma declividade variando de forte a fraca. Estão bastante dissecadas e contém os vales amplos em sua maioria, e se estendem desde o alto até o médio curso da BHRA.

Figura 36 - Perfil longitudinal C-C', colinas dissecadas.



Fonte: O autor, 2020.

Em relação aos vales da BHRA são decorrentes do trabalho do sistema fluvial e encostas. Os vales da BHRA podem ser classificados em abertos e fechados (FIGURA 37 e 38), sendo os primeiros localizados nas zonas das cabeceiras entre as colinas, detendo um perfil em V com forte influência da encosta. Os vales abertos estão localizados após os fechados, e são locais mais dissecados, com as encostas das colinas estando mais distantes tendo, um perfil aberto, com forte intervenção do agente fluvial na sua dinâmica superficial. Nos vales fechados geralmente os sedimentos são levados pelo transporte do escoamento superficial e fluvial.

Figura 37 - Vale aberto.



Fonte: O autor, 2020.

Figura 38 - Vale fechado.



Fonte: O autor, 2020.

O material tem uma maior propensão em ficar depositado nos vales abertos (FIGURA 37), visto estes terem mais espaço de acomodação e baixa energia do fluxo, deixando o vale colmatado de sedimentos pela pouca competência do sistema de transporte. As planícies fluviais (FIGURA 39), estão localizadas no alto e baixo curso da bacia com 12% do território. Essas planícies têm sua estrutura sobre todas as unidades geológicas existentes na BHRA, tendo altitudes variando de 75 a 100 metros.

As planícies da bacia hidrográfica em pauta apresentam uma morfologia plana e extensa, caracterizando uma zona de sedimentação. Os processos são desenvolvidos pelo fluxo dos canais, podendo haver erosão e deposição em áreas próximas. As planícies fluviais do rio Aripibú possuem uma distribuição variando desde o alto até o baixo curso, ressaltando a considerável extensão inclusive próximo às cabeceiras.

Figura 39 - Perfil longitudinal D-D' da planície fluvial.

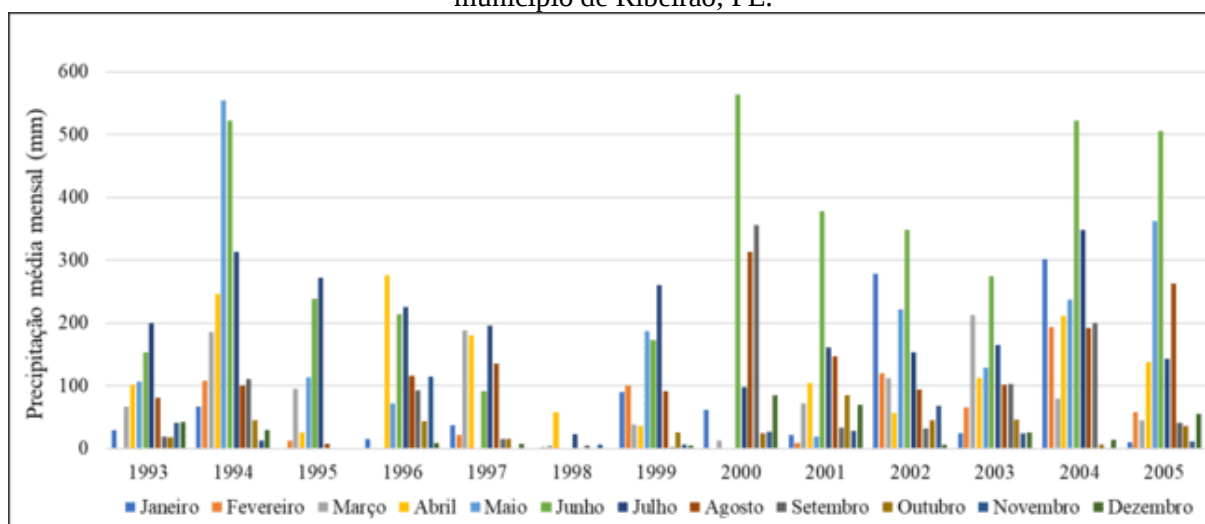


Fonte: O autor, 2020.

5.2.2 Dinâmica climática e classe de solos

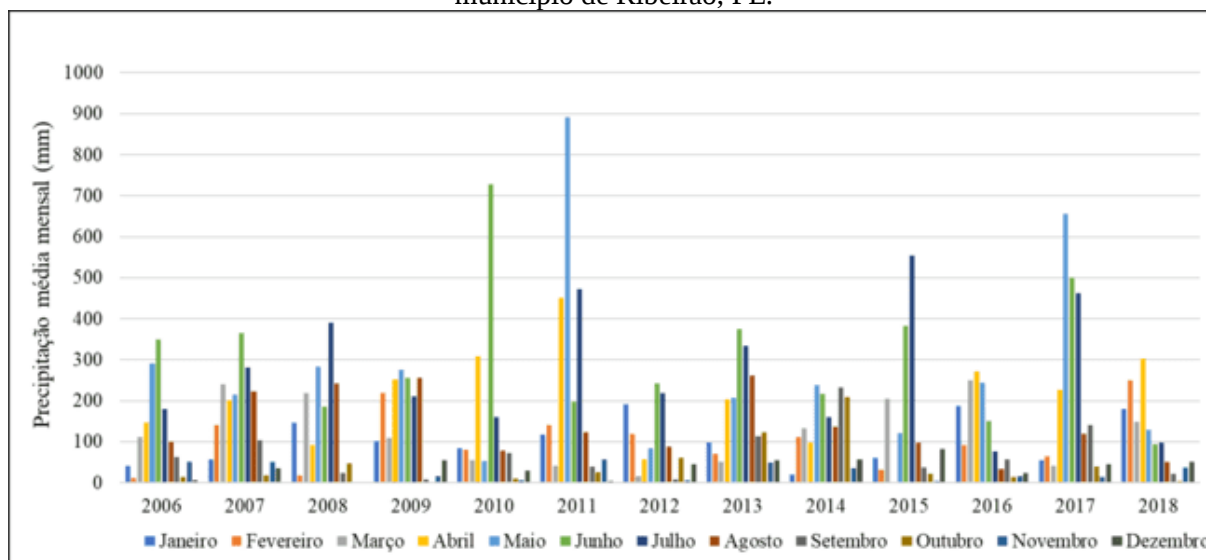
A BHRA encontra-se inserida na sua plenitude em uma das áreas mais chuvosas do estado de Pernambuco, a Microrregião da Mata Meridional. As precipitações ocorrem com maior intensidade e recorrência nos meses de maio, junho e julho, como é evidenciado nos gráficos da média mensal da chuva durante os anos de 1993 a 2005 (FIGURA 40 e 41).

Figura 40 - Gráfico da média mensal da precipitação pluviométrica dos anos de 1993 até 2005 do município de Ribeirão, PE.



Fonte: APAC (2019), adaptado pelo autor (2020).

Figura 41 - Gráfico da média mensal da precipitação pluviométrica dos anos de 2006 até 2018 do município de Ribeirão, PE.



Fonte: APAC (2019), adaptado pelo autor (2020).

O destaque ao longo destes anos é para o mês de junho, caracterizado o mais chuvoso, e os meses de outubro, novembro e dezembro compõe o trimestre menos chuvosos em relação aos demais. Nesse intervalo de tempo de 25 anos de 1993 a 2018 (FIGURA 40 e 41), houve anos de grande precipitação anual, tais como 1994 (2.294,1 mm), 2004 (2.306,7 mm), 2007 (1.931,4 mm), 2011 (2.558,2 mm), 2013 (1.940,1 mm) e 2017 (2.361,2 mm).

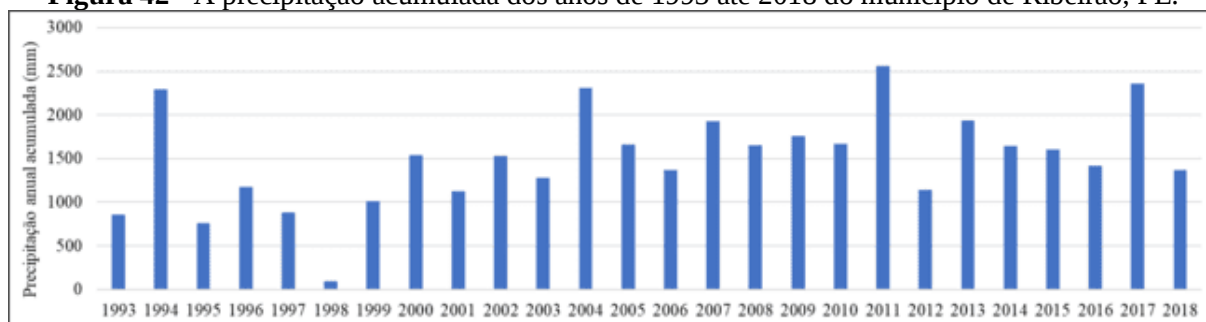
Nessa escala, observa-se a recorrência de anos chuvosos, ocasionando o *input* de intensa energia na BHRA, desenvolvendo com mais intensidade os processos erosivos e de enchentes. A precipitação, mesmo tendo três meses mais chuvosos, detém ao longo do ano uma distribuição boa para os demais meses (FIGURA 40 e 41). Isso significa que a bacia recebe chuva durante todo o período do ano dando uma continuidade nos processos morfodinâmicos, sendo estes mais intensos, logicamente, no trimestre mais chuvosos.

Nesse intervalo houve anos de baixa precipitação anual na bacia Aripibú, com ênfase nos anos de 1993 (858,9 mm), 1995 (761,7 mm), 1997 (885,7 mm) e 1998 (97 mm). Esses ficaram abaixo da cota de 1.000 mm, visto os demais 22 anos ficaram sempre acima desse valor (FIGURA 42), indicando uma bacia com precipitação abundante ao longo dos anos e dos meses.

A BHRA possui um clima tropical quente e úmido com pluviosidade média anual elevada. Os sistemas produtores de precipitação são provenientes do leste, ou seja, as chuvas provêm, majoritariamente, do oceano Atlântico. O mesmo contribui significativamente com calor e umidade para formar ou ampliar os principais sistemas desencadeadores de chuvas. A atual condição climática favorece a constituição da morfogênese pelos processos

morfodinâmicos e a formação da pedogênese no desenvolvimento dos solos. A soberania desses processos vai depender da estabilidade existente na BHRA ao longo do tempo e espaço.

Figura 42 - A precipitação acumulada dos anos de 1993 até 2018 do município de Ribeirão, PE.



Fonte: APAC (2019), adaptado pelo autor (2020).

Em relação às classes de solos da BHRA, de acordo com a Silva *et al.*, (2001), foram encontradas 5 subclasses de solos: Argissolos amarelos, Argissolos vermelho-amarelos, Gleissolos háplicos, Latossolos amarelos e Neossolos flúvicos (FIGURA 43). Tendo a classe Argissolo amarelo uma proporção territorial de 34% da área total da BHRA (TABELA 14), estando localizada desde o alto até o médio curso, principalmente na margem direita do canal principal, e encontra-se sobre todas as unidades geológicas.

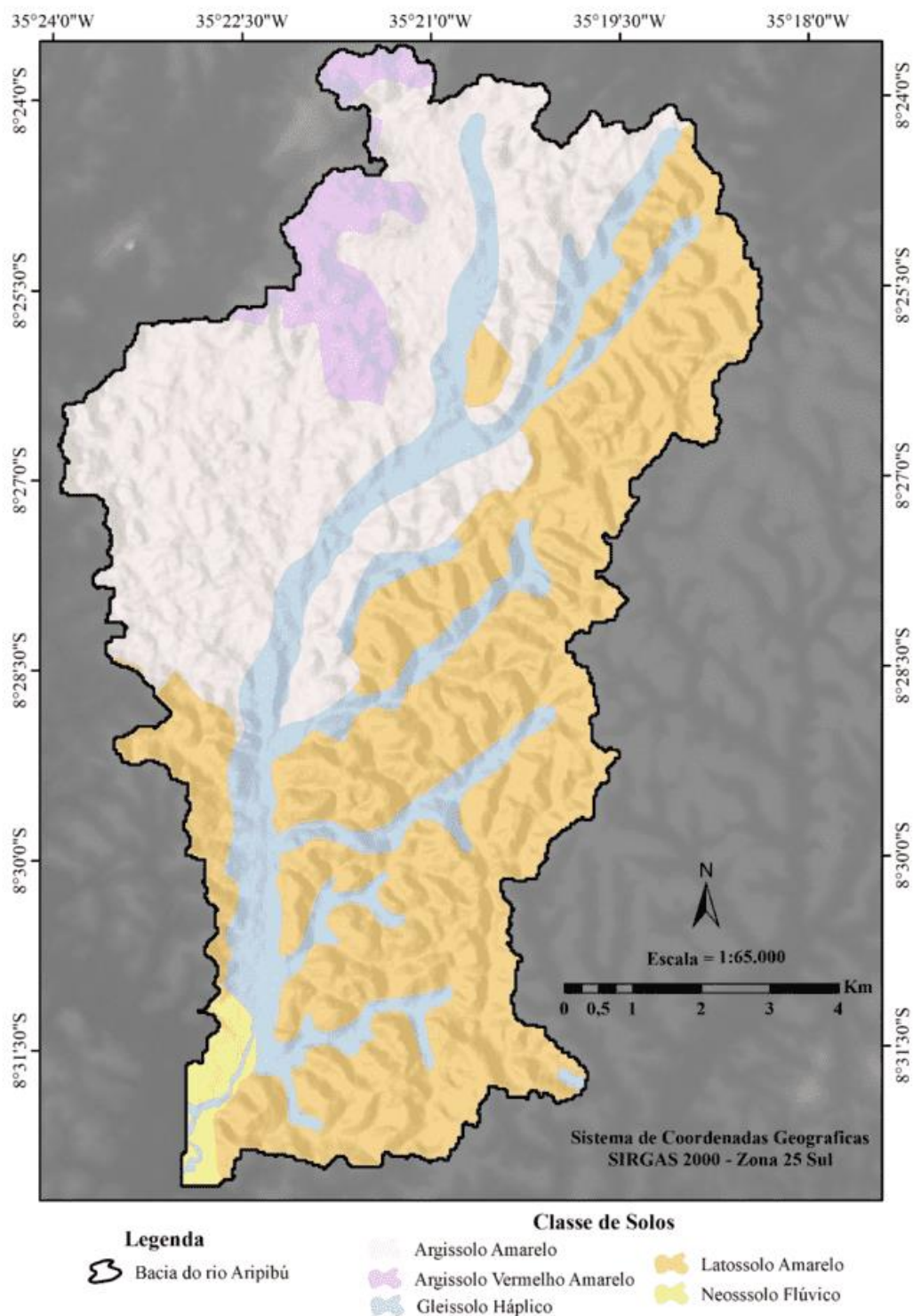
Tabela 14 - As classes de solos da bacia hidrográfica do Aripibú, PE.

Unidades	Área na Bacia (km ²)	Porcentagem
Argissolos amarelos	34	34%
Argissolos vermelho-amarelos	07	07%
Gleissolos háplicos	19	19%
Latossolos amarelos	37	37%
Neossolos flúvicos	03	03%
Total	100	100%

Fonte: O autor, 2020.

De acordo com o recorte de solos utilizado (TABELA 14), os Argissolos amarelos estão sobrescrito, principalmente, pelas unidades geomorfológicas mais dissecadas da BHRA, sendo elas as colinas convexas de topos amplos, vales e planície fluvial. Os Argissolos vermelho-amarelos representam a segunda menor porcentagem na BHRA, com 7% (TABELA 14), essa classe se dispõe ao noroeste. Este tipo de solo encontra-se nos espaços mais altos, inclusive na nascente do rio Aripibú, estando sobre a unidade geológica do Complexo de Belém São Francisco e as colinas convexas de topos estreitos. Os Gleissolos háplicos estão em 19% do território, e por sua característica de desenvolvimento tem sua localização próximo aos canais, e sobrepondo todas as unidades geológicas e as planícies fluviais.

Figura 43: Mapa das classes de solos da bacia hidrográfica do Aripibú, PE.



Os Latossolos amarelos são os solos de maior representação com cerca de 37% (TABELA 14), distribuindo-se por várias partes da BHRA, com destaque para o baixo curso e a margem esquerda do rio Aripibú, onde ocorre a maior predominância desta classe. O embasamento destes solos contempla todas as unidades geológicas e a unidade geomorfológica

das colinas convexas de topos amplos, estando esse tipo de solo no segundo grupo de relevo mais alto da área de pesquisa.

Quanto aos Neossolos flúvicos, recobrem 3% de extensão do espaço estudado, e estão localizados no final do baixo curso, próximo ao exutório do rio Aripibú. Encontrando-se na mesma área da unidade geológica Cabrobó e na geomorfológica da planície fluvial.

5.2.3 Cobertura e uso da terra

Em referência aos tipos de uso e cobertura da terra, estes foram caracterizados em 3 tipos (FIGURA 44): área antrópica não agrícola (área urbana), área antrópica agrícola (cultura temporária e pastagem) e áreas de vegetação natural (área florestal). A área florestal é segmentada e ocupa os espaços das colinas, principalmente as encostas com declividade de muito forte a média. Este uso ocupa cerca de 19% (TABELA 15), sendo pressionado pelos demais usos, com ênfase a monocultura da cana-de-açúcar, visto esta ser o principal uso sobre as colinas. Os núcleos urbanos são vilas com poucas residências e a cidade de Ribeirão, na qual ocorre a maior concentração de pessoas na BHRA. Estes espaços urbanos estão primordialmente sobre a planície fluvial do rio Aripibú e tem pouca representação territorial.

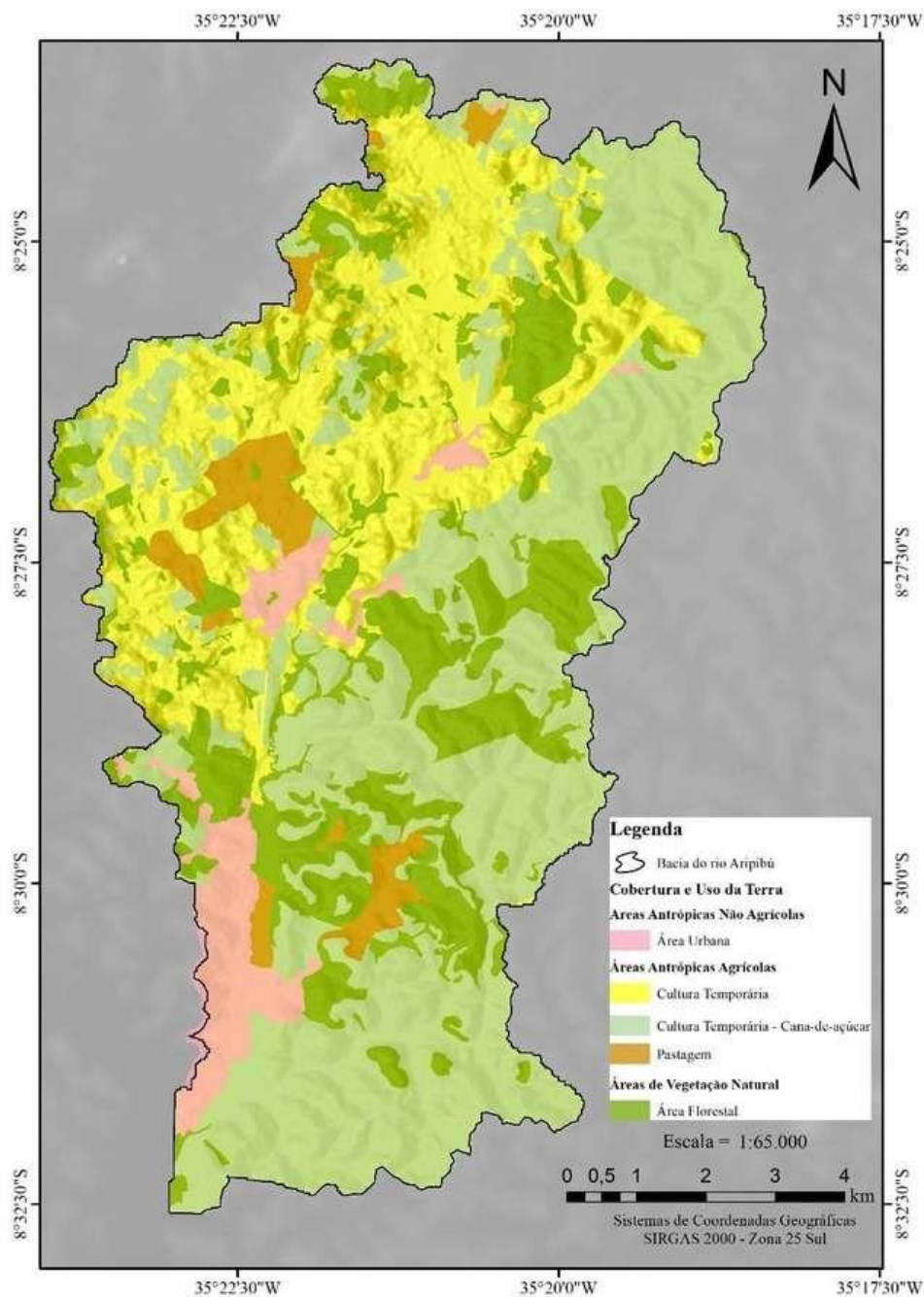
Tabela 15 - Cobertura e uso da terra na bacia do rio Aripibú, PE.

Uso da Terra	Porcentagem
Área florestal	19
Área urbana	06
Cana-de-açúcar	45
Cultura temporária	26
Pastagem	04
Total	100%

Fonte: O autor, 2020.

O cultivo da cana-de-açúcar na BHRA é expressivo (FIGURA 44), essencialmente na margem esquerda do canal principal. Dessa forma, este uso contém a maior extensão territorial da bacia hidrográfica, com 45% (TABELA 15). Por conter uma expressiva representação territorial esse cultivo temporário foi individualizado das demais culturas temporárias. A cana ocupa, sobretudo, a unidade geomorfológica das colinas, com destaque para as colinas convexas de topos amplos.

Figura 44 - Mapa de cobertura e uso da terra na bacia hidrográfica do Aripibú, PE.



Fonte: O autor, 2020.

As culturas temporárias têm a segunda maior proporção territorial da BHRA, com 26% (TABELA 15), estas são os sítios, pequenas propriedades com diversas atividades agropecuárias. Os sítios estão próximo aos canais e usam a terra para cultivar e criar em quantidades, na maioria das vezes, ínfimas. A pastagem seria a pecuária extensiva tanto de gado para corte como produção de leite e derivados. Esta localiza-se mais próxima aos cursos fluviais por terem baixa declividade e facilidade ao recurso hídrico.

6 UNIDADES DE PAISAGEM

As unidades de paisagem são espaços com características análogas em relação os critérios escolhidos para análise, sendo eles de âmbito natural e/ou antrópicos. Essa conjunção das particularidades somadas designam o território das unidades de paisagem, frisando a visão holística destas áreas abarcando vários elementos do ambiente. Ao contemplar vários atributos para designar a delimitação das unidades, tem-se a compressão da paisagem estudada por se ter uma visão sistêmica do todo com as suas partes. Desse modo, na BHRA foram constituídas 4 unidades de paisagem, baseadas nos indicadores: altitude, declividade, geologia, relevo, solos, cobertura e uso da terra.

6.1 CRISTA RESIDUAL COM ÁREAS AGRÍCOLAS

A unidade crista residual com áreas agrícolas possui uma área aproximada de 9 km² (TABELA 16), sendo a segunda menor extensão territorial e contempla os municípios de Ribeirão, Primavera e Escada. A altitude da mesma vai de 117 metros na base até 267 metros no topo, constituindo a unidade mais alta, com declividade variando de média a muito forte. Isso evidencia uma morfologia de relevo pluriconvexo com encostas íngremes e vales profundos e formato em V, ambiente típico do alto curso, no qual se encontra a nascente do rio Aripibú. A drenagem está “encaixada”, contendo um padrão de vale confinado e possui uma relação mais forte dos processos da encosta com o canal, isso corrobora com a unidade ser área fonte dos sedimentos (CHRISTOFOLETTI, 1980).

Tabela 16 - Espaço territorial das unidades de paisagem da bacia hidrográfica do Aripibú.

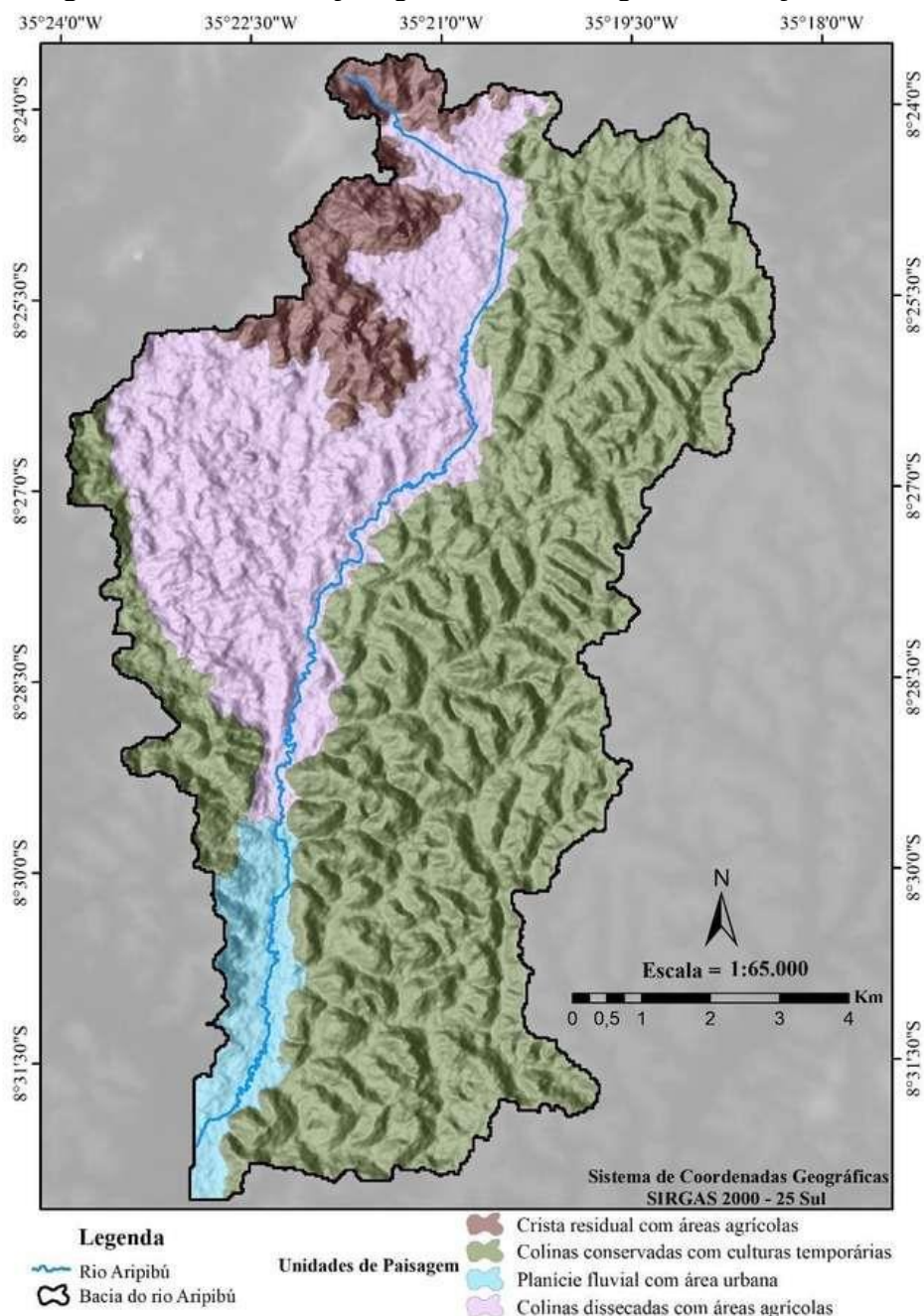
Unidades de paisagem	Porcentagem (%)
Crista residual com áreas agrícolas	09 %
Colinas conservadas com culturas temporárias	58 %
Planície fluvial com área urbana	05 %
Colinas dissecadas com áreas agrícolas	28 %
Total	100%

Fonte: O autor, 2020.

A unidade, crista residual com áreas agrícolas, está inserida no domínio morfoestrutural do Piemonte Meridional da Borborema, circunscrita na unidade geológica no Complexo Belém São Francisco. Este é constituído por uma associação de rochas metamórficas granítica-migmatítica, que apresenta ortognaisses tonalíticos, migmatitos, metadiorito, ortognaisses

granodiorítico e ortognaisses granítico (CPRM, 2001). Essa unidade tem um embasamento geológico com litologia bem resistente aos processos denudacionais da paisagem, isso é evidenciado pôr a mesma ser atualmente o relevo de maior altitude da BHRA.

Figura 45 - Unidades de paisagem da bacia hidrográfica do Aripibú, PE.



Fonte: O autor, 2020.

A geomorfologia dessa unidade possui colinas convexas de topos estreitos, tendo encostas íngremes e vales profundos em V colmatado de sedimentos. Essa morfologia associada a declividade acentuada favorece aos processos erosivos, sendo inclusive uma área fonte de

sedimentos por se tratar da sua localização no alto curso e morfologia convexa das colinas. Por conter rochas cristalinas, tem uma dureza maior ao intemperismo e aos processos erosivos. Todavia, o desnível da altura entre o topo e o canal favorece o desenvolvimento de um escoamento superficial significativo. Pela sua forma convexa, essa unidade tem no topo uma taxa de infiltração intensa, enquanto na encosta o escoamento e transporte de sedimentos em superfície. No domínio fluvial ocorre a sedimentação e, nos momentos de maior energia pluviométrica, o carreamento do material remobilizado.

A dinâmica climática dessa unidade é condizente com a da bacia hidrográfica de forma geral, com a precipitação média acima dos 1.300 mm/ano. Os meses mais chuvosos sendo maio, junho e julho, enquanto os meses mais secos é outubro, novembro e dezembro. Por se tratar de uma área de maior altitude recebe maior umidade dos sistemas climáticos responsáveis pela precipitação, isso é evidenciado na rede de drenagem, na qual possui ampla quantidade de canais, principalmente os de primeira ordem. O conjunto de canais de primeira ordem, presentes na cabeceira de drenagem, no local da nascente do rio Aripibú formando nascentes múltiplas, é um indício forte de um espaço bem abastecido com precipitações pluviais.

A distribuição de chuva ao longo do ano e temperaturas sempre acima de 20 °C, garante condição condizente para um desenvolvimento do manto de intemperismo e constituição de solos. Ou seja, esta unidade tem condições climáticas favoráveis a pedogênese, conferindo a formação dos solos tropicais, especificamente os Argissolos. Nesta unidade existem duas classes de Argissolos os amarelos e os vermelho amarelo, os primeiros estão localizados nas partes mais baixas no final das encostas, já o outro está inserido no topo e média até a alta encosta. Os Argissolos são suscetíveis aos processos erosivos, a princípio pela sua localização está principalmente nas encostas, além da sua característica textural ter distinções de infiltração nos seus horizontes, contendo mais argila na parte inferior/subsuperficial (LEPSCH, 2013).

Nesta unidade os Argissolos vermelho amarelo ocupam a maioria da extensão territorial, estando localizados do topo até a baixa encosta. Esta tipologia de solo, pela sua disposição no relevo, tem maior susceptibilidade à erosão em analogia aos amarelos, os quais se apresentam nessa unidade nas áreas mais baixas. Todavia, mesmo não estando em áreas mais acidentadas os Argissolos amarelos possuem predisposição aos processos denudacionais. A utilização desses dois tipos de Argissolos é bem diversa, sendo empregados para fins de plantio de cana-de-açúcar, sítios com frutíferas (bananeiras, coqueiros, jaqueiras e mangueiras), pastagem para gado e vegetação remanescente.

O uso da terra nessa unidade é diversificado, mesmo nas encostas com declividade muito forte, não existindo um padrão para as utilizações dos espaços. Assim, as atividades

agropecuárias praticadas não têm um lócus preferencial no relevo, podendo, por exemplo, ocupar desde o topo até o leito menor do canal. A cana-de-açúcar e a pecuária extensiva são os dois usos principais, sendo o primeiro relacionado a grande produção com fins industriais, enquanto o segundo são áreas com pastagem para criação, principalmente de bovinos com finalidade de fornecimento de carne. Em termos de localização a cana-de-açúcar fica predominante no topo e encosta, a pecuária é concentrada na encosta e próximo aos canais. A vegetação remanescente é o terceiro uso principal dessa unidade de paisagem, sendo segmentada no espaço, ocorrendo desde o topo até o fundo do vale, estando bem pressionada pelos demais usos da terra.

Nas proximidades do canal ficam os sítios, onde há uma variedade de usos da terra, com destaque para o cultivo de frutíferas, a exemplo da bananeira (FIGURA 46), junto aos locais de acúmulo de umidade. Os Argissolos são solos de muito baixa a média fertilidade natural em nutrientes (ARAÚJO *et al.*, 2000), e possuem uma profundidade variável (EMBRAPA, 2018), portanto de modo geral, são desenvolvidos fisicamente e pobres quimicamente. Mesmo assim, nesta unidade de paisagem são aproveitados, principalmente pelos usos do cultivo monocultor da cana-de-açúcar, pecuária extensiva e a vegetação remanescente. Ocorre nessa unidade o abandono de algumas áreas para fins de recuperação do solo para no futuro serem aproveitadas novamente, frisando a não utilização de técnicas apenas para a regeneração natural da vegetação.

Figura 46 – Uso da terra pela vegetação natural e plantação de banana próximo a nascente do rio Aripibú.



Fonte: O autor, 2020.

Em relação à cana-de-açúcar temos a utilização de técnicas de manejo para os Argissolos, a exemplo da adubação e irrigação, para poder usufruir do mesmo para a produção. A pecuária, através da escolha da pastagem, ameniza os entraves desta classe de solo. Todavia,

se faz o uso de grandes áreas para compensar o tempo de regeneração natural do pasto, porque não é habitual a intervenção de técnicas para melhoria do mesmo. Nesse sentido, a pecuária realiza um rodízio dos pastos para diminuir os impactos da pastagem e no solo.

A vegetação natural, através da sua própria reciclagem dos seus galhos e folhas, deixa os Argissolos mais férteis, principalmente nos horizontes mais superficiais, dando condições de ter uma vegetação de grande porte associada aos Argissolos (FIGURA 46). Esses espaços com vegetação natural nesta unidade são primordiais por protegerem o conjunto de canais da nascente do rio Aripibú.

A figura 46 evidencia a vegetação exuberante na parte inferior da imagem, ocupando toda a encosta onde se tem fontes de água. No lado direito (FIGURA 46), tem-se uma área em recuperação, com a presença da Embaúba (*Cecropia angustifolia*), espécie pioneira na regeneração da vegetação. Nas proximidades do canal tem-se plantações de bananeiras, visto esta espécie se adaptar melhor em locais com água próximo, motivo esse do seu plantio no fundo dos vales. O fundo do vale é colmatado de sedimentos advindos da encosta nos momentos de precipitação; o desmatamento e o cultivo das bananeiras deixam muitos espaços sem proteção contra a chuva. Isso acelera os processos erosivos laminares, os quais intensificam o transporte do material remobilizado para os canais deixando, este colmatado de sedimentos.

Os processos erosivos desenvolvidos nesta unidade acontecem, principalmente, nos momentos chuvosos, com ênfase nos meses de maior precipitação. A declividade dessa unidade favorece a erosão pela altura entre o topo e o canal, além da sua classificação ser de média a muito forte. Estes dois elementos são significativos para o desenvolver a denudação e os solos do tipo Argissolos são profundos e com horizontes com texturas bem nítidos.

A vegetação de porte arbóreo e densa minimiza a susceptibilidade dos fatores da precipitação, declividade e solos. A proteção da cobertura vegetal suaviza os impactos da chuva no solo desnudo, levando a água escorrer de maneira lenta pelo solo aumentando assim a infiltração e diminuindo o fluxo do escoamento superficial, mesmo com declividades acentuadas.

A pecuária extensiva praticada nessa unidade atenua a erosão quando a pastagem não está muito baixa, pois os solos ficam protegidos pelas folhas e raízes do pasto. Ou seja, a vegetação exótica recobre o solo, amenizando o efeito de salpicamento das gotas da chuva, e o sistema radicular da pastagem deixa o solo agregado, amenizando a erosão. O manejo errado do pasto faz o capim diminuir e deixar espaço entre uma planta e outra, contribuindo na constituição intensa dos processos além da água chegar mais rápido ao solo. O pisoteio do gado no solo leva compactação deste dificultando a infiltração e favorecendo o escoamento

superficial. Além do pisoteio do gado nas encostas levar a morte do pasto e formar “caminhos” que favorecem o escoamento superficial e os processos erosivos. Por conseguinte, esse uso da terra é mais vulnerável a denudação em relação à vegetação natural para esta unidade de paisagem.

Já o cultivo da cana-de-açúcar é o uso de maior potencial para processos erosivos, principalmente os lineares. A cana-de-açúcar quando está numa fase que recobre os solos por completo, funciona melhor que a pastagem na proteção contra o *splash*, fazendo a água da chuva chegar ao chão mais lento. Todavia, após o período da colheita o solo fica totalmente desprovido de proteção, sendo que o momento mais chuvoso para a BHRA coincide com o final da colheita (outono-inverno). Isso agrava a situação dos processos erosivos, pois nas primeiras chuvas ocorrer uma erosão intensa, primeiramente laminar e em seguida linear.

Outra prática errônea é a queimada antes da colheita da cana, pois essa mata os micro-organismos do solo, os quais são imprescindíveis a fertilidade e agregação do mesmo. A queima da palha após a colheita traz o mesmo malefício abordado acima, além de deixar desprotegido o solo contra as chuvas. O corte das colinas em 90 ° para a construção de estradas a fim de ter acessibilidade a plantação favorece aos processos erosivos na base do talude de corte, dando desenvolvimento a erosão na base e indo de maneira remontante ao topo da colina. Na própria estrada ocorre os processos erosivos por ser solo desnudo, com declividade considerável fazendo o fluxo ganhar velocidade e poder de remobilização. Sendo comum o aparecimento de ravinas nas estradas, a montante e jusante da mesma ter processos erosivos pelo desnível, formando um degrau de 90 ° na encosta da colina.

O cultivo da cana-de-açúcar é o principal desencadeador de feições erosivas lineares do tipo ravinas e voçorocas na unidade de Colinas de topos estreitos e usos diversos. As ações de atenuação e erradicação dos processos erosivos laminares e lineares verificados foram: a não retirada da palha seca da cana após o corte, inclinação da estrada no sentido do talude de corte, aterrar as ravinas e voçorocas e a plantação de capim-vetiver (*Vetiveria zizanioides*).

Estas medidas são comuns em toda a BHRA, onde o uso da terra é direcionado ao cultivo monocultor da cana-de-açúcar. Além dos processos de erosão, ocorre nessa unidade de paisagem os movimentos de massa, especificamente os deslizamentos translacionais provenientes principalmente do corte das colinas pela atividade da cana-de-açúcar, processos estes que não são objeto desta pesquisa.

6.2 COLINAS CONSERVADAS COM CULTURAS TEMPORÁRIAS

A segunda unidade de paisagem são as Colinas conservadas com culturas temporárias (FIGURA 45), esta possui uma extensão aproximada de 58 km², a qual tem a maior área territorial e contempla os municípios de Escada e Ribeirão. Esta unidade é dividida em duas partes: uma na margem esquerda do canal principal, com a maior proporção do território abarcando os dois municípios, ocupando quase por completo todo o interflúvio esquerdo, indo do alto até o baixo curso, em uma direção norte-sul. A outra parte dessa unidade é menor e está localizada na margem direita, estando distribuída do médio ao baixo curso, situada no divisor da BHRA.

A altitude desta unidade vai de 76 na base até 200 metros no topo, compondo a segunda mais alta da BHRA, que possui declividade variando de fraca a muito forte. As maiores declividades são encontradas nas encostas das colinas, e as demais estão no topo e fundo do vale, próximo ao canal.

Em relação a morfologia se tem um relevo pluriconvexo de topos amplos com encostas íngremes e vales profundos em formato em V próximo às cabeceiras dos canais de primeira ordem e vales mais abertos nos rios maiores. Por se encontrar disposta do alto ao baixo curso e ter a segunda maior altitude, contém muitos canais, tendo drenagens compostas por rios desde a 1ª até a 4ª ordem. Isso significa que essa unidade é bem drenada em termos quantitativos de rios, sendo os de menor ordem mais próximo às colinas e nos vales confinados, enquanto os de maior ordem são o oposto, com vales mais abertos e distantes das colinas.

A colinas conservadas com culturas temporárias, mesmo tendo uma boa quantidade de canais, a drenagem no seu padrão de energia, em termos de volume de fluxo, não consegue levar grande parte do material intemperizado que é disposto na paisagem. Assim, os vales ficam colmatados de sedimentos pela baixa capacidade de transporte do sistema fluvial. Nos momentos de maior precipitação o *input* é maior, ocasionando mais força ao fluxo para carrear os materiais depositados no fundo dos vales, mesmo isso acontecendo de maneira esporádica e com alta intensidade. A relação encosta canal é mais intensa nos locais onde os vales têm um formato em V e são fechados, visto os abertos terem mais espaço de acomodação até a margem do rio. Mesmo assim, essa unidade é uma área fonte de sedimentos da BHRA.

A mesma unidade está inserida no domínio morfoestrutural do Piemonte Meridional da Borborema, tendo todas as unidades geológicas que compõe a BHRA. O Complexo Belém de São Francisco assemelha-se com a unidade anteriormente explanada, já a Suíte Intrusiva Itaporanga fica localizada no norte da BHRA e da parte da unidade que está a margem esquerda

do rio principal. Esta unidade geológica é constituída por rochas ígneas plutônica, sendo elas: diorito, granito, granodiorito, monzonito (CPRM, 2001), tendo textura porfirítica, isto é, com cristais maiores.

A outra unidade é a Suíte Intrusiva sem denominação ou Suíte Intrusiva leucocrática peraluminosa, localizada em duas partes separadas na bacia. Esta é constituída por rochas ígnea e metamórfica, sendo metagranitóide e leucogranito (CPRM, 2001), sendo com textura fanerítica, isto é, os minerais têm granulação grossa e são visíveis macroscopicamente. Por fim, o Complexo Cabrobó constituído por rocha metamórfica do tipo quartzito feldspático e metarcóseo (CPRM, 2001). O mesmo está circunscrito no baixo curso da bacia e possui igual as demais unidades geológicas apresentadas um grau de resistência salutar a erosão, visto todas serem construídas por rochas ígneas e/ou metamórficas, ou seja, rochas com graus de dureza alto.

A geomorfologia dessa unidade é composta por 2 das 4 unidades de relevo existentes na BHRA, sendo elas: Colinas conservadas e Planícies fluviais. A primeira corresponde o relevo de maior expressão territorial da bacia hidrográfica em pauta e dessa unidade de paisagem. As colinas possuem uma morfologia convexa e uma altitude chegando aos 200 metros, com topos extensos e encostas com declividade acentuada. Esta morfologia favorece aos processos denudacionais como erosão e deslizamentos, sendo isso um processo morfogenético natural a esta forma de relevo de colinas. Por conter uma diferença significativa de altura entre o topo e a base estas colinas possuem uma rampa expressiva para o fluxo ganhar velocidade e ocasionar uma erosão remontante pelos canais de primeira ordem, além de desenvolver muitas cabeceiras de drenagem. Logo, esse processo ao longo do tempo suaviza e individualiza as colinas.

Os vales fechados, na sua maioria, possuem um perfil transversal em formato de V, com encostas de declividade proeminente, estão próximos à encosta das colinas. Estes vales possuem uma relação direta do material remobilizado da encosta e o canal de primeira ordem no fundo do vale. Os mesmos possuem uma forte deposição, sendo áreas fontes de sedimentos e são levados em maior proporção quando ocorre precipitações recorrentes ou de intensidade alta. Os vales abertos possuem os canais de 2ª ordem, têm um perfil mais amplo com certa distância das colinas. Tais canais recebem através dos vários canais menores o fluxo carregado de sedimentos, ficando estes colmatados podendo ocorrer da drenagem meandrar nestes por não ter competência para evacuar os sedimentos.

Por fim, as Planícies fluviais, com uma largura transversal maior e possuindo canais de ordem maior na unidade. As planícies têm um espaço de acomodação maior e são mais baixas,

assim possuem uma predisposição a sedimentação. Nelas o processo de transporte e sedimentação é mais significativo se comparados aos erosionais, além de sofrerem com enchentes e inundações nos momentos de maior vazão. Nesta a declividade seria plana a muito franca, por se tratar de uma área sem grande desnível topográfico se análoga aos vales e colinas.

A dinâmica climática dessa unidade é semelhante à unidade de crista residual, mesmo tendo uma diferença de altimétrica, a precipitação não difere. Deste modo, os meses secos e chuvosos, a distribuição das chuvas e os sistemas produtores de tempo são idênticos. Contudo, por esta unidade ser a maior em km², e conter uma representação espacial no sentido norte-sul, e os sistemas produtores de chuvas serem provenientes da direção leste, as precipitações chegam primeiro nesta unidade. Esta precipitação favorece o desenvolvimento de muitos canais desde os de 1ª a 4ª, dispostos nesta unidade.

A quantidade e distribuição das chuvas, associada ao embasamento geológico desta unidade, favorece o desenvolvimento de Latossolos amarelos, Argissolos amarelos e Gleissolos háplicos. Os Latossolos são a classe mais abundante na BHRA, e nesta unidade de paisagem. Estes, de modo geral, possuem estrutura granular pequena de média a fina, sendo macios quando secos e friáveis quando úmidos, ou seja, apresentam grande permeabilidade (EMBRAPA, 2018). Os Latossolos são muitos intemperizados e pobres em nutrientes, neste sentido, a cobertura vegetal é primordial para a proteção do mesmo. Práticas antrópicas errôneas, a exemplo de queimadas e pisoteio do gado, pode desenvolver processos erosivos e movimentos de massa.

Os Latossolos amarelos são solos profundos a muito profundos, sendo bem drenados, tendo a predominância de textura argilosa a muito argilosa e baixa fertilidade natural (EMBRAPA, 2018). Na unidade, colinas convexas de topo largos com culturas temporárias, os Latossolos amarelos estão dispostos, de modo geral, na parte do topo e encostas das colinas. Nas encostas, por ter maior declividade, a susceptibilidade a denudação é mais proeminente, em relação ao topo, o qual é plano.

Os Argissolos são dispostos em colinas mais próximo ao canal principal, suas particularidades condizem com o observado na unidade analisada anteriormente. Os Gleissolos háplicos são solos hidromórficos, por se encontrarem localizados próximo aos canais e serem compostos por sedimentos recentes e não agregados (EMBRAPA, 2018). Estes solos são mal drenados e possuem cor cinza proveniente do ambiente de oxirredução, logo são de baixo potencial agropecuário por sofrerem com as variações do lençol freático, sofrendo recorrentes inundações ou alagamentos. Na unidade em questão, a localização dos Gleissolos háplicos corresponde as áreas circunvizinhas a drenagem no fundo dos vales. Os processos nos gleissolos

háplicos são as inundações e/ou alagamentos pela sua posição na paisagem, ou seja, esses solos ficam nas áreas mais baixas do relevo e sofrem deposição do material ou transporte pelos canais. O uso da terra destes solos está vinculado a sazonalidade da água, nesta unidade os principais usos são: pecuária extensiva (bovinos e bufalinos), cana-de-açúcar e culturas de subsistência.

O principal uso da terra nesta unidade é o cultivo da cana-de-açúcar. Todavia, este não é único ocorrendo encontram-se área florestal, pecuária e pequenas vilas. A cana ocupa a maior extensão territorial desta unidade, estando localizada desde o topo até a proximidade com a drenagem, não existindo restrição ao cultivo. Esta cultura adapta técnicas para cada segmento da paisagem, onde vai se desenvolver, tais como no topo com irrigação e adubação, na encosta existe preocupação com a declividade e processos morfodinâmicos (erosão e movimentos de massa). No fundo do vale o cultivo da cana próximo aos córregos se utilizaria a correção do solo e drenagem (FIGURA 47), por serem áreas com maior presença da água.

Figura 47 - Drenagem da terra para o plantio de cana-de-açúcar próximo aos canais.



Fonte: O autor, 2020.

As áreas com floresta são núcleos de vegetação remanescente, os mesmos estão isolados um dos outros, e ficam circunscritos principalmente no topo e encostas das colinas. A existência destas está vinculada a área de preservação obrigatória, isto é, o território pertence a um proprietário e este deve deixar na sua propriedade uma reserva legal para fins de proteção permanente. As leis no 12.651 e 12.727 de 2012 (BRASIL, 2012), dispõem sobre as normativas de espaço a serem reservados a preservação permanentemente. Entretanto, ocorre que muitas áreas de vegetação nativa serem desmatadas no período das queimadas, quando acontece as colheitas, e são deixadas para se recuperarem ao longo dos anos. Isso acontece do topo até o fundo do vale, sendo as áreas queimadas utilizadas para usos diversos pela população.

A pecuária é praticada na maior parte do espaço não ocupado pela cana-de-açúcar, principalmente próximo aos canais por terem áreas mais planas e recursos hídricos. Existe uma

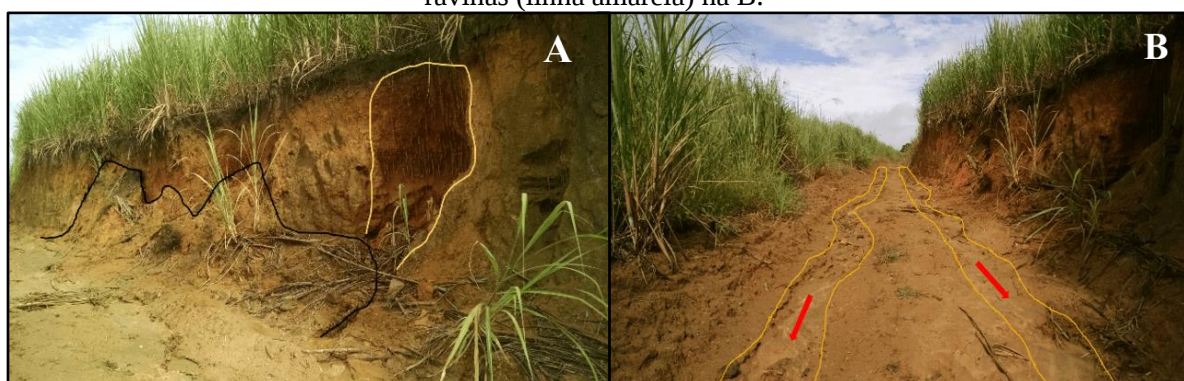
maior proporção de bovinos em relação aos bufalinos, com os primeiros ocupando as colinas e fundo dos vales, enquanto os segundos só nas proximidades aos canais.

Os núcleos urbanos localizados dentro dessa unidade de paisagem são as vilas e uma parte da cidade de Ribeirão, as primeiras são um agrupamento pequeno de casas relacionadas a atividade de cana-de-açúcar e pecuária extensiva. Estas praticam usos diversos para o território em uma escala temporal e espacial menor, como agropecuária de subsistência. A área mais urbana seria a parte da cidade de Ribeirão na margem esquerda do rio Aripibú, com estrutura de um núcleo urbano e não rural.

Os processos superficiais da paisagem encontrados nesta unidade são: deslizamento translacional, inundações, erosão laminar e linear. Estes ocorrem desenvolvimento no período chuvoso por se ter mais energia entrando no sistema da BHRA. Em relação ao relevo, os deslizamentos e a erosão ocorrem mais nas colinas, especificamente nas encostas destas, enquanto as inundações nas áreas do fundo dos vales próximo aos canais. Os Argissolos e Latossolos são solos com predisposição aos processos de deslizamentos e erosões, enquanto, as inundações estão associadas aos Gleissolos háplicos. Verificou-se que nas áreas de domínio da vegetação natural, mesmo com declividades acentuadas nas encostas e solos mais susceptíveis a erosão ocorre de forma lenta e laminar, e os deslizamentos não ocorrem com frequência.

Com o uso da terra pela cana-de-açúcar ocorre o contrário, pois verifica-se a presença de processos denudacionais provenientes de uma utilização errônea do terreno por este cultivo, como observado em trabalho de campo. O corte das encostas das colinas para construção de estradas de acesso às áreas da lavoura é o principal desencadeador dos processos erosivos, visto o que os cortes 90 graus facilita a desestabilização da encosta acima da incisão, levando a ocorrência de deslizamentos translacionais e erosão linear (FIGURA 48 A).

Figura 48 - Em uma estrada na encosta da colina encontra-se erosão remontante com alcova de regressão (linha amarela) e deslizamento translacional (linha preta) na imagem A e formação de ravinas (linha amarela) na B.



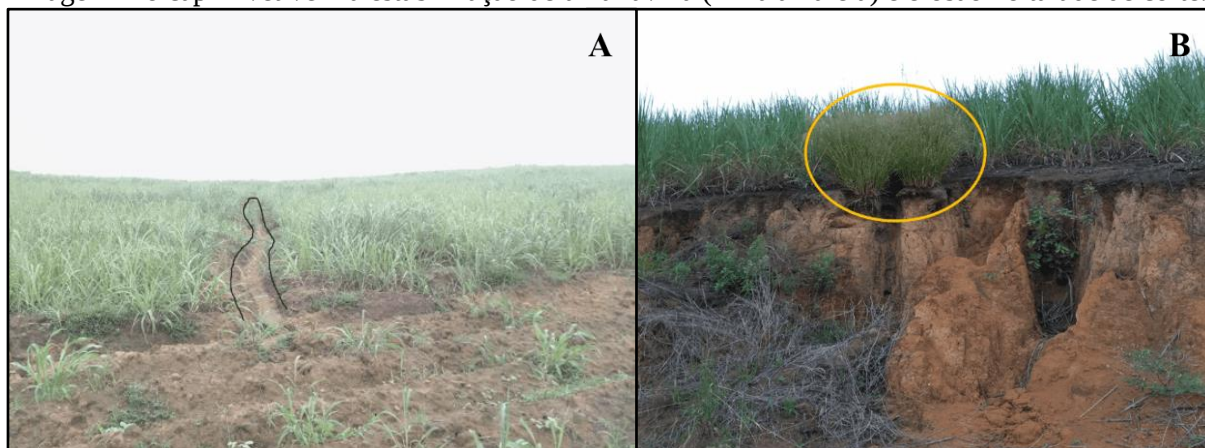
Fonte: O autor, 2020.

Além destes processos, o escoamento superficial percorrido nas estradas produz erosão laminar, canalização do fluxo e formação de ravinas (FIGURA 48 B) e voçorocas, tanto nas estradas como na encosta acima e abaixo da mesma. No sopé do corte ocorre a canalização do fluxo e acontece erosão remontante e deslizamentos pela retirada do sedimento da base da incisão.

As maneiras evidenciadas para amenizar esses processos são o encobrimento das incisões nas estradas, ou seja, através de reformas tanto no talude como na própria estrada, para sanar os processos no período menos chuvoso do ano. Entretanto, frisa-se que estas medidas não são duradouras, pois assim que as precipitações são retomadas no outono-inverno, a dinâmica processual de aceleração de tais processos é retomada.

Outro *input* de processo erosivo acontece quando a cana-de-açúcar é colhida e o solo fica exposto (a partir de setembro até março – primavera-verão austral), quando a canalização do fluxo superficial leva a constituição de incisões de erosão linear (FIGURA 49 A). Esta conjuntura é sanada através do aterramento do corte e/ou plantação do Capim-vetiver nas margens da incisão (FIGURA 49 B), para fixar os sedimentos e barrar o desenvolvimento da erosão através do suporte mecânico decorrente do sistema radicular da vegetação plantada.

Figura 49 - Na imagem A tem uma ravina ocasionada momento após a safra (linha preta) e na imagem B o capim vetiver na estabilização de uma ravina (linha amarela) e erosão no talude de corte.



Fonte: O autor, 2020.

Os sedimentos dispostos a serem carregados são transportados para a drenagem (FIGURA 50), na qual é colmatada, deixando os fundos dos vales cheios de material incoeso, acrescentando, por conseguinte, sedimentos aos canais. Este processo acentua outro: as inundações, tornando-as mais significativas em áreas atingidas pelas águas nos momentos chuvosos. Isso ocasiona problemas a população ribeirinha por destruir os espaços aproveitados

como, por exemplo, moradias e outras construções localizadas na planície de inundação dos rios. Os demais usos da terra têm os processos superficiais da paisagem semelhantes a outra unidade explanada anteriormente.

Figura 50 - A erosão desenvolvida nas estradas produz muitos sedimentos, os quais são transportados para os canais.



Fonte: O autor, 2020.

6.3 PLANÍCIE FLUVIAL COM ÁREA URBANA

A unidade Planície fluvial com área urbana (FIGURA 45), encontra-se localizada no baixo curso, especificamente na foz do rio Aripibú. A mesma tem a menor área territorial das unidades de paisagem da bacia, apenas 5% do território, e contempla, apenas, o município de Ribeirão. Em relação à altitude, essa unidade é a mais baixa da BHRA por estar localizada nas áreas próximas ao canal principal possui declividade variando de plana a fraca, refletindo uma morfologia de relevo plano, típico de ambiente de deposição, tendo as colinas mais afastadas, vale amplo com perfil transversal mais aberto. A drenagem possui mais volume de água, entretanto, menos energia no fluxo, ocasionando a ocorrência de meandros. Neste contexto, temos um padrão de vale lateralmente não confinado com uma relação encosta canal fraca, e um ambiente de forte influência das inundações e deposição.

A unidade está inserida no domínio morfoestrutural do Piemonte Meridional da Borborema, circunscrita na unidade geológica no Complexo Cabrobó, sendo este constituído por rocha metamórfica do tipo quartzito feldspático e metarcóseo (CPRM, 2001). Essa unidade possui o embasamento geológico com litologia bem resistente, mesmo a área sendo de baixa altitude, significando que outros elementos atuaram para a mesma ter essa configuração

morfológica atual. O relevo dessa unidade é formado pela planície fluvial, com encostas longínquas mais íngremes e contém um vale amplo e colmatado. Essa organização espacial favorece os processos de deposição e infiltração, contendo assim um ambiente de baixa energia, característico ao baixo curso.

A dinâmica climática desta unidade é equivalente aos das outras unidades já tratadas, com precipitação média anual alta e chuvas concentradas no outono-inverno. O período chuvoso e seco são os mesmos das unidades anteriormente abordadas e, por se tratar de um vale amplo, servi de corredor de umidade proveniente dos sistemas produtores de tempo atuantes na bacia.

A drenagem desta unidade possui maior vazão, por receber toda influência dos demais canais ao longo da BHRA, contendo canais de 1ª e 2ª ordens, além do canal principal da BHRA. Esta configuração de precipitação abundante, chuvas, concentradas em seis meses (outono-inverno), temperaturas altas, grande deposição de sedimentos e inundações frequentes no período chuvoso, favorece a formação dos Gleissolos háplicos e Neossolos flúvicos.

Os Gleissolos háplicos estão próximos aos canais e distribuídos uniformemente por quase toda a unidade. Nesse contexto, a variação do nível do lençol freático e a chegada de sedimentos incoesos são condicionantes ao desenvolvimento destes solos. Os Neossolos flúvicos possuem apenas 3% da extensão territorial da BHRA, e estão localizados próximo à foz do rio Aripibú. Esta classe de solos é caracterizada por terem minerais não hidromórficos, originários de sedimentos aluviais recentes e baixo desenvolvimento pedogenético (EMBRAPA, 2018). A sua distribuição nesta unidade está nas áreas de várzeas e associados aos Gleissolos háplicos, com restrições relacionadas a inundação e demasiada umidade pela maior proximidade do lençol freático.

O uso da terra nesta unidade é na sua maioria, por áreas urbanizadas e o cultivo da cana-de-açúcar, ocorrendo outras atividades de menor proporção, a exemplo da pecuária. A maioria da extensão desta unidade está sendo utilizada pela população da cidade de Ribeirão, ou seja, a planície é ocupada pela urbanização, principalmente na margem direita do rio Aripibú. Por se tratar de uma área plana, o interesse em usar a mesma é saliente, tendo então grande presença de construções na planície fluvial. O segundo uso está relacionado a cana-de-açúcar, que ocupa quase por completo a margem esquerda do canal principal e vai até à foz. O cultivo vai da proximidade do canal até as colinas de topos amplos e encostas íngremes. A pecuária ocupa as áreas a montante da cidade de Ribeirão, nas duas margens do rio Aripibú, sendo esta atividade praticada da encosta até a margem do canal.

Os processos superficiais da paisagem, encontrados nesta unidade são: erosão laminar e linear, e inundações. A erosão acontece a partir do uso da cana-de-açúcar e da pecuária extensiva, ocorrendo em ambos os casos no período das chuvas. Na área de plantio da cana-de-açúcar a erosão laminar ocorre após a colheita (outono-inverno), quando o solo fica exposto às gotas de chuva, e mesmo não tendo uma declividade elevada, por se tratar de uma planície, existe uma pequena diferença altimétrica capaz de gerar canalização e erosão linear. Na pecuária o processo de erosão está mais para o laminar, pela pastagem amenizar os processos erosivos geradores de feições lineares. Todavia, o pisoteio excessivo do gado pode facilitar a erosão pela compactação do solo e destruição do pasto. Isso leva o solo exposto a promover canalização do fluxo e incisões lineares menores, tipo ravinas.

Os processos de erosão desenvolvidos na cana-de-açúcar são sanados pelo recobrimento das incisões e aplicação do Capim-vetiver, visto a perda de solo aos canavieiros não serem interessantes por prejudicarem a produtividade. Enquanto na pecuária as medidas corretivas não são visualizadas, deixando a área se recompor naturalmente, podendo o reequilíbrio demorar a ocorrer e ocasionar muita perda de solo.

Quanto aos processos inerentes a esta unidade, estes são o escoamento superficial, enchentes e inundações. O escoamento superficial é predominante na área da cidade de Ribeirão, onde no período chuvoso a precipitação junta-se com a água servida das estruturas urbanas e eleva o nível do rio Aripibú, ocasionando enchentes e/ou inundações. Isso acontece pela impermeabilização do solo e direcionamento da água pluvial e esgoto para o canal principal, sendo este o nível de base local.

A ausência de mata ciliar (FIGURA 51) nesta unidade é outro agravante aos processos de enchentes e/ou inundações, pois tanto a cana-de-açúcar, a atividade pecuária e a urbanização desmatam a vegetação natural, que poderia atenuar os processos em questão.

Figura 51 - Ausência de mata ciliar e assoreamento do canal com presença de barras longitudinais.



Fonte: O autor, 2020.

A estabilização da margem, a eficiência da infiltração, a atenuação do assoreamento são exemplos diretos que a ação positiva da presença da vegetação ciliar para as margens fluviais e interflúvios. As inundações causam sérios problemas a população residente da planície de inundação do rio Aripibú. A área plana nas margens do canal favorece a ocupação dos municípios, todavia o local tem uma susceptibilidade alta a desastres provenientes do extravasamento do canal.

O rio Aripibú, nas proximidades com a sua foz, teve uma retificação e aprofundamento do canal para melhorar o escoamento deste, no período chuvoso. Todavia, esta ação não foi bem-sucedida, pois o assoreamento continuou, a população joga lixo e utiliza material tecnogênico para construir suas residências mais altas (FIGURA 52), para evitar os problemas ocasionados pelas inundações no período chuvoso. Assim, os processos naturais de enchentes e inundações tornaram-se desastres por provocarem danos a população residente as margens do rio Aripibú, faltando um melhor planejamento e gerenciamento territorial e ambiental do espaço com susceptibilidade ao perigo ambiental.

Figura 52 - Edificação de residências junto ao canal principal, ausência de vegetação ciliar e assoreamento do canal com presença de barras longitudinais.



Fonte: O autor, 2020.

6.4 COLINAS DISSECADAS COM ÁREAS AGRÍCOLAS

Essa unidade possui uma área de 28 km², a mesma tem a segunda extensão territorial da BHRA e engloba os municípios de Amaraji, Escada e Ribeirão, possuindo sua distribuição em grande parte na margem direita do rio Aripibú. Localiza-se do alto até o baixo curso do canal

principal, tendo sua maior concentração no médio curso. A altitude desta varia de 76 metros nas partes baixas e 153 metros nas mais altas, compondo a terceira unidade mais alta da BHRA. A declividade da mesma fica entre plana a forte, as maiores inclinações estão dispostas nas encostas das colinas e as mais suaves ficam nas proximidades das drenagens.

A unidade de paisagem possui uma boa quantidade de canais, a drenagem nos canais de menor ordem tem pouca vazão e não consegue levar grande parte do material intemperizado, e os canais de maior ordem conseguem carrear mais sedimentos. A área da unidade está inserida no domínio morfoestrutural do Piemonte Meridional da Borborema, contendo às quatro unidades geológicas da BHRA, sendo elas: Complexo Belém de São Francisco, Complexo Cabrobó, Suíte Intrusiva sem denominação e Suíte Intrusiva de Itaporanga. O sistema geológico analisado nas três últimas unidades de paisagem corresponde a esta unidade.

Sobre a morfologia, temos o relevo composto de colinas convexas de topos amplos, contendo vales fechados e abertos, e extensas planícies fluviais. As colinas possuem uma altura menor, em analogia a outras existentes na BHRA, e formato pluriconvexo com muitas individualizações e perfil mais arredondado. Os vales fechados estão localizados próximo às colinas mais altas e possuem um perfil transversal em formato de V com uma relação encosta canal mais significativa. Ademais, estes são locais de nascentes presentes nesta unidade, por isso os vales fechados são drenados pelos canais de primeira ordem. Os vales abertos estão situados distantes das colinas, contendo um perfil mais aberto entre as encostas, isso diminui a interação da encosta e o canal. Os vales possuem uma abertura maior e têm canais de ordem maior.

As planícies fluviais são as áreas de menor declividade da unidade, são amplas e mais distantes das encostas. As mesmas possuem ordem de canais maiores e recebem o material transportado pelos rios menores. Possuem uma relação fluvial mais significativa em comparação aos processos desenvolvidos nas encostas das colinas. Os processos denudacionais são desencadeados nos relevos mais altos das colinas, enquanto o transporte e deposição ocorrem nos vales e planícies fluviais. Destaca-se a drenagem como provedor de processos erosivos desenvolvidos no sistema fluvial, ou seja, o material depositado próximo aos canais é retrabalhado pelo próprio fluxo do mesmo, ocorrendo momentos e espaços de deposição ou erosão.

A dinâmica climática dessa unidade é análoga às unidades anteriores, mesmo tendo uma diferença altimétrica a chuva não difere significativamente. Em relação aos meses secos e chuvosos, a distribuição das chuvas e os sistemas produtores de tempo são idênticos as demais unidades de paisagem analisadas.

A relação entre a temperatura elevada, chuvas fartas associada as unidades geológicas da BHRA, promoveram a constituição dos solos: Argissolos amarelos, Latossolos amarelos e Gleissolos háplicos. Estes solos possuem as mesmas características apresentadas anteriormente, os Argissolos amarelos nesta unidade são a classe dominante em expressão territorial, estando circunscritos desde as colinas até as proximidades aos canais. Os Latossolos amarelos têm o menor tamanho em quilômetros quadrados e está disposto em apenas um núcleo sobre as colinas. A classe dos Gleissolos háplicos estão situados próximo aos canais, principalmente no rio principal e tem a segunda dimensão em área. Os processos nestes solos estão relacionados a sua localização na paisagem, a exemplo dos Argissolos amarelos que sofrem mais com a denudação por estarem nas encostas.

Sobre o uso da terra, temos cana-de-açúcar, área florestal, pecuária e pequenas vilas. A cana-de-açúcar ocorre mais próximo as colinas, vales mais abertos e junto do canal principal. Os processos vislumbrados nessa unidade coincidem com os já abordados anteriormente a exemplo da erosão, movimentos de massa, enchentes e inundações. A quantidade de áreas destinadas ao cultivo da cana-de-açúcar é bem inferior em comparação as demais unidades de paisagem. Em relação à vegetação remanescente a mesma está distribuída por toda a unidade, sendo estas mais isoladas e de menor tamanho em quilômetros quadrados. Igualmente, as demais unidades, a vegetação natural se encontra nas encostas das colinas, principalmente e próximo ao rio Aripibú.

A área urbana desta unidade são duas vilas com destaque para a de Aripibú. Estes dois núcleos urbanos estão próximos ao canal principal e utilizam as margens do rio para vários fins agropecuários, como exemplo, pecuária extensiva e agricultura de subsistência.

Os processos morfodinâmicos existentes na unidade são: erosão, deslizamentos, enchentes e inundações. O desenvolvimento dos processos é mais ativo nos momentos chuvosos, com destaque para os meses de maior pluviosidade (março a setembro). A erosão se desenvolve primordialmente nas encostas das colinas onde a declividade é mais aguda. As categorias de erosão presentes são as laminares e as lineares com presença de ravinas e voçorocas. No recorte de solos da BHRA, os Argissolos amarelos e Latossolos amarelos são propensos a constituição de erosão pelas suas características intrínsecas e posição na paisagem. Sobre os usos dessa unidade temos a cana-de-açúcar e a pecuária (FIGURA 53), as quais ampliam a susceptibilidade a erosão do solo. A análise do desenvolvimento e métodos de atenuação são semelhantes aos explanados nas outras unidades de paisagem.

Figura 53 - Atividade de pecuária extensiva de gado de corte nas colinas.



Fonte: O autor, 2020.

A vegetação, mesmo estando isoladas e em áreas de menor expressão territorial possuem a capacidade de minimizar a susceptibilidade naturalmente presente nesta unidade de paisagem. Isto é, mesmo a declividade, solos e precipitação alta atuarem em comunhão para a evolução da morfogênese, a vegetação reduz a predisposição a erosão por estabilizar e proteger o relevo. Os deslizamentos translacionais ocorrem nas encostas e são desencadeados a partir dos usos da cana-de-açúcar e pecuária. Todavia, estes são mais ocorrentes nas áreas de plantio da cana-de-açúcar, pois a pastagem mantém o terreno protegido por não ocorrer queimada e colheita, além de não haver necessidade de muitas estradas cortando as encostas das colinas.

As enchentes e inundações estão ligadas a drenagem e tem uma relação mais dependente das precipitações, em analogia aos outros agentes modeladores superficiais da paisagem. Os canais de maior ordem têm mais energia no sistema fluvial por receber da drenagem de hierarquia menor o fluxo e o sedimento transportado. Esse somatório dá condições naturais ao canal principal ter enchentes e inundações mais significativas em volume de água e área ocupada. O assoreamento dos canais pelos sedimentos é evidente, deixando os vales colmatados diminuindo a profundidade dos canais e degradando a biodiversidade desse ambiente. A vegetação ciliar igualmente as outras unidades, são quase inexiste, tendo a maioria das drenagens da BHRA uma ausência desta proteção natural do sistema fluvial. A conjuntura destes aspectos edifica inundações maiores e ocasiona mais prejuízos aos diversos usos associados aos canais.

A unidade em questão possui muitas áreas com a utilização da terra de forma diversa, pois depois do cultivo da cana-de-açúcar e pecuária extensiva bovina, muitas regiões são utilizadas para vários fins. Estes usos podem variar no espaço em tamanho e variedade das

finalidades, como, por exemplo, no tempo ao longo do ano. Foi constatado espaços com pasto para animais menores a exemplo de equinos e caprinos, além de sítios com muitas frutíferas, principalmente coqueiros, mangueiras, jaqueiras e bananeiras. Em algumas áreas são praticadas queimadas para diminuir a vegetação em regeneração, para uso posteriormente, sobretudo com a pecuária. Outros espaços são deixados a regeneração natural ao longo do tempo, por motivo não conhecido. Boa parte do território dessa unidade de paisagem não tem um uso reconhecido nos trabalhos de campo e nas imagens de satélite.

Nessa unidade temos um núcleo com maior grau de exumação da paisagem, indicando uma grande perda de material para a erosão. Este espaço está localizado no centro-noroeste da BHRA, e em analogia as demais áreas possuem uma dissecação significativa. A explicação para a constituição deste estaria no elemento estrutural, ou seja, a zona de cisalhamento indiscriminada que transpassa a bacia hidrográfica em pauta. Assim, considerando o mapa de volume mínimo erodido a perda de massa mais significativa estaria relacionada a uma zona pouco soerguida e essencialmente bastante erodida proveniente do maior fraturamento.

A conjunção das particularidades analisadas em cada unidade de paisagem da BHRA, são agrupadas no quadro 11. As características das quatro unidades foram baseadas nos indicadores: altitude, declividade, geologia, relevo, clima, solos, processos superficiais, cobertura e uso da terra. Verificou-se que a maior altitude se encontra nas colinas, a declividade mais significativa está nas encostas, o uso principal seria o cultivo da cana-de-açúcar e os processos erosivos encontram-se em todas as unidades.

Quadro 11 - Características das unidades de paisagem da bacia hidrográfica do Aripibú – Pernambuco.

Unidades de Paisagem	Altitude	Declividade	Geologia	Relevo	Solos	Cobertura e uso da terra	Processos superficiais
Colinas conservadas com culturas temporárias	76 até 200	Fraca a muito forte	Complexo Belém São Francisco, complexo Cabrobó, suíte intrusiva Itaporanga e sem denominação.	Colinas convexas de topos amplos, planície fluvial, vales abertos e fechados.	Latossolos amarelo, argissolos amarelo e gleissolos háplicos.	Cana-de-açúcar, área florestal, pecuária, área urbana e uso diversos.	Erosão laminar, linear e deslizamento translacional e inundação.
Crista residual com áreas agrícolas	117 até 267	Média a muito forte	Complexo Belém São Francisco.	Colinas convexas de topos estreito e vales fechados e abertos.	Argissolos amarelo e argissolos vermelho amarelo.	Cana-de-açúcar, área florestal, pecuária e uso diversos.	Erosão laminar, linear e deslizamento translacional e inundação.
Planície fluvial com área urbana	76 até 117	Plana a fraca	Complexo Cabrobó	Planície fluvial.	Gleissolos háplicos e neossolos flúvicos.	Cana-de-açúcar, pecuária, área urbana e uso diversos.	Erosão laminar, linear, escoamento superficial, enchente e inundação.
Colinas dissecadas com áreas agrícolas	76 até 153	Plana a forte	Complexo Belém São Francisco, complexo Cabrobó, suíte intrusiva Itaporanga e sem denominação.	Colinas convexas de topos amplos, planície fluvial, vales fechados e abertos.	Argissolos amarelo e gleissolos háplicos.	Cana-de-açúcar, área florestal, pecuária, área urbana e uso diversos.	Erosão laminar, linear e deslizamento translacional, enchentes e inundação.

Fonte: O autor, 2020.

7 SUSCETIBILIDADE AOS PROCESSOS EROSIVOS

O capítulo aborda outra parte dos resultados e discussões da pesquisa, relacionada à suscetibilidade aos processos erosivos presentes na área de estudo. Iniciando pela propensão a erosão na BHRA para cada critério tem-se, posteriormente, a combinação dos níveis de suscetibilidade a erosão dos critérios analisados anteriormente para diagnóstico dos espaços mais vulneráveis na bacia hidrográfica aos processos erosionais. Por fim, teremos os cenários, que relacionam os condicionantes naturais da erosão e suas variações no espaço e no tempo.

7.1 PROCESSOS EROSIVOS PELOS CRITÉRIOS

A promoção da suscetibilidade para cada critério é imprescindível para compreensão da erosão em suas várias nuances, deste modo o sistema no qual os processos denudacionais ocorrem são melhor acurados. Nesse sentido, a pesquisa selecionou os critérios de maior significância ao desenvolvimento da erosão, estando relacionado aos fatores naturais e antrópicos. Sendo eles: unidade geológica e geomorfológica, curvatura da encosta, declividade, classe de solos, cobertura e uso da terra.

7.1.1 Unidades geológicas e geomorfológicas

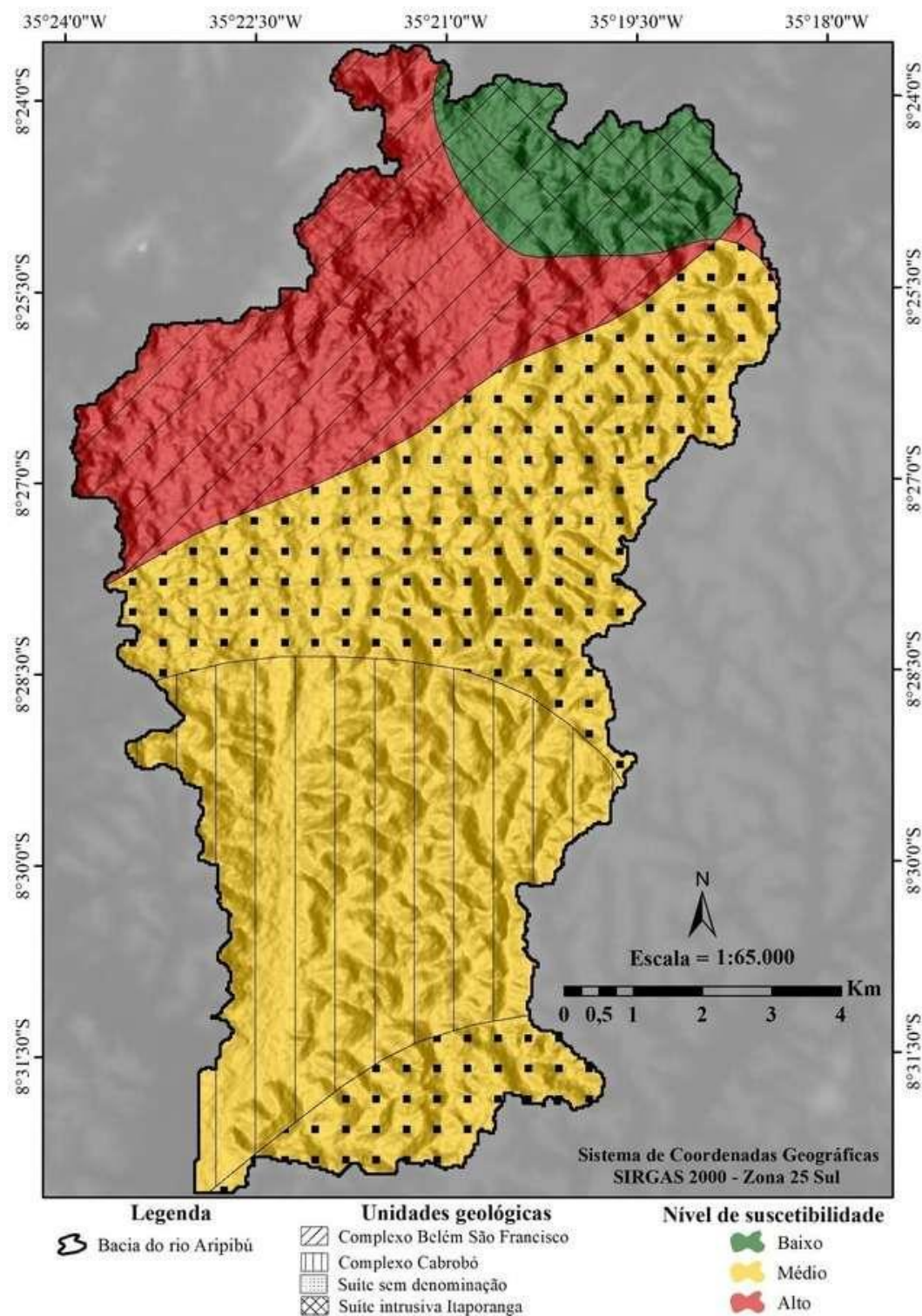
A geologia da bacia possui quatro unidades geológicas: Complexo Belém do São Francisco, Complexo Cabrobó Suíte Intrusiva Itaporanga e Suíte Sem Denominação, todas são constituídas de rochas ígneas e metamórficas, com o período de formação do Proterozóico. Estas unidades têm formação antiga e são cristalinas, possuindo resistência aos processos do intemperismo se comparadas a rochas com grau menor de dureza, a exemplo das sedimentares. Nesse sentido, as unidades foram classificadas nos três níveis de suscetibilidade a erosão (TABELA 17), baseado na composição litológica das rochas (FIGURA 54).

Tabela 17 - Classificação dos graus de suscetibilidade a erosão em relação ao critério geológico.

Unidade Geológica	Área (%)	Nível
Suíte Intrusiva Itaporanga	08	1
Suíte Sem Denominação	36	2
Complexo Cabrobó	31	2
Complexo Belém do São Francisco	25	3

Fonte: O autor, 2020.

Figura 54 - Mapa dos níveis de suscetibilidade à erosão em relação ao critério geológico na bacia hidrográfica do Aripibú, Pernambuco.



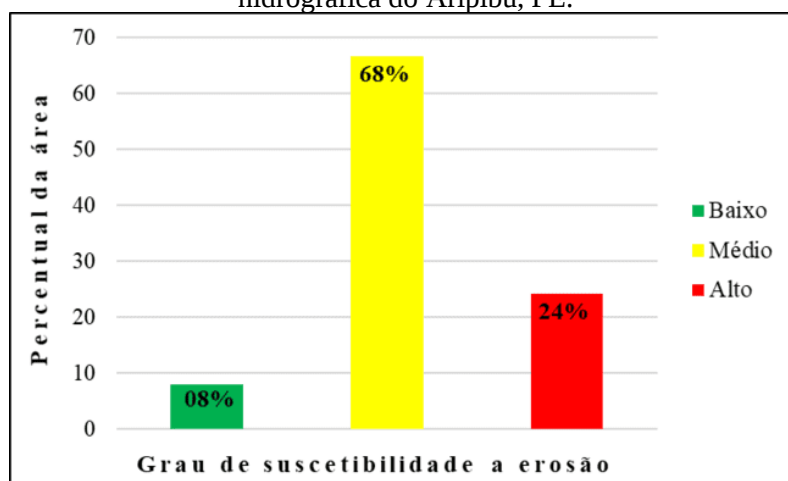
Fonte: CPRM (2001), adaptado pelo autor, 2020.

A suíte intrusiva Itaporanga recebeu a classificação de baixa suscetibilidade a erosão (FIGURA 54), considerando ser uma rocha ígnea intrusiva de textura porfirítica e elevado grau de dureza. Assim, tem menos predisposição ao intemperismo se comparada as demais unidades.

A Suíte sem denominação e o Complexo Cabrobó receberam grau 2 para a erosão (FIGURA 54), isto é, tem potencial mediano ao intemperismo. Visto terem rochas metamórficas com menor grau de resistência ao conjunto de alterações da meteorização se comparadas a Suíte Itaporanga. Por fim, o Complexo Belém do São Francisco tem nível alto de vulnerabilidade ao degaste (FIGURA 54), essa categorização possui uma associação de rochas metamórficas com graus de resistência distintos tornando essa unidade a mais propensa ao intemperismo.

A porcentagem da área das unidades geológicas e o grau de susceptibilidade é bem expressiva, no qual o nível baixo ficou com apenas 8% do território da bacia (FIGURA 55). Enquanto a classe média abarcou a maior parte da superfície com 68%, por contemplar duas regiões geológicas. O nível alto representou a segunda maior expressão territorial com 24% (FIGURA 55), tendo assim uma grande área com propensão ao desenvolvimento da erosão neste critério analisado. Os graus de susceptibilidade desse parâmetro geológico possuem um peso pouco significativo em relação aos demais por ter nas unidades geológicas rochas com características de dureza muito similares. Nesse sentido, a significância desse elemento é menor se comparado, por exemplo, a geomorfologia da bacia Aripibú, onde possui diferenças preponderantes ao desenvolvimento da erosão.

Figura 55 - Gráfico da porcentagem da área para os níveis de susceptibilidade a erosão na bacia hidrográfica do Aripibú, PE.

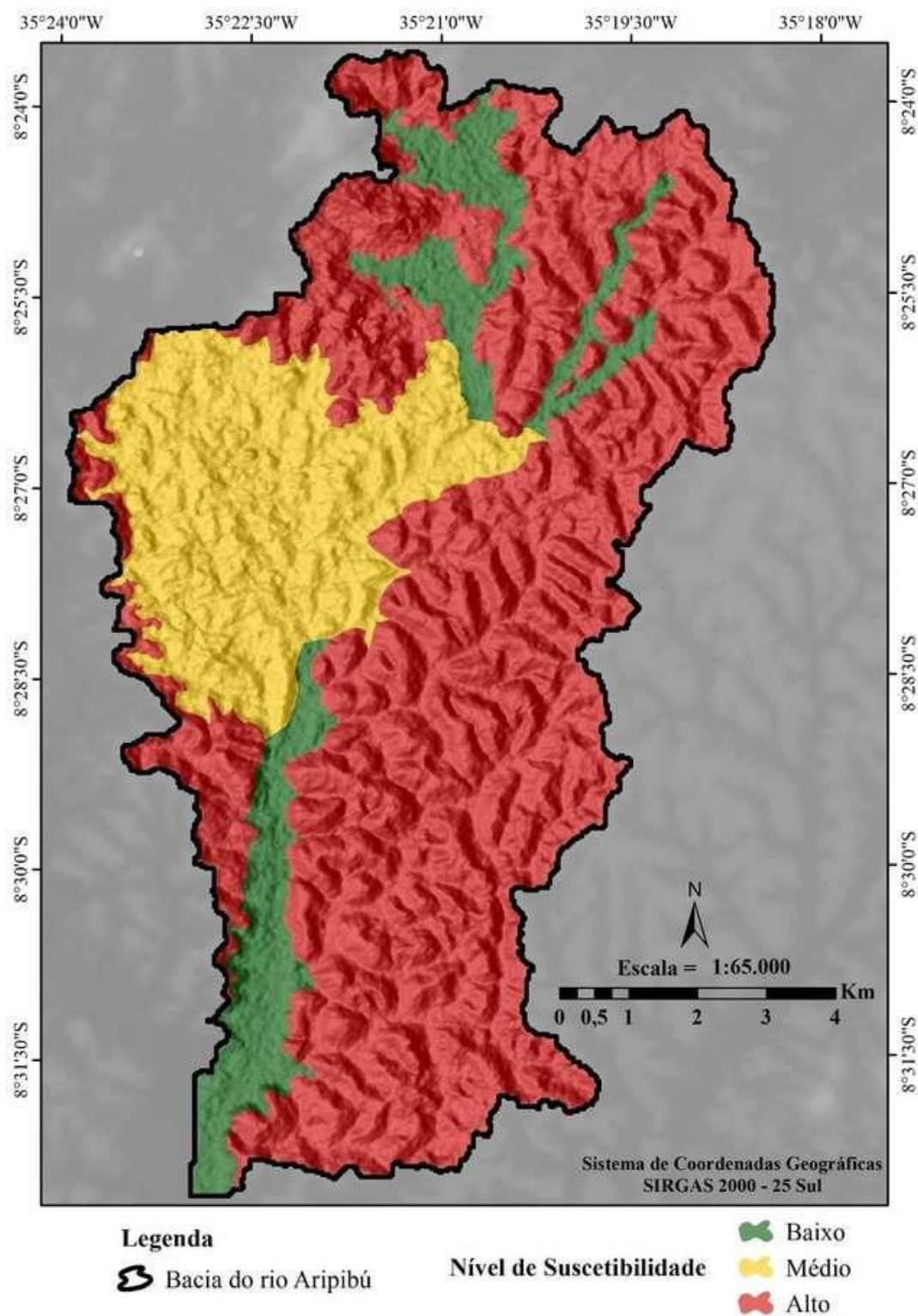


Fonte: O autor, 2020.

A bacia Aripibú possui 4 unidades geomorfológicas, sendo elas: planícies fluviais, crista residual, colinas conservadas e dissecadas. Estas possuem características naturais intrínsecas, a exemplo da morfologia e declividade, no qual determinam os processos superficiais da paisagem preponderantes. Analisando as propriedades de cada unidade de relevo a propensão

a erosão linear no capítulo anterior foi possível qualificar (FIGURA 56), e quantificar (TABELA 18), o nível de suscetibilidade para a BHRA, em relação ao critério geomorfológico.

Figura 56 - Mapa dos níveis de suscetibilidade a erosão em relação ao critério geomorfológico na bacia hidrográfica do Aripibú, Pernambuco.



Fonte: O autor, 2020.

Tabela 18 - Classificação dos graus de suscetibilidade a erosão em relação ao critério geomorfológico.

Unidades geomorfológicas	Área (%)	Nível
Planícies fluviais	12	1
Colinas dissecadas	21	2
Colinas conservadas	59	3
Crista residual	08	3

Fonte: O autor, 2020.

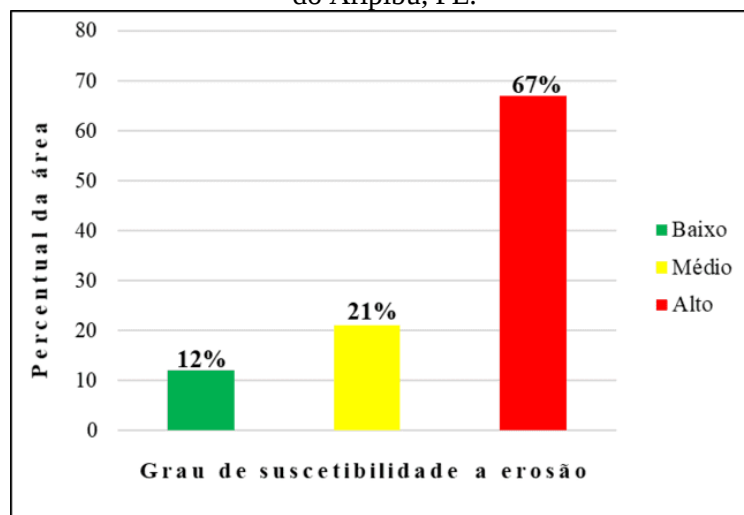
As planícies fluviais possuem a menor declividade, tem como processo principal as enchentes e inundações, ou seja, estas são ambientes de deposição com baixa energia. A erosão neste segmento da paisagem não é dominante, podendo ocorrer retirada de material no momento das enchentes através da dinâmica fluvial. Nesse sentido, as planícies fluviais foram delimitadas na bacia com grau baixo de predisposição a erosão do tipo linear (FIGURA 56).

As colinas conservadas e a crista residual foram classificadas como as áreas mais propensas ao desenvolvimento da erosão (FIGURA 56), devido as suas características de altura e declividade, sendo unidades com predomínio da denudação. Ao longo do tempo estas vão sendo aplainadas pelos processos morfodinâmicos, dando ênfase a erosão que suaviza e individualiza as mesmas. As colinas dissecadas, mesmo sendo relevos de denudação, por conterem declividades mais suaves e menor altura, em relação as duas unidades geomorfológicas anteriores, foi categorizada em nível médio.

A relação entre o espaço das unidades geomorfológicas e o grau de suscetibilidade evidencia uma grande área de nível alto na BHRA, ou seja, especificamente 67% do território tem predisposição elevada a erosão (FIGURA 57). Este dado é preocupante pela sua grande expressividade espacial, frisando que a soma da área das colinas seria o relevo mais representativo na bacia (TABELA 19). A classificação baixo e médio obteve somados 33% da extensão territorial, tendo 12% com as planícies fluviais e 21% com as colinas dissecadas.

Os graus de susceptibilidade do parâmetro relevo detêm um peso mais significativo em comparação ao geológico, pois diferente daquele, o geomorfológico possui diferenças salientes entres os elementos analisados. Frisando, que as unidades geomorfológicas colinas e crista residual por serem modelados de denudação naturalmente estão mais sujeitas aos processos da morfogênese, a exemplo da erosão. Além da preocupação devida com o espaço com alto grau de suscetibilidade, visto por esse único critério, a BHRA tem mais da metade do seu terreno com risco no desenvolvimento a erosão, requerendo um planejamento adequado para uso dessa paisagem.

Figura 57 - Gráfico da porcentagem da área para as unidades geomorfológicas da bacia hidrográfica do Aripibú, PE.



Fonte: O autor, 2020.

7.1.2 Declividade e formato da encosta

A declividade está relacionada diretamente ao escoamento superficial, pois quanto maior a inclinação do relevo, mais velocidade o fluxo desenvolverá, e assim, o poder de transporte fica mais intenso, resultando em maior capacidade de erosão. A BHRA foi classificada em graus de declividade 0° a 90° (TABELA 19), para poder vislumbrar a inclinação do modelado da paisagem. Isso permitiu categorizar a bacia hidrográfica de acordo com a inclinação do terreno nos três níveis de suscetibilidade a erosão linear (FIGURA 57).

Tabela 19 - Classificação dos graus de suscetibilidade a erosão em relação ao critério declividade.

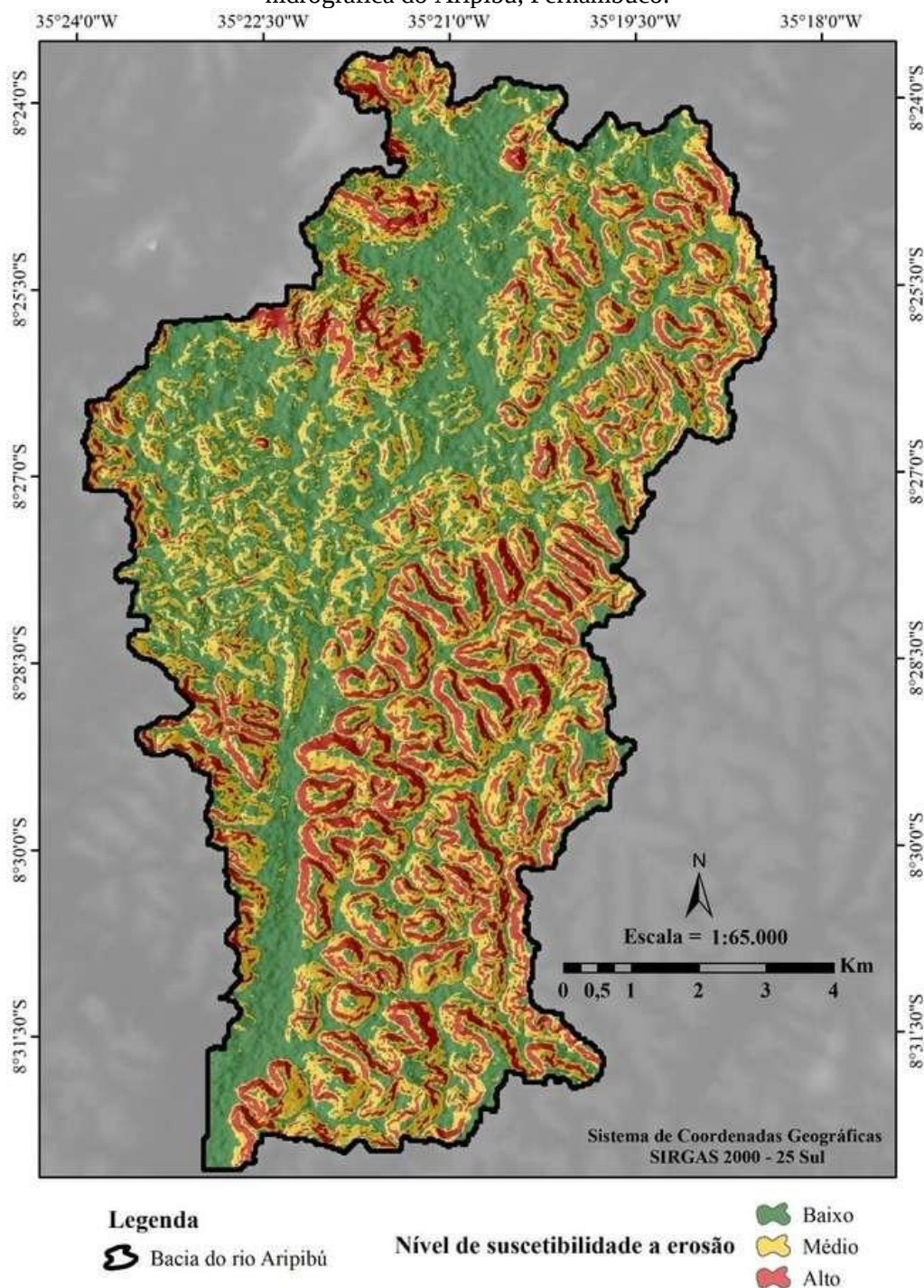
Graus de declividade	Área (%)	Nível
00 ° - 08 °	45	1
8,1 ° - 16 °	36	2
17 ° - 90 °	19	3

Fonte: O autor, 2020.

O primeiro nível de declividade vai de 0° até 8°, delineados com grau baixo a predisposição a erosão (FIGURA 58). Visto essa classe ser plana com grau de inclinação do relevo muito fraco. Desse modo, a erosão pode acontecer, mas tem menor tendência a ocorrência. O nível médio contempla a declividade indo de 8,1° a 16°, representa as inclinações mais próximas à encosta das colinas. Por conter um auge mais significativo tem nível médio de suscetibilidade aos processos erosivos, frisando que essas inclinações estão dispostas principalmente no início das encostas, ou seja, na base. Isso indica uma área lócus de incisões

lineares, visto o fluxo do escoamento crescer velocidade do topo para a base, ocorrendo as maiores velocidades na parte terminal da encosta, isto é, no sopé. Evidenciando que outros elementos interferem sobre a velocidade do escoamento, a exemplo do comprimento da rampa, cobertura e uso da terra.

Figura 58 - Mapa dos níveis de suscetibilidade a erosão em relação ao critério declividade na bacia hidrográfica do Aripibú, Pernambuco.

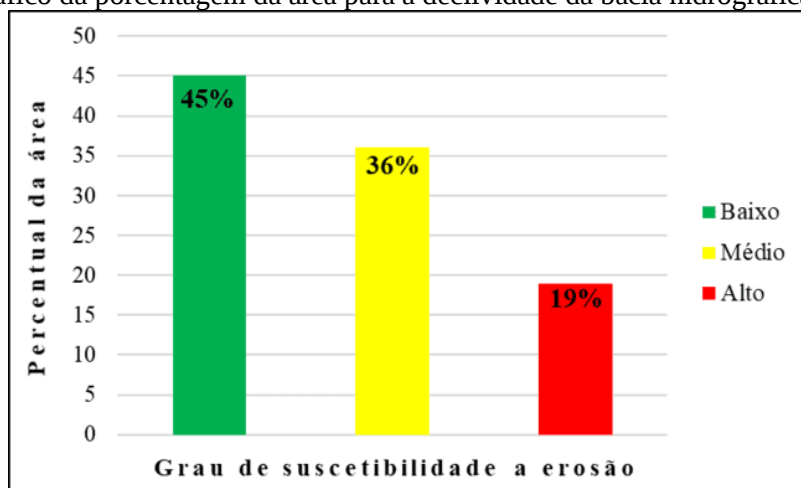


Fonte: O autor, 2020.

O nível três fica entre 17° e 90°, possuindo a menor área, foi classificado com grau de suscetibilidade alto (FIGURA 57). Este intervalo corresponde ao relevo das colinas, especificamente as encostas das mesmas. O topo possui uma declividade de baixa a média, tendo menor propensão a erosão. Todavia, o processo denudacional pode ocorrer. O grau maior da declividade implica mais energia potencial sendo transformada em energia cinética, ou seja, o escoamento superficial é aumentado pela maior inclinação do relevo. Por isso as encostas das colinas possuem nível de suscetibilidade alto a erosão.

Em termos de porcentagem de área para cada grau de sensibilidade aos processos erosivos na BHRA, temos o nível baixo em 45% do território (FIGURA 59). Isso significa que para este critério quase metade da área da BHRA tem pouca predisposição a erosão, visto serem áreas com pouca declividade, salientando-se que mesmo tendo pouca disposição aos processos superficiais da paisagem, são passíveis de ocorrer o desenvolvimento de processos erosivos e, por conseguinte, feições erosivas.

Figura 59 - Gráfico da porcentagem da área para a declividade da bacia hidrográfica do Aripibú, PE.



Fonte: O autor, 2020.

O nível médio tem a segunda extensão territorial na BHRA, com 36% (FIGURA 59), ocupando a transição entre as planícies fluviais e as encostas das colinas. Contempla os espaços das colinas e destaca-se nas mais baixas, visto terem menor altura e encostas mais suaves.

O mais alto grau da erosão ocupa 19% da superfície da BHRA (FIGURA 59), e possui localização nas encostas das colinas. Mesmo tendo a menor área dos três níveis este valor em quilômetros quadrados é alto para ocorrência dos processos erosivos, significando que a BHRA detém muitos espaços com grande possibilidade ao desenvolvimento da erosão, ao menos neste

critério de declividade. A inclinação do relevo é relevante na análise das regiões mais suscetíveis a erosão dentro da bacia hidrográfica em questão.

O critério do formato da encosta considerou a combinação entre as curvaturas das mesmas. A morfologia foi determinada pelo cruzamento entre a declividade e as curvas de nível da BHRA. Sendo o conhecimento da curvatura vertical (côncava, retilínea e convexa) e da horizontal (convergente, planar e divergente) imprescindível no reconhecimento do padrão do escoamento superficial, visto que, dependendo do resultado desta intercessão entre as curvaturas da encosta, teremos a concentração ou dispersão do escoamento, assim a erosão será mais efetiva no padrão de vertente que agrupa o fluxo, canalizando a energia e a força em alguns pontos do relevo ocasionando a remoção do material inconsolidado.

Nesse sentido, a suscetibilidade à erosão foi delineada, nesse critério, no cruzamento dos perfis vertical e horizontal, contendo nove formatos das encostas (TABELA 20). Sendo as vertentes convexa/planar, retilínea/planar e retilínea/divergente foram classificadas como nível baixo, enquanto convexa/convergente, côncava/divergente e convexa/divergente foram identificadas como médio e, por fim, a côncava/convergente, retilínea/convergente e côncava/planar apresentaram uma suscetibilidade de nível alto (FIGURA 60). Isso baseado em relação ao fluxo hídrico, na concentração e dispersão do escoamento superficial ao longo de toda a encosta.

Tabela 20 - Classificação dos graus de suscetibilidade à erosão em relação ao critério forma da encosta.

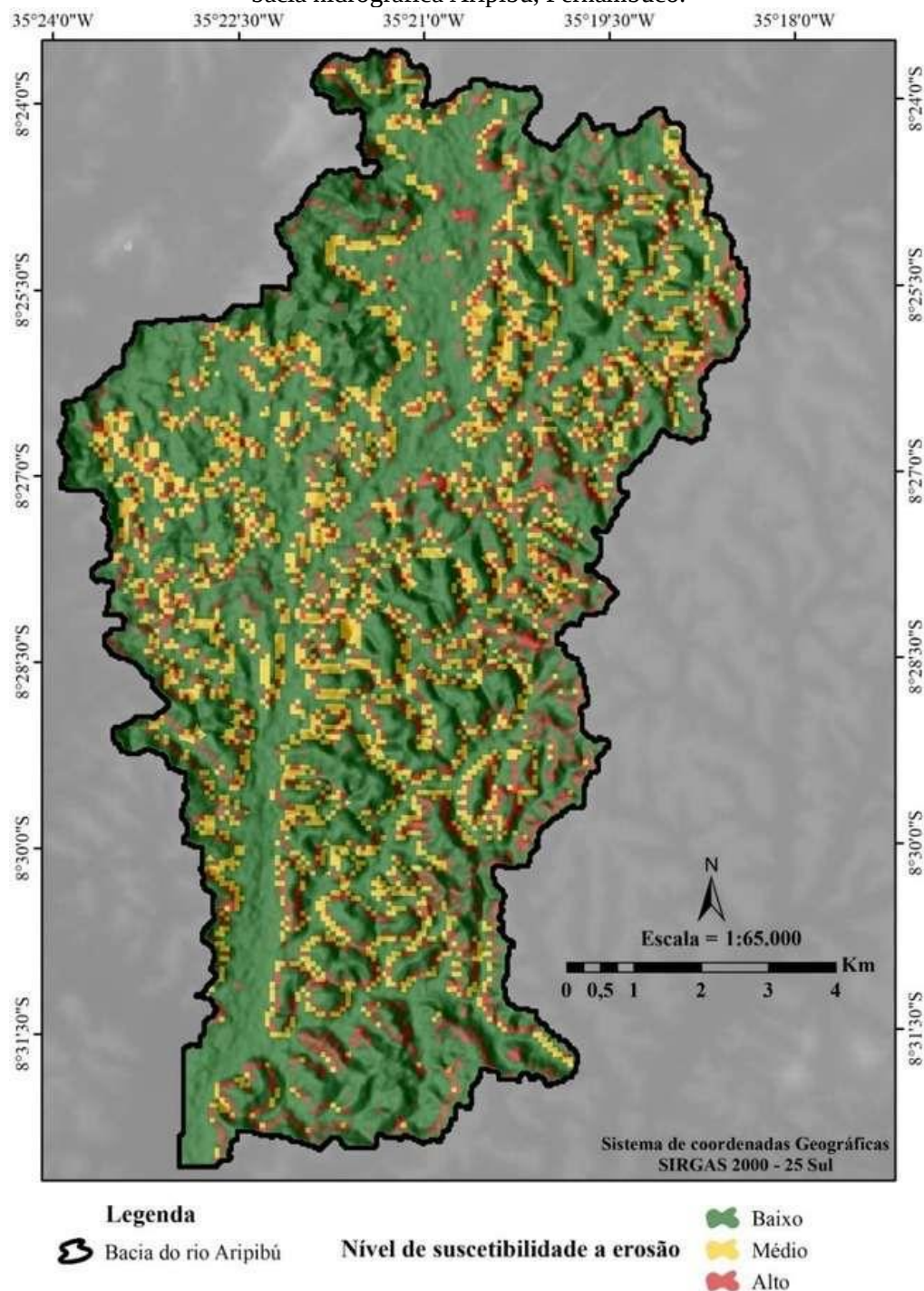
Formato da encosta (vertical / horizontal)	Área (%)	Peso
Áreas planas	16	1
Convexa/planar	5	1
Retilínea/planar	43	1
Retilínea/divergente	7	1
Convexa/convergente	7	2
Côncava/divergente	8	2
Convexa/divergente	2	2
Côncava/convergente	1	3
Retilínea/convergente	7	3
Côncava/planar	4	3

Fonte: O autor, 2020.

A tabela 20 demonstra que aproximadamente 16% da BHRA possui áreas planas, que são os topos das colinas, fundos dos vales e planícies fluviais. Em oposição, os relevos com uma inclinação representam 84% do território da bacia hidrográfica em foco (TABELA 20), tendo muitas áreas com declividade para desenvolvimentos dos processos morfodinâmicos. Os níveis de suscetibilidade à erosão foram baseados para toda a BHRA, tendo o nível baixo a maior

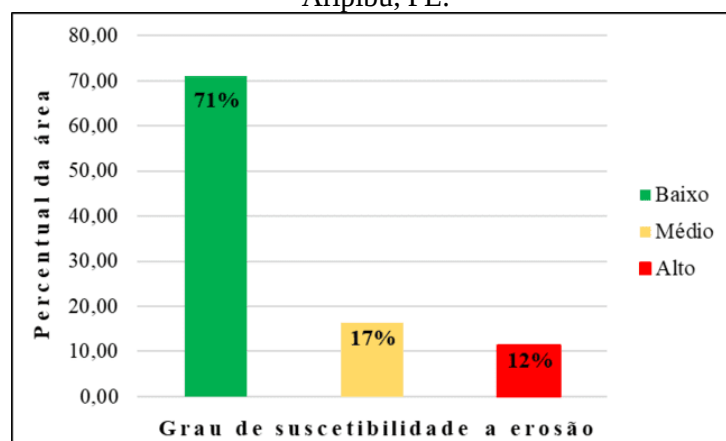
concentração de área, com 71% (FIGURA 61). Esse tipo de curvatura de encosta possuem um escoamento superficial bem disperso, indica que o fluxo hídrico é distribuído por toda a vertente sem ocasionar danos maiores por não ter a presença significativa de canalizações. A soma dos 16% das áreas planas e dos 55% do grau baixo a erosão temos 71% de espaço da BHRA com pouca predisposição aos processos erosivos lineares.

Figura 60 - Mapa dos níveis de suscetibilidade à erosão em relação ao critério curvatura da encosta na bacia hidrográfica Aripibú, Pernambuco.



Fonte: O autor, 2020.

Figura 61 - Gráfico da porcentagem da área para o formato da encosta da bacia hidrográfica do Aripibú, PE.



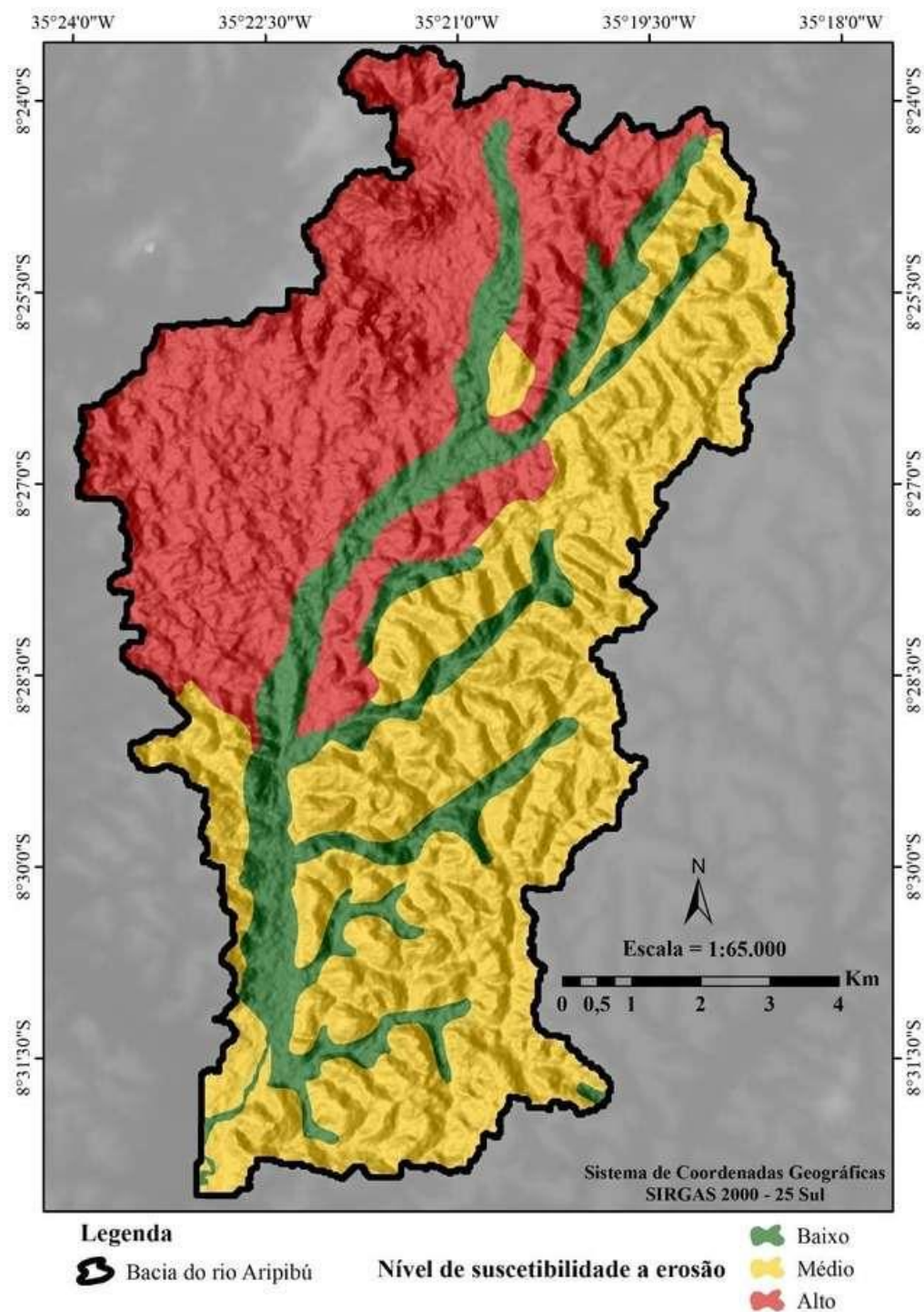
Fonte: O autor, 2020.

O nível médio ocupa apenas 17% da área da BHRA (FIGURA 61), correspondendo a encostas com características de dispersão do fluxo hídrico pela vertente, podendo acontecer mais suscetibilidade ao desenvolvimento da erosão em relação ao nível baixo. Por conseguinte, o grau mais alto a propensão aos processos erosionais possui 12% da extensão territorial. Este nível concentra o escoamento superficial para uma determinada direção, e assim ocorre a canalização e formação de cicatrizes de erosão. Esta classe se encontra disposta principalmente nas bases das colinas (FIGURA 61), indicando que as encostas, segundo esse critério, têm grande predisposição a constituição das erosões lineares do tipo ravinas e voçorocas.

7.1.3 Classe de solos

Os solos da BHRA são consequência da comunhão dos processos da pedogênese, sendo agrupados em três níveis de suscetibilidade à erosão (FIGURA 62), segundo suas características intrínsecas e disposição na paisagem. A classificação dos solos nos níveis de suscetibilidade à erosão linear é baseada nas características intrínsecas de cada classe de solos. Portanto, os Argissolos foram definidos com grau alto por estarem nas encostas das colinas e terem características de maior erodibilidade em analogia as demais classes. Os Neossolos, por se encontrarem na planície fluvial e serem inconsolidados, foram classificados com nível médio. Os latossolos foram categorizados com nível médio por estarem localizados em áreas planas, como no topo das colinas e ter menor erodibilidade em relação aos argissolos. Já os Gleissolos por se encontrem nas proximidades dos canais e terem material inconsolidados, são categorizados com nível baixo.

Figura 62 - Mapa dos níveis de suscetibilidade à erosão em relação ao critério solos na bacia hidrográfica do Aripibú, Pernambuco.



Fonte: O autor, 2020.

O grau baixo possui apenas uma classe de solos, os Gleissolos háplicos (FIGURA 62), por se encontrarem em áreas muito planas e de baixa energia possuem pouca predisposição a erosão. Mesmo assim, detém a segunda área com 18 km² (TABELA 21), por ser representado nas planícies fluviais da BHRA. O nível médio é delimitado com as classes do tipo Neossolos

flúvicos e Latossolos amarelos (FIGURA 62), e possuem o maior espaço territorial com 45 km².

Tabela 21 - Classificação dos graus de suscetibilidade a erosão em relação ao critério solos.

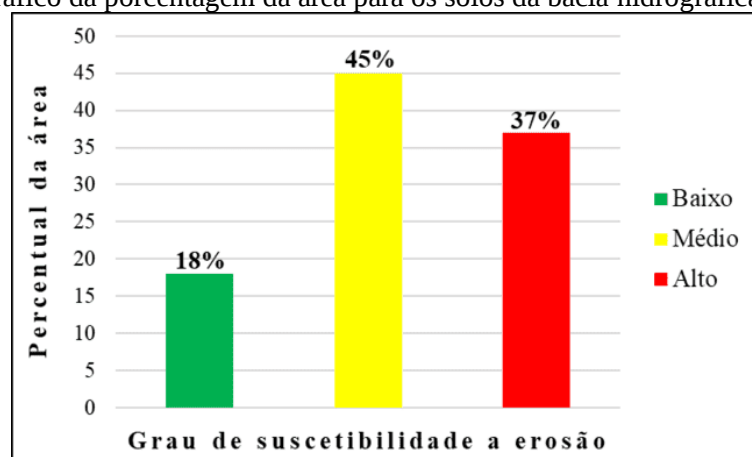
Classe de solos	Área (%)	Peso
Gleissolos háplicos	18	1
Neossolos flúvicos	2	2
Latossolos amarelos	43	2
Argissolos vermelho-amarelos	5	3
Argissolos amarelos	32	3

Fonte: O autor, 2020.

O nível médio se encontra nos solos com pouca consolidação, a exemplo dos Neossolos flúvicos, estes possuem mais declividade em comparação com os Gleissolos háplicos, assim este possui maior suscetibilidade aos processos erosivos lineares. Os latossolos amarelos mesmo estando nas colinas encontram-se nos topos tendo pouca declividade, além dessa classe ter menor erodibilidade em analogia aos argissolos. O peso 2 (TABELA 21), por possuir a maior representação territorial e concentração na foz da BHRA deve requerer cuidados e medidas preventivas e/ou corretivas da erosão.

O nível alto possui a segunda maior concentração de território com 37 km² (FIGURA 62), contemplando duas classes de solos da BHRA (Argissolos vermelho-amarelos e Argissolos amarelos), esse nível é caracterizado com espaços declivosos e solos suscetíveis aos processos erosivos. Frisa-se que os solos deste grau alto possuem forte disponibilidade de material à erosão por serem bem desenvolvidos fisicamente.

A distribuição percentual da área dos três níveis de suscetibilidade é desigual (FIGURA 63), tendo a classe baixa 18% do território da BHRA, enquanto o nível médio possui 45% do espaço da área estudada, todavia o grau alto possui 35% da BHRA. Este último valor é preocupante para o critério das classes de solos, pois muito espaço tem grande possibilidade de ocorrer processos erosivos. Assim, para este parâmetro quase 40% da BHRA tem alta suscetibilidade à erosão, sendo necessária uma gestão ambiental e territorial que promova uma minimização do potencial de desenvolvimento de processos erosivos, principalmente os de caráter linear.

Figura 63 - Gráfico da porcentagem da área para os solos da bacia hidrográfica do Aripibú, PE.

Fonte: O autor, 2020.

7.1.4 Cobertura e uso da terra

A bacia hidrográfica Aripibú foi delimitada em 5 cobertura e uso da terra, sendo eles: área florestal, área urbana, cultura temporária, pastagem e cana-de-açúcar. Estes foram classificados nos três graus de suscetibilidade à erosão (TABELA 22), baseado na utilização do espaço, ou seja, qual a forma de apropriação da terra e suas consequências voltadas aos processos erosivos. Assim, foram espacializados os níveis de suscetibilidade à erosão (FIGURA 64), em relação ao critério uso e ocupação da terra da bacia.

Tabela 22 - Classificação dos graus de suscetibilidade à erosão em relação a cobertura e uso da terra.

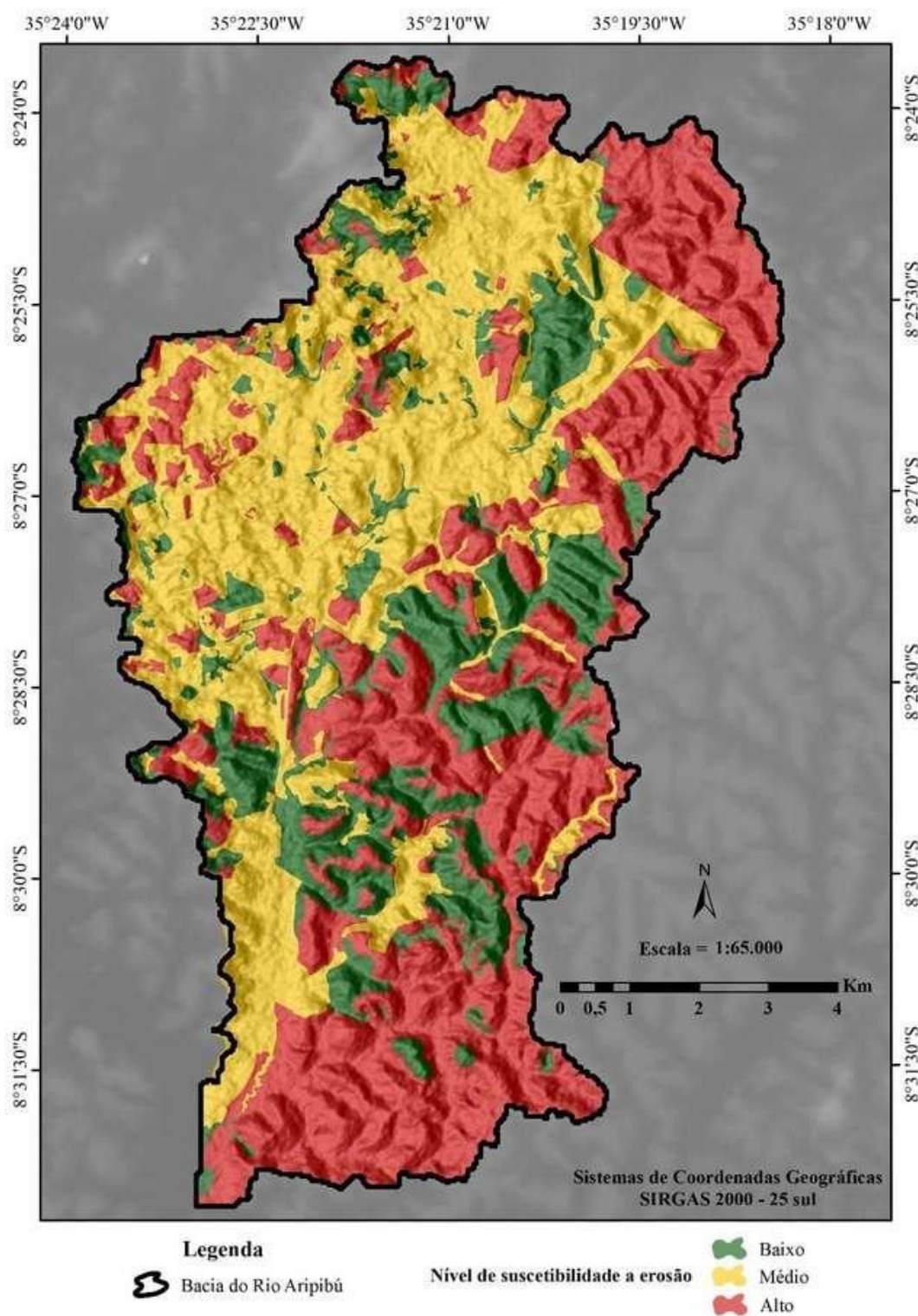
Uso e cobertura da terra	Área (%)	Peso
Área florestal	20	1
Área urbana	06	2
Cultura temporária	29	2
Pastagem	04	2
Cana-de-açúcar	41	3

Fonte: O autor, 2020.

A área florestal recebeu a classificação de baixa suscetibilidade à erosão (FIGURA 64), considerando a minimização ao desenvolvimento da erosão dessa ocupação. A cobertura vegetal recobre todo o solo protegendo o mesmo contra os processos erosivos, por conseguinte é o espaço com baixo potencial a erosão em relação a esse critério. O nível médio de predisposição ao desgaste da superfície terrestre ficou com dois usos e cobertura da terra (TABELA 22). Os núcleos urbanos na bacia do rio Aripibú são poucos e possuem só uma cidade, mesmo assim a utilização da terra é intensa principalmente nas encostas das colinas. A

principal utilidade seria para moradia, tendo ocupação desde a planície fluvial até o topo das colinas. Isso ocasiona ações errôneas com a terra desenvolvendo processos de erosão.

Figura 64 - Mapa dos níveis de suscetibilidade à erosão em relação ao critério uso e ocupação da terra na bacia hidrográfica do Aripibú, Pernambuco.



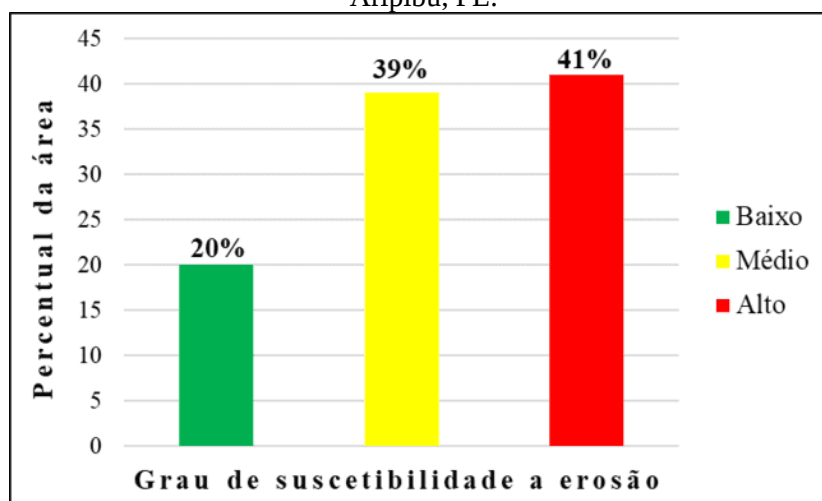
Fonte: O autor, 2020.

A cultura temporária e a pastagem possuem a categoria de nível médio (TABELA 23), por constituírem de várias utilizações do espaço podendo variar em tamanho e tempo, isto é, uma área pode ser utilizada num período do ano para a pecuária e depois ser deixada para recuperação da pastagem ou ter outro uso. Frisando, a proporção da terra usada varia de acordo com a atividade praticada, como por exemplo, a pecuária extensiva utiliza de mais metros quadrados enquanto a agricultura de subsistência usa menos. A cultura temporária e a pastagem não possuem muito emprego de técnicas adequadas a certas particularidades dos segmentos da morfologia da paisagem, isso ocasiona problemas relacionados a erosão pelo uso inapropriado da terra. Logo, foram qualificados como nível médio na predisposição aos processos erosivos.

O nível alto de suscetibilidade à erosão ficou com a cana-de-açúcar (TABELA 23), visto a mesma utilizar do solo de forma intensa por isso contribui ao desenvolvimento dos processos erosivos. Essa monocultura deixa o solo exposto após a colheita, realiza queimadas, faz corte das encostas das colinas para a construção de estradas, usa máquinas agrícolas e outras ações negativas ao solo. As práticas erradas viabilizam uma maior propensão a constituição dos processos erosivos, inclusive os lineares.

Portanto, a mesma foi classificada com nível alto de suscetibilidade à erosão em relação ao critério de cobertura e uso da terra. Esse grau possui a maior porcentagem da área para o uso da terra da bacia do rio Aripibú (FIGURA 65), implicando em muitos espaços com grande possibilidade do acontecimento da erosão. Sendo necessário, cuidados com a utilização da terra nessa categoria de grau alto para minimizar as perdas provenientes desses processos.

Figura 65 - Gráfico da porcentagem da área para cobertura e uso da terra da bacia hidrográfica do Aripibú, PE.



Fonte: O autor, 2020.

O grau médio detém a segunda maior área, com 39% da BHRA (FIGURA 65), por contemplar três usos da terra. Assim, a preocupação se faz necessária, pois quase 40% da bacia hidrográfica tem potencial para desenvolver processo erosivo pelo mau uso da terra. A junção do nível alto e médio da porcentagem da área para cobertura e uso da terra da BHRA chega a 80%, logo muitos espaços predispostos a constituição de feições erosivas. O planejamento e gerenciamento destas áreas, atualmente, é imprescindível no referente aos usos da terra no futuro, pois o nível baixo contempla, apenas, 20% da BHRA (FIGURA 65), e o mesmo sofre pressão das demais atividades, podendo ocorrer diminuição das áreas com cobertura da vegetação natural e, por fim, aumentar a suscetibilidade à erosão.

7.2 CENÁRIOS DE SUSCETIBILIDADE A EROSÃO

A modelagem para elaboração dos cenários de suscetibilidade à erosão na BHRA foi confeccionada a partir dos indicadores geoambientais, sendo eles: unidade geológica e geomorfológica, curvatura da encosta, declividade, classes de solos e cobertura e uso da terra. Os mesmos foram analisados individualmente no referente a suscetibilidade aos processos erosivos lineares, sendo a bacia hidrográfica em questão classificada por cada critério nos níveis: baixo, médio e alto. A combinação destas variáveis, e dos seus respectivos pesos, permitiram o desenvolvimento da categorização da BHRA nos níveis de erosão.

A Matriz quadrada de correlação dos critérios de suscetibilidade à erosão na BHRA foi realizada através dos pares dos elementos (QUADRO 12). No primeiro cenário foram analisados 5 itens do meio natural, deixando o uso da terra para outro cenário. Nesse sentido, houve associações apenas aos aspectos físicos responsáveis pela erosão linear, especificamente as denominadas de ravinas e voçorocas. As analogias entre pares de mesmo critério (geologia x geologia), são classificados com o valor 1, no qual corresponde ao grau de mesma importância, e as demais correlações foram definidos valores de 2 até 9, como proposto por Saaty (1977).

Quadro 12 - Matriz quadrada de correlação dos critérios de suscetibilidade à erosão na bacia hidrográfica do Aripibú, Pernambuco.

Critério	Geologia	Geomorfologia	Curvatura	Solos	Declividade
Geologia	1	0,33	0,33	0,20	0,20
Geomorfologia	3	1	0,50	0,33	0,25
Curvatura	3	2	1	0,50	0,33
Solos	5	3	2	1	0,50
Declividade	5	4	3	2	1

Fonte: O autor, 2020.

Na sequência, pela coluna dos critérios, temos a relação geomorfologia e geologia (QUADRO 12), na qual a primeira tem importância 3 sobre o segundo. A atribuição deste valor seria pela geologia da BHRA ter rochas resistentes aos processos intempéricos, inclusive à erosão. Nesse sentido, as feições delimitadas nesta pesquisa refletem os efeitos da erosão linear, porque algumas morfologias possuem material a ser erodido, além de contribuir para concentração do fluxo e ter diferenças de declividade. Isso ajuda na transformação da energia derivada da precipitação em potencial ao desenvolvimento da erosão. Logo, os modelados de acumulação e denudação da BHRA tem relevância sobre a geologia em relação a suscetibilidade à erosão.

A próxima relação é a curvatura e geologia (QUADRO 12), a qual foi atribuído o valor de importância 3 do primeiro sobre o segundo. A curvatura tem mais significância para os processos erosivos por conduzir a dinâmica do escoamento superficial, que pode ocasionar a concentração do fluxo e intensificação da erosão linear. A curvatura ainda pode dispersar o fluxo hídrico pela encosta, e assim, favorecer a erosão laminar pela não canalização das águas na superfície do relevo. Nesse sentido, a forma do terreno é mais importante em relação à geologia por definir de forma direta as características hidrodinâmicas das encostas.

No par de correlação, solos e geologia (QUADRO 11), as características edáficas são essenciais sobre os aspectos geológicos. A contribuição das unidades litológicas aos solos é indiscutível, visto o material mineral e suas características intrínsecas são originárias das suas rochas constituintes. Todavia, a geologia da BHRA, por ter características de dureza muito similares e os processos erosivos lineares analisados serem sobre os solos, este ganha relevância em relação à litologia com valor 5. Logo, as ravinas e voçorocas objetos de estudo, vão se desenvolver sobre material já disposto na paisagem, isto é, os próprios solos e/ou manto de intemperismo. Os solos são analisados observando suas particularidades edáficas e localização no relevo, por exemplo, mesmo tendo uma maior concentração de argila e sendo profundo este pode estar mais susceptível a erosão por se encontrar em encosta declivosa.

A correspondência entre a declividade e a geologia (QUADRO 12) possui valor 5 da primeira sobre a segunda. As inclinações do relevo são determinantes aos processos erosivos por definirem maior energia ao fluxo. Ou seja, o *input* maior ocasiona mais velocidade ao fluxo superficial e poder abrasivo sobre os sedimentos dispostos na paisagem. As áreas de maior declividade, como as encostas, favorecem o escoamento superficial e tem mais potencial erosivo, em posição as de menor inclinação que beneficiam o processo de infiltração, visto ter menos energia e rapidez do fluxo, a exemplo dos terrenos planos.

Na segunda coluna tem-se a correlação entre a curvatura e a geomorfologia (QUADRO 12), em que o primeiro possui valor 2 em relação ao segundo. A curvatura das encostas possui uma significância pequena sobre as unidades geomorfológicas, sendo a concentração e acumulação do escoamento superficial primordial no processo erosivo; além de existirem unidades geomorfológicas com baixo potencial a erosão, a exemplo das planícies fluviais. A comparação entre os critérios de solos e da geomorfologia possui peso 3 (QUADRO 12), dando mais favorecimento aos solos. A presença de solo na paisagem já predispõe material a ser erodido e, desta forma, se faz mais importante sobre o critério das unidades geomorfológicas.

Na relação declividade e geomorfologia tem-se uma predominância do primeiro sobre o segundo, com um valor de importância 4 (QUADRO 12). A declividade é a essência para o desenvolvimento da erosão, visto a mesma fazer o fluxo adquirir velocidade com as maiores inclinações do relevo e, conseqüentemente, poder de abrasão sobre o terreno.

Na terceira coluna a relação entre os critérios solos e curvatura da encosta temos o valor 2 (QUADRO 12), com uma importância menor do primeiro em relação ao segundo. A justificativa é pelo princípio básico do processo erosivo ocorrer a partir da existência de material predisposto a ser mobilizado na paisagem, logo, os solos são elementos fundamentais ao desenvolvimento do processo erosivo. Sendo a concentração do fluxo em algumas categorias de encostas é relevante aos processos erosivos, para o desencadeamento de tal processo demanda-se a existência de sedimentos a serem erodidos. Por isso, mesmo sendo imprescindível a curvatura no desenvolvimento da erosão os solos têm uma baixa importância sobre a mesma.

A associação entre os critérios da declividade e curvatura tem importância menor entre o primeiro e o segundo, com valor 3 (QUADRO 12). A inclinação da paisagem tem mais significância na erosão da BHRA. Na quarta coluna inicia a ligação entre a declividade e solos, tendo uma pequena superioridade do primeiro critério sobre o outro com atribuição do valor 2 (QUADRO 12). A declividade é considerada, nesta pesquisa, um dos elementos naturais mais importante para o desenvolvimento do processo erosivo, mesmo sabendo da necessidade de solos para ocorrer a erosão.

Assim, sobre a matriz quadrada de correlação dos critérios de suscetibilidade à erosão na BHRA temos uma ordem de importância, sendo ela: geologia, geomorfologia, curvatura, solos e declividade. Evidenciando que o processo de análise é sistêmico e a comunhão destes critérios é imprescindível para a compreensão holística da suscetibilidade à erosão.

As demais relações entre os critérios são analogias proporcionalmente inversas (QUADRO 12), ou seja, são o contrário das associações analisadas acima. Através dessas

ligações foi construído o peso de cada critério na suscetibilidade à erosão linear, como evidenciado no quadro 13. Esta matriz de normalização entre os critérios é pertinente porque demonstra a participação dos elementos na suscetibilidade e serve de base para o processo de espacialização dos resultados.

Quadro 13 - Matriz de normalização entre os critérios de suscetibilidade à erosão na bacia hidrográfica do Aripibú, PE.

Crítérios	Geologia	Geomorfologia	Curvatura	Solos	Declividade	Peso
Geologia	0,06	0,03	0,05	0,05	0,09	0,06
Geomorfologia	0,18	0,10	0,07	0,08	0,11	0,11
Curvatura	0,18	0,19	0,15	0,12	0,15	0,16
Solos	0,29	0,29	0,29	0,25	0,22	0,27
Declividade	0,29	0,39	0,44	0,50	0,44	0,41

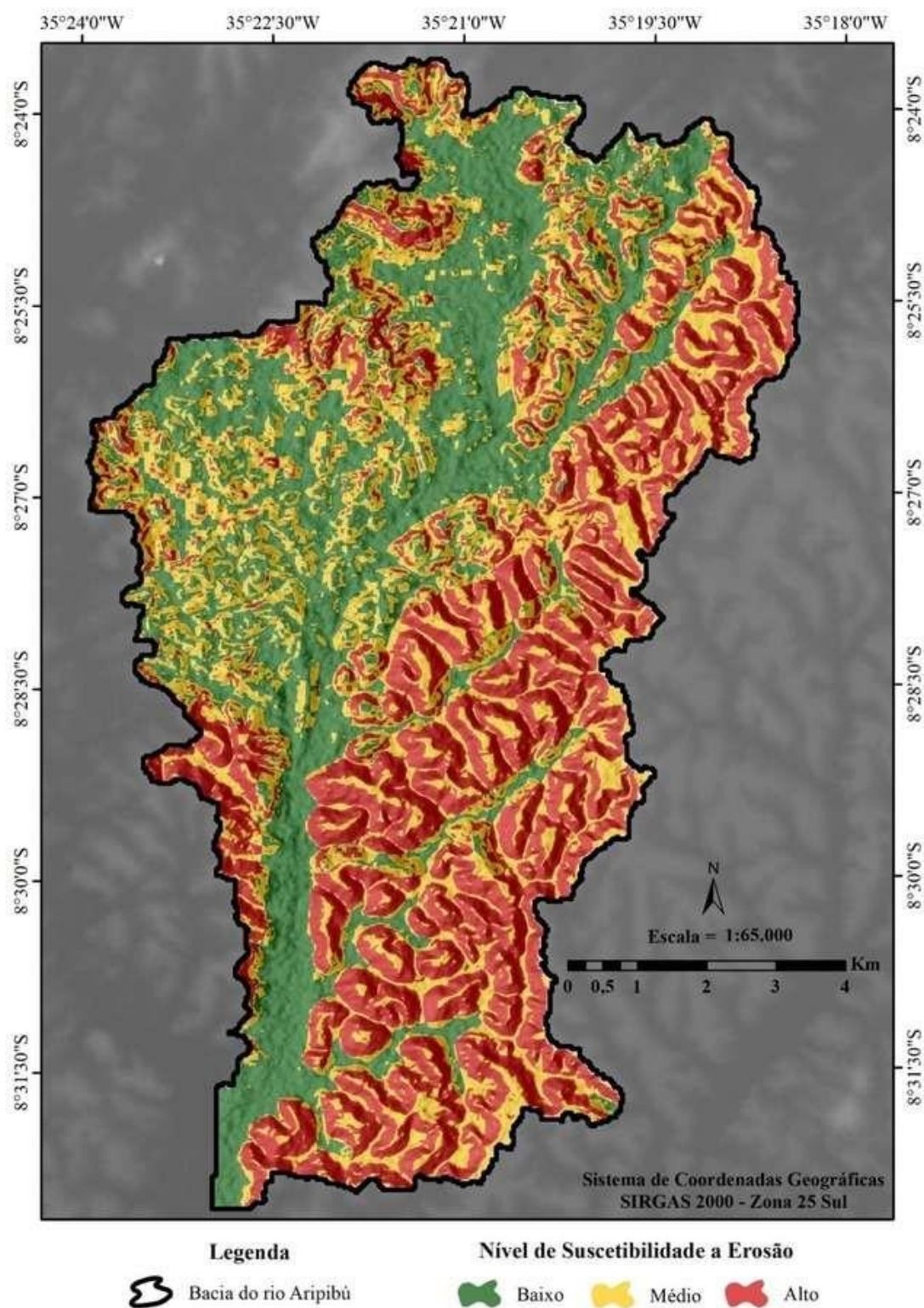
Fonte: O autor, 2020.

Observa-se em ordem crescente os pesos dos critérios, indo da geologia até a precipitação (QUADRO 13), levando ao entendimento da hierarquia e grau de importância dos critérios no processo de suscetibilidade à erosão. A segurança dos valores foi verificada através do cálculo da razão de consistência, referente aos critérios usados o valor foi de 0,03. Este ficou dentro do considerado aceitável, ou seja, devido o valor encontrado ser inferior a 0,10 consideram-se os resultados alcançados adequados para a concretização da espacialização e superposição dos mapas. Assim, foi confeccionado o mapa de suscetibilidade à erosão linear na bacia do rio Aripibú (FIGURA 66).

A união dos níveis de suscetibilidade à erosão linear para os critérios (geologia, geomorfologia, curvatura, solos e declividade) resultou, através dos seus respectivos pesos, em maior ou menor propensão à erodibilidade (FIGURA 66). Observa-se que os três níveis (alto, médio e baixo), tem distribuição obedecendo à comunhão das suscetibilidades dos indicadores, dando destaque aos critérios com maior peso, a exemplo da declividade. A mesma por conter mais significância (QUADRO 13), determinou a espacialização dos níveis.

A declividade por conter importância nesse cenário (QUADRO 13), contribui para que as maiores declividades sejam classificadas com nível alto de suscetibilidade à erosão (FIGURA 66). As encostas das colinas foram consideradas como sendo as áreas mais propensas a erosão, inversamente aos fundos dos vales e regiões planas, com menor probabilidade a constituição das incisões lineares. Os solos também foram determinantes na confecção do primeiro cenário, evidenciado, regiões com pouca declividade, porém com propensão a desenvolver processos erosivos. De modo geral, a maior suscetibilidade desse cenário está nos locais com associação dos elementos da declividade e dos solos.

Figura 66 - Primeiro cenário dos níveis de suscetibilidade à erosão da bacia hidrográfica do Aripibú, Pernambuco.

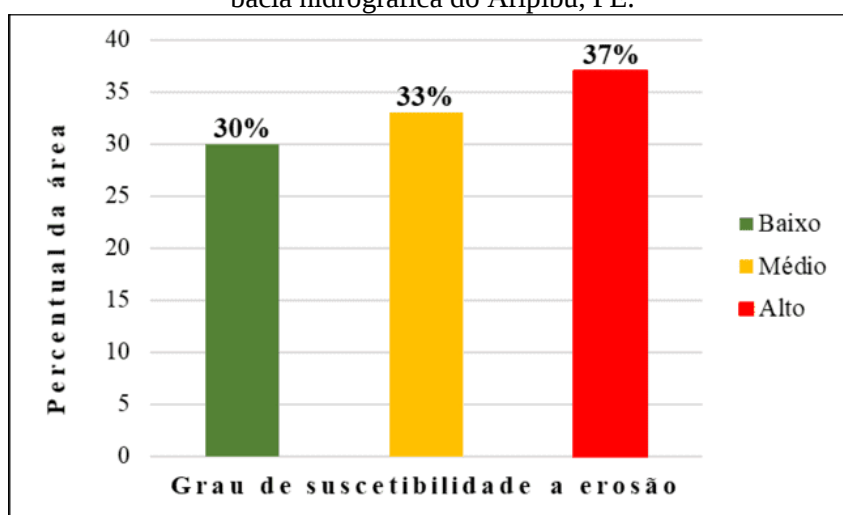


Fonte: O autor, 2020.

Em relação à proporcionalidade das áreas e os níveis de suscetibilidade à erosão neste cenário (FIGURA 66), temos valores muito próximos. O nível baixo (FIGURA 66), possui o

menor índice com 30% da área da BHRA, ou seja, a minoria do território encontra-se classificado com baixa propensão a erosão linear. O nível médio detém 33% e o alto possui 37% (FIGURA 67), observa-se que a soma do grau médio e baixo corresponde a 63%, significando grande extensão territorial menos suscetível aos processos erosivos. Todavia, 37% está configurando com alta possibilidade de desenvolvimento da erosão, sendo um dado preocupante, devendo-se considerar formas de planejamento e gerenciamento do ambiental e territorial.

Figura 67 - Gráfico da porcentagem da área do primeiro cenário para os níveis de suscetibilidade da bacia hidrográfica do Aripibú, PE.



Fonte: O autor, 2020.

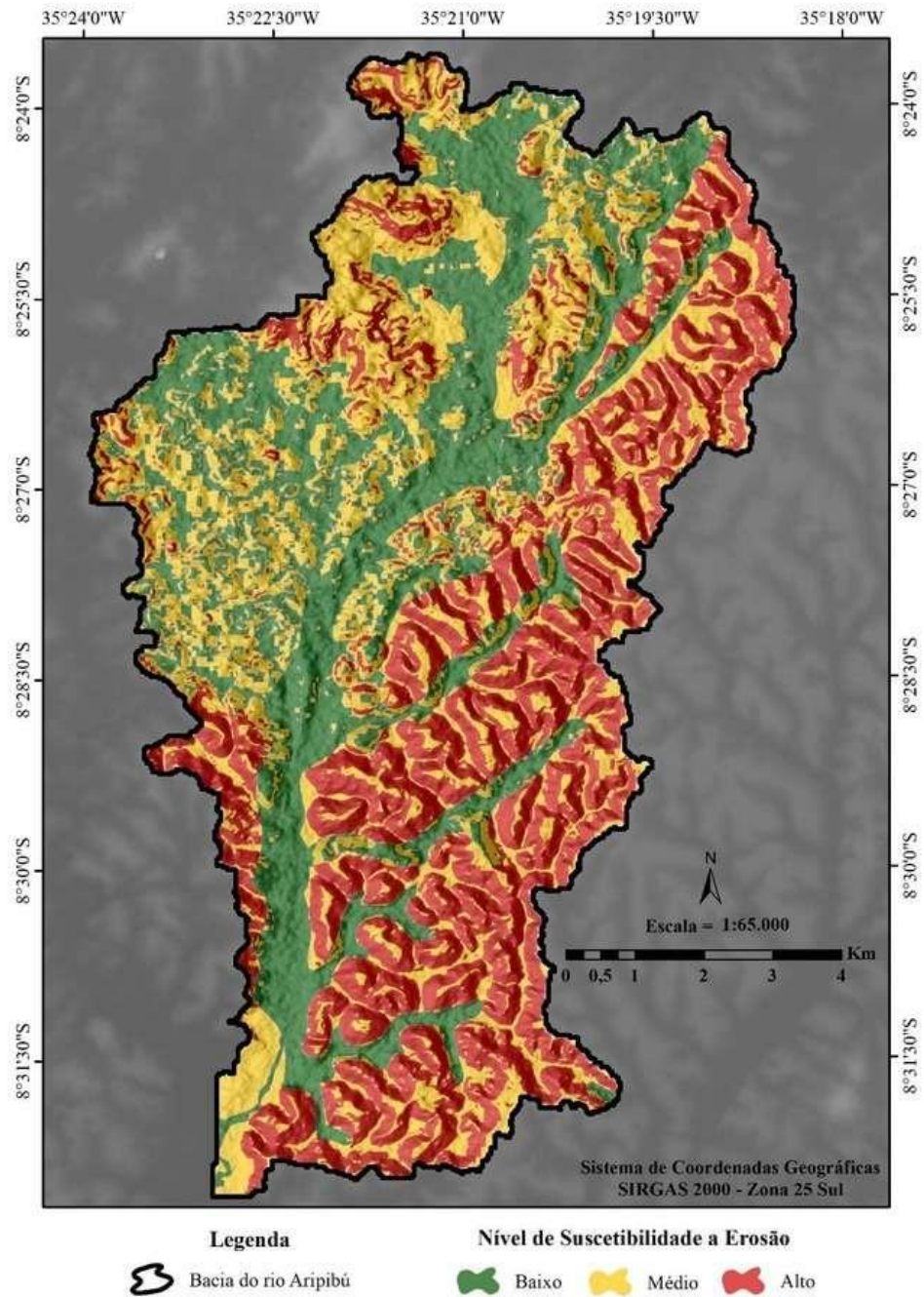
De modo a verificar novas análises, a troca do critério de declividade pelo de solos foi edificada para a construção do segundo cenário de suscetibilidade à erosão linear. Isto é, a declividade ficou com o segundo maior destaque entre todos os critérios, assim os dois parâmetros foram invertidos (QUADRO 14), o solo com peso 0,41, enquanto a declividade com 0,27. A chuva é a entrada de energia no sistema e inicia o processo erosivo tendo papel fundamental para o processo erosivo, porém a declividade tem sua proeminência por afetar a velocidade do fluxo superficial, ou seja, os maiores declives vão desenvolver maior energia potencial para retirar os sedimentos dos solos mesmo com pouca precipitação. Portanto, a troca do elemento declividade por solo é imprescindível para verificar qual dos dois cenários (FIGURA 66 e 68), aproxima-se mais da realidade analisada na área de pesquisa.

Quadro 14 - Matriz de normalização entre os critérios de suscetibilidade à erosão na bacia hidrográfica do Aripibú, PE.

Critérios	Geologia	Geomorfologia	Curvatura	Solos	Declividade	Peso
Geologia	0,06	0,03	0,05	0,05	0,09	0,06
Geomorfologia	0,18	0,10	0,07	0,08	0,11	0,11
Curvatura	0,18	0,19	0,15	0,12	0,15	0,16
Declividade	0,29	0,29	0,29	0,25	0,22	0,27
Solos	0,29	0,39	0,44	0,50	0,44	0,41

Fonte: O autor, 2020.

Figura 68 - Segundo cenário dos níveis de suscetibilidade à erosão da bacia hidrográfica Aripibú, Pernambuco.

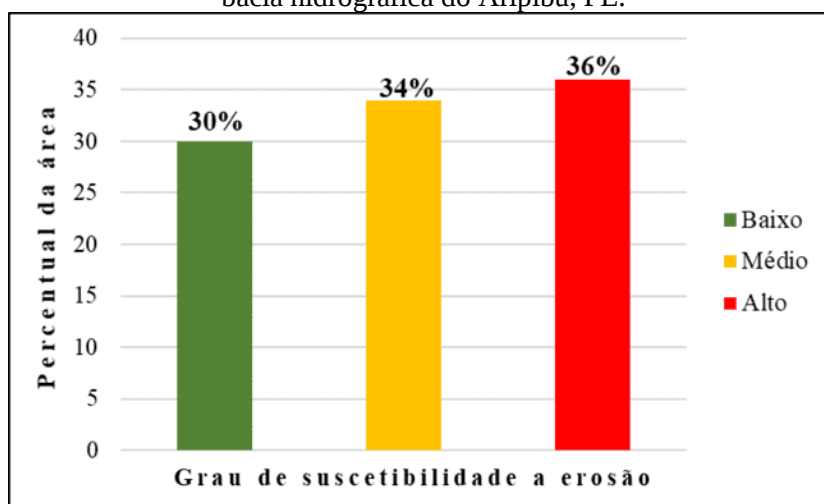


Fonte: O autor, 2020.

O segundo cenário possui uma distribuição espacial das classes de suscetibilidade semelhante ao primeiro cenário. As classes de alta e média propensão a erosão estão concentradas nas colinas, especificamente nas encostas (FIGURA 68). Os espaços com solos de maior erodibilidade e declive ganharam notoriedade com grau médio até alto, estando localizados principalmente na parte das colinas convexas da BHRA. Enquanto, as regiões com menor inclinação e solos menos suscetíveis a erosão, predominou a classe com baixa predisposição aos processos erosivos, portanto, inseridas nos espaços planos como as planícies e topo das colinas.

O nível baixo de suscetibilidade à erosão linear neste segundo cenário possui 30% da área da BHRA (FIGURA 69), vislumbrando a menor extensão entre os demais níveis. Esse indicador demonstra que, na sua maioria territorial, a BHRA apresenta amplo território suscetível ao desenvolvimento dos processos erosivos. Os espaços classificados com grau médio e alto possuem 34% e 36% respectivamente, sendo estas áreas as mais propensas a erosão, devendo haver nestas maiores atenções ao gerenciamento do solo.

Figura 69 - Gráfico da porcentagem da área do segundo cenário para os níveis de suscetibilidade da bacia hidrográfica do Aripibú, PE.



Fonte: O autor, 2020.

Em relação ao primeiro cenário (FIGURA 66), este segundo se configura com valor percentual de espaço em relação os graus de suscetibilidade a erosão semelhantes. Além de existir similaridade na organização espacial das três classes, nas quais os elementos de similitude entre os cenários são as colinas, com os maiores declives, localizadas em todo o espaço da BHRA. O primeiro cenário possui mais áreas com nível alto de suscetibilidade à erosão por ter a declividade como critério primordial. Assim, a erosão pode acontecer em locais

mesmo tendo pouca declividade. O segundo cenário tem a declividade como fator secundário em analogia a solos, logo, mesmo em regiões planas dentro da bacia pode ser suscetível pela classe de solos existente no espaço ser mais importante.

Frisa-se que ambos os cenários se encontram em consonância de condições satisfatórias da metodologia utilizada. A diferenciação ocorre pela alternância da escolha dos elementos, declividade e solos, como mais pertinentes ao desenvolvimento dos processos erosivos. A construção desses é imprescindível para melhor compreensão da atuação dos elementos no sistema da BHRA, pois identifica os espaços mais propensos a erosão. Assim, a criação de um terceiro cenário, foi edificada para amplificar o diagnóstico das regiões, com probabilidade ao desgaste do solo através da erosão dando ênfase agora a curvatura da encosta.

No terceiro cenário, foi dado um destaque a curvatura da encosta como elemento de maior relevância. Ou seja, o critério da declividade foi invertido com o de curvatura (QUADRO 15), a troca foi necessária para verificar um cenário com maior peso de suscetibilidade ao mesmo. A erosão analisada na BHRA é do tipo linear ocorrente sobre os solos e principalmente nos locais de maior declividade, portanto, a presença destes elementos é imprescindível ao desenvolvimento erosivo. Todavia, o formato da encosta tem sua relevância por poder concentrar ou dispersar o escoamento superficial, assim, é crucial um cenário no qual a curvatura seja preponderante na erosão da BHRA.

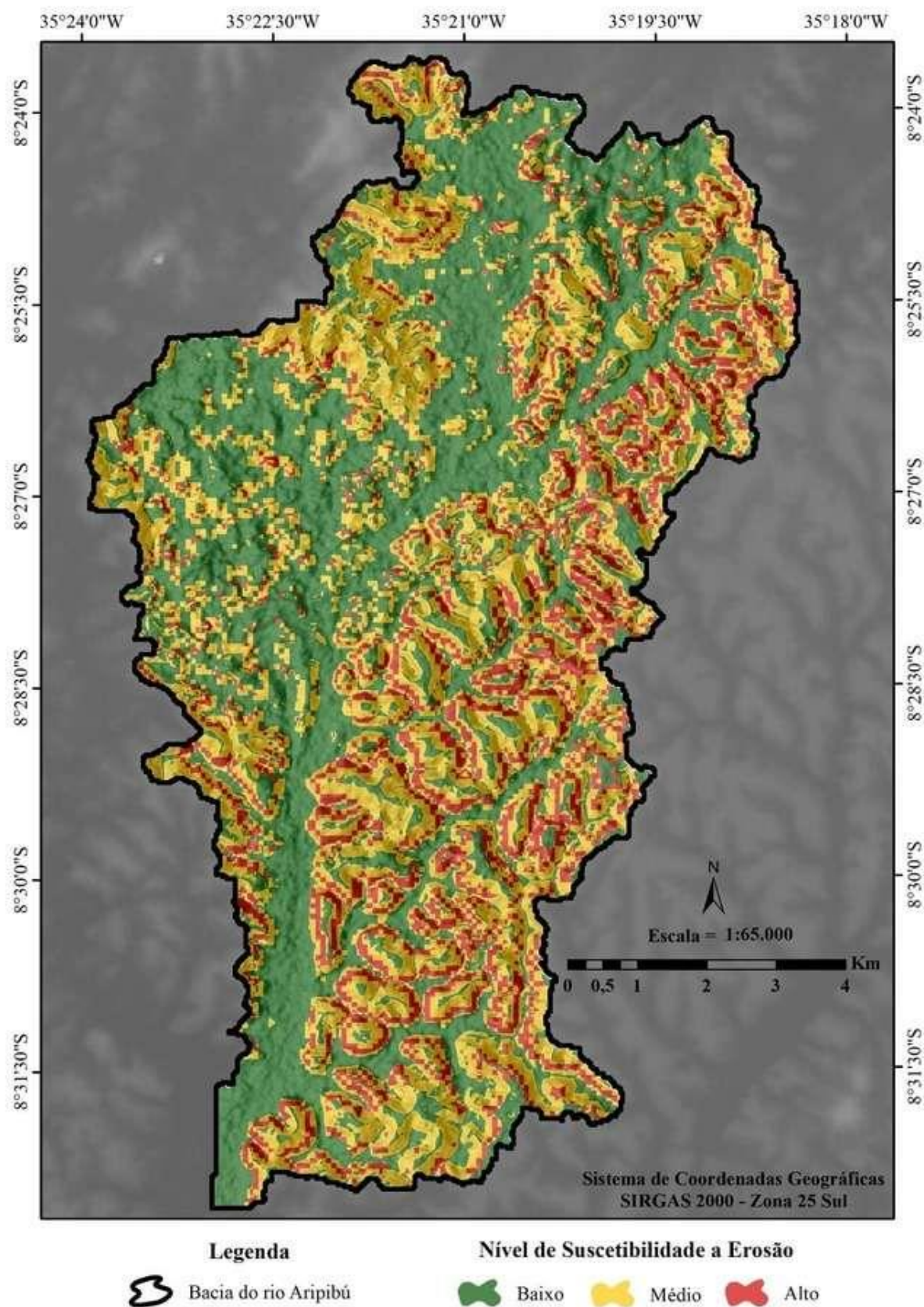
Quadro 15 - Matriz de normalização entre os critérios de suscetibilidade à erosão na bacia hidrográfica do Aripibú, PE.

Critérios	Geologia	Geomorfologia	Curvatura	Solos	Declividade	Peso
Geologia	0,06	0,03	0,05	0,05	0,09	0,06
Geomorfologia	0,18	0,10	0,07	0,08	0,11	0,11
Solos	0,18	0,19	0,15	0,12	0,15	0,16
Declividade	0,29	0,29	0,29	0,25	0,22	0,27
Curvatura	0,29	0,39	0,44	0,50	0,44	0,41

Fonte: O autor, 2020.

A geometria das encostas seja ela côncava, convexa, retilínea e suas derivações advindas do seu cruzamento determina o escoamento superficial. Isto é, as características de cada encosta podem favorecer ou não os processos erosivos lineares mesmo tendo outros elementos como, por exemplo, declividade elevada. Visto, o fluxo numa encosta bastante declivosa e com grande rampa, pode não ser suficiente para desenvolver uma erosão linear se o escoamento for desconcentrado, ou seja, difuso. Portanto, um cenário de suscetibilidade natural aos processos erosivos tendo a curvatura como elemento principal é pertinente ao conhecimento da dinâmica da BHRA (FIGURA 70).

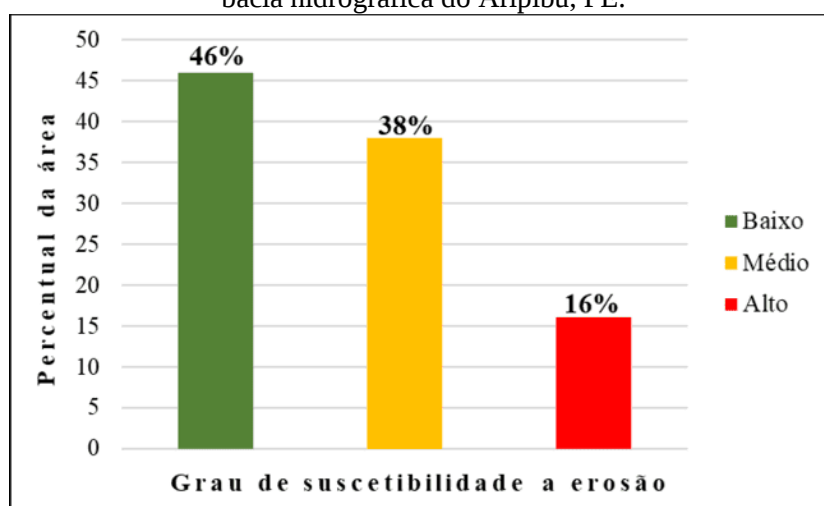
Figura 70 - Terceiro cenário dos níveis de suscetibilidade à erosão da bacia hidrográfica do Aripibú, PE.



Fonte: O autor, 2020.

No terceiro cenário (FIGURA 70), a classe baixa teve um aumento em relação ao segundo (FIGURA 71), visto ocorrer mais importância para a geometria da encosta. A classe média de suscetibilidade aumentou pouco de 34% para 38% do território da BHRA, mantendo uma constância. O nível alto caiu bastante de 36% para 16% sobre o segundo cenário, visto os elementos, declividade e solos terem grau de importância menor em relação à curvatura da encosta. Logo, o fator mais relevante neste cenário não está em ter solos mais suscetíveis e encostas íngremes, e sim no formato do relevo, especificamente a encosta.

Figura 71 - Gráfico da porcentagem da área do terceiro cenário para os níveis de suscetibilidade da bacia hidrográfica do Aripibú, PE.



Fonte: O autor, 2020.

A distribuição do percentual de área dos graus de suscetibilidade à erosão teve o nível baixo como maior extensão territorial da BHRA dentre os três cenários (FIGURA 71). Mesmo tendo o grau baixo elevado deve se considerar que a comunhão entre os níveis médio e alto vislumbra 54% da área, esse indicador é preocupante, pois mais da metade da BHRA encontra-se com condições naturais ao desenvolvimento da erosão. Assim, os elementos mais significativos na erosão neste terceiro cenário são o formato da encosta, altos declives, a distribuição e peculiaridades dos solos.

Os critérios analisados (geologia, geomorfologia, curvatura, solos e declividade), para confeccionar os três cenários foram de âmbito natural, ou seja, existem na paisagem com ou sem a presença antrópica na mesma. A conjuntura desses elementos pode ser denominada de suscetibilidade natural a erosão por considerar apenas o meio ambiente sem a interferência da humanidade. O diagnóstico dos cenários evidenciou que os critérios, declividade, solos e curvatura são mais relevantes aos processos erosivos na BHRA. O critério antrópico por alterar

a morfodinâmica da paisagem foi considerado importante na pesquisa, sendo assim, foram criados mais dois cenários acrescentando o elemento da cobertura e uso da terra, visto que este interfere diretamente nos demais critérios e consequentemente no sistema erosivo da bacia hidrográfica em foco.

O critério cobertura e uso da terra foi considerado mais importante dentre os demais, tendo uma relação de maior a menor relevância de acordo com o critério comparado (QUADRO 16). Assim, a correspondência estabelecida entre o uso e a geologia é de 7, da geomorfologia é 5, curvatura 4, dos solos e da declividade 3, ressaltando, o número maior tem predominância mais significativa de um critério sobre o outro. As demais relações entre os critérios foram permanecidas obedecendo a mesma lógica do primeiro cenário.

Quadro 16 - Matriz quadrada de correlação dos critérios de suscetibilidade à erosão na bacia hidrográfica do Aripibú, Pernambuco.

Critério	Geologia	Geomorfologia	Curvatura	Solos	Declividade	Uso
Geologia	1	0,50	0,33	0,25	0,20	0,14
Geomorfologia	2	1	0,50	0,33	0,33	0,20
Curvatura	3	2	1	0,50	0,33	0,25
Solos	4	3	2	1	0,50	0,33
Declividade	5	3	3	2	1	0,14
Uso da Terra	7	5	4	3	3	1

Fonte: O autor, 2020.

O uso da terra tem uma interferência direta no sistema da BHRA, mesmo nos três cenários dos quais são constituídos só pelo quadro natural, um território classificado com nível baixo a suscetibilidade à erosão pode desenvolver a mesma. Portanto, a interferência antrópica pode criar e/ou intensificar os processos erosivos nos solos através do uso e ocupação da terra, assim esse critério obteve o peso maior (QUADRO 17), no quarto e quinto cenário.

Quadro 17 - Matriz de normalização entre os critérios de suscetibilidade à erosão na bacia hidrográfica do Aripibú, PE

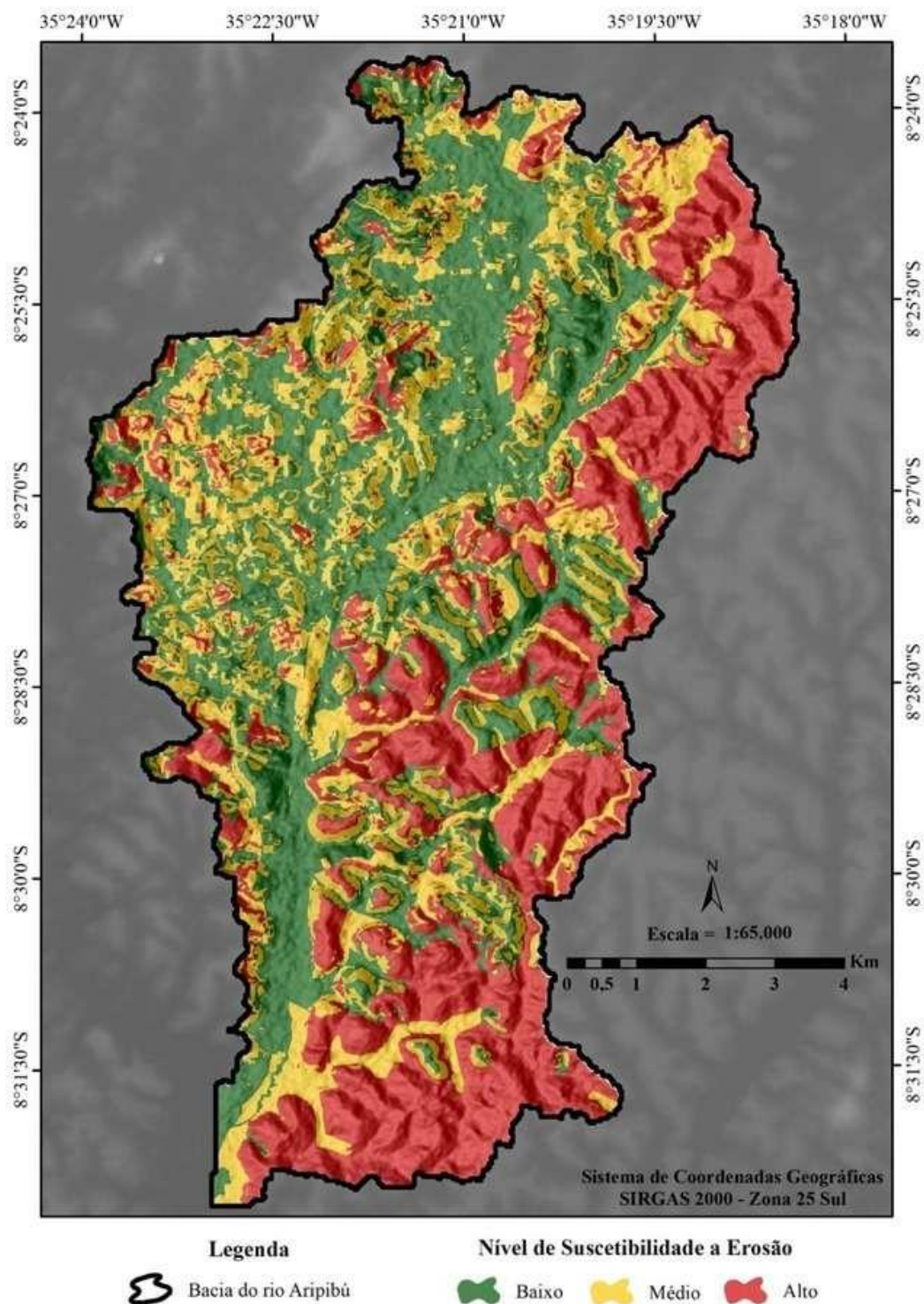
Critério	Geologia	Geomorfologia	Curvatura	Solos	Declividade	Uso	Peso
Geologia	0,05	0,03	0,03	0,04	0,04	0,07	0,04
Geomorfologia	0,09	0,07	0,05	0,05	0,06	0,10	0,07
Curvatura	0,14	0,14	0,09	0,07	0,06	0,12	0,10
Solos	0,18	0,21	0,18	0,14	0,09	0,16	0,16
Declividade	0,23	0,21	0,28	0,28	0,19	0,07	0,21
Uso da Terra	0,32	0,34	0,37	0,42	0,56	0,48	0,42

Fonte: O autor, 2020.

No quarto cenário (FIGURA 72), a distribuição espacial dos níveis de suscetibilidade apresentou-se diferente em relação aos demais. Pôr o uso da terra ser o critério mais importante nesse cenário ocorre naturalmente predominância de suas particularidades de classes de

propensão a erosão sobre os outros critérios. Isto é, o uso se sobrepõe nas áreas mais vulneráveis aos processos erosivos da BHRA, ratificando que os demais critérios não são descartados, apenas exercem graus de influência distintos no resultado.

Figura 72 - Quarto cenário dos níveis de suscetibilidade à erosão da bacia hidrográfica do Aripibú, Pernambuco.

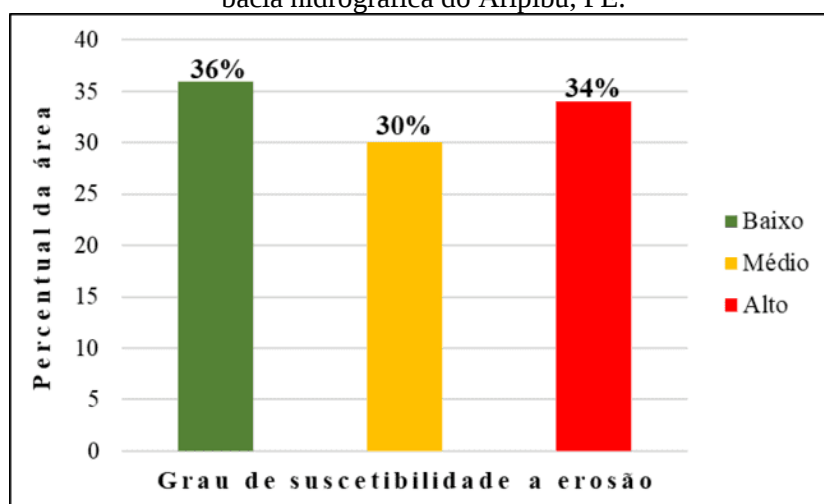


Fonte: O autor, 2020.

No quarto cenário (FIGURA 72) os espaços com baixa suscetibilidade à erosão tiveram uma disposição espacial mais concentrada nas proximidades dos canais, nos locais com usos diversos e nas regiões de resquício da vegetação conservada. Ocorre essa configuração por estas áreas terem usos com baixa predisposição a erosão, por isso estão concentradas nesses territórios se comparadas aos três primeiros cenários. A classe de suscetibilidade média do quarto cenário possui uma distribuição espacial nas proximidades do nível alto, ou seja, margeado os territórios classificados com grau alto estando disposta de forma predominante sobre a parte da encosta das colinas.

As regiões do quarto cenário da BHRA, com alta suscetibilidade à erosão, são equivalentes em analogia às duas outras classes (FIGURA 73). As maiores declividades associado ao uso da cana-de-açúcar influenciaram na localização dos espaços com nível alto aos processos erosivos na bacia. Por conseguinte, a distribuição dos mesmos ficou concentrada principalmente em dois núcleos, um a nordeste no alto curso da BHRA e outro disposto ao sul nas proximidades da foz do rio Aripibú. A unidade geomorfológica colinas, principalmente as encostas foi a região com predominância do nível alto de predisposição a erosão linear.

Figura 73 - Gráfico da porcentagem da área do quarto cenário para os níveis de suscetibilidade da bacia hidrográfica do Aripibú, PE.



Fonte: O autor, 2020.

Através dos dados foi possível quantificar porcentagem de área para as três classes (FIGURA 73) compreendidas na BHRA. O quantitativo percentual de área para cada classe de sustentabilidade a erosão na bacia não ficou muito distinta dos outros três cenários já analisados. O nível baixo obteve 36% sendo o segundo maior entre os demais cenários, já a categoria média atingiu o menor índice percentual com 30% em relação aos quatro cenários. Por fim, a classe

alta ficou com 34% da BHRA (FIGURA 73), isto é, um terço do território possui grandes possibilidades a desenvolver erosão linear. Os valores desse quarto cenário são resultados condizentes com a influência mais significativa dos critérios, uso da terra, declividade e solos.

No quinto cenário foi realizado a troca da declividade por solos em grau de importância, ou seja, o uso da terra continuou com 0,42, solos com 0,21 e a declividade obteve 0,16 (QUADRO 18). Esta disposição dos pesos é fundamental para analisar a declividade e solos como sendo um dos elementos de âmbito natural mais determinante no processo erosivo da BHRA. Salientando-se que a cobertura e uso da terra é considerado um dos mais importantes critérios, pois sua ação pode ser determinante na geração ou/e intensificação da erosão. Logo, o mesmo possui o maior peso sobre a sobreposição das camadas de suscetibilidade aos processos de erosão dos solos da bacia em questão.

Quadro 18 - Matriz de normalização entre os critérios de suscetibilidade à erosão na bacia hidrográfica do Aripibú, PE

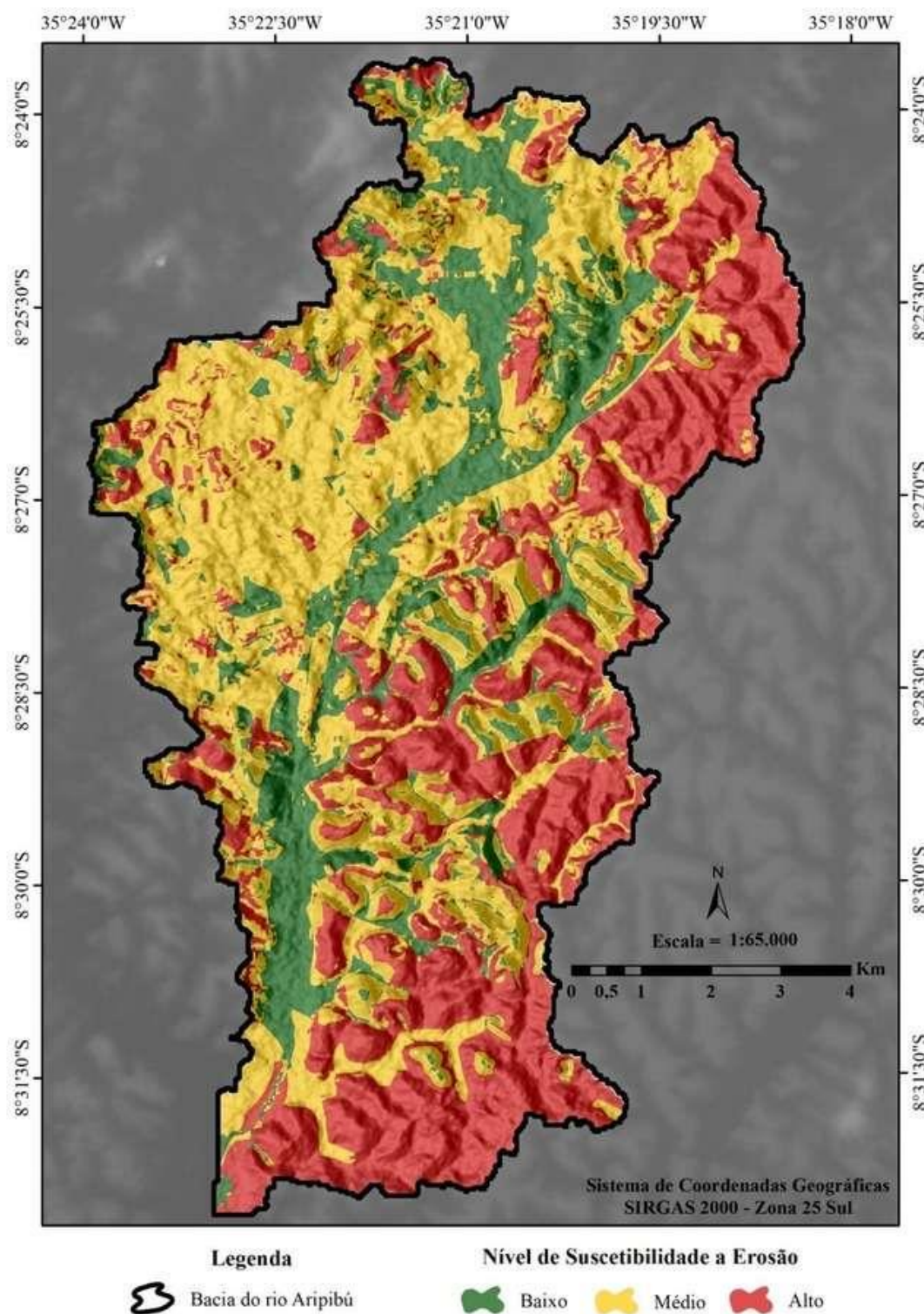
Critério	Geologia	Geomorfologia	Curvatura	Solos	Declividade	Uso	Peso
Geologia	0,05	0,03	0,03	0,04	0,04	0,07	0,04
Geomorfologia	0,09	0,07	0,05	0,05	0,06	0,10	0,07
Curvatura	0,14	0,14	0,09	0,07	0,06	0,12	0,10
Declividade	0,18	0,21	0,18	0,14	0,09	0,16	0,16
Solos	0,23	0,21	0,28	0,28	0,19	0,07	0,21
Uso da Terra	0,32	0,34	0,37	0,42	0,56	0,48	0,42

Fonte: O autor, 2020.

No quinto cenário tem no nível baixo de suscetibilidade uma menor distribuição pela bacia (FIGURA 74), considerando primordialmente as áreas menos declivosas, com solos mais resistentes a erosão e de uso florestal. Por isso, contempla as regiões planas como as planícies fluviais, fundo dos vales e topos das colinas. A classe de nível médio tem uma distribuição ampla, abarcando locais em toda a bacia (FIGURA 74). Isto é, a localização dos espaços classificados como médio estão principalmente sobre as encostas das colinas, solos mais propensos a erosão, usos diversos da terra e pertencentes as maiores declividades.

O terceiro nível de suscetibilidade à erosão tem sua disposição na bacia de forma concentrada (FIGURA 74), em analogia aos dois outros níveis, estando circunscritos prioritariamente nas áreas mais íngremes das encostas nas colinas, com solos mais vulneráveis a erosão e com uso relativo ao plantio de cana-de-açúcar. O quinto cenário tem apenas 20% de sua área territorial classificada com nível baixo de suscetibilidade à erosão (FIGURA 75), significando um dado importante, pois são poucos espaços vulneráveis e com possibilidades maiores a sua utilização.

Figura 74 - Quinto cenário dos níveis de suscetibilidade à erosão da bacia hidrográfica do Aripibú, Pernambuco.

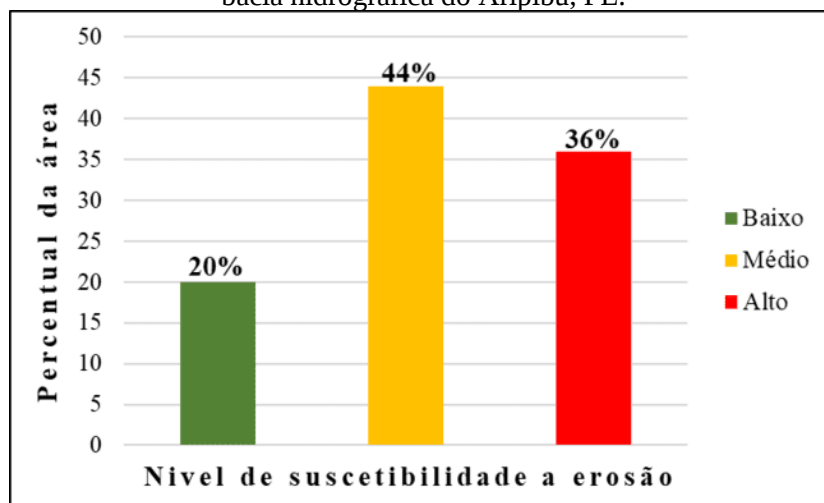


Fonte: O autor, 2020.

O nível médio detém um valor de 44% do território da BHRA (FIGURA 75), todavia o mesmo é alarmante por conter muitos espaços com predisposição considerável ao desenvolvimento da erosão. Por fim, a classe alta de suscetibilidade aos processos erosivos

possui 36% da região da BHRA (FIGURA 75). O valor é expressivo por ser mais de um terço do território, sendo preocupante porque são locais de fácil promoção da erosão linear.

Figura 75 - Gráfico da porcentagem da área do quinto cenário para os níveis de suscetibilidade da bacia hidrográfica do Aripibú, PE.

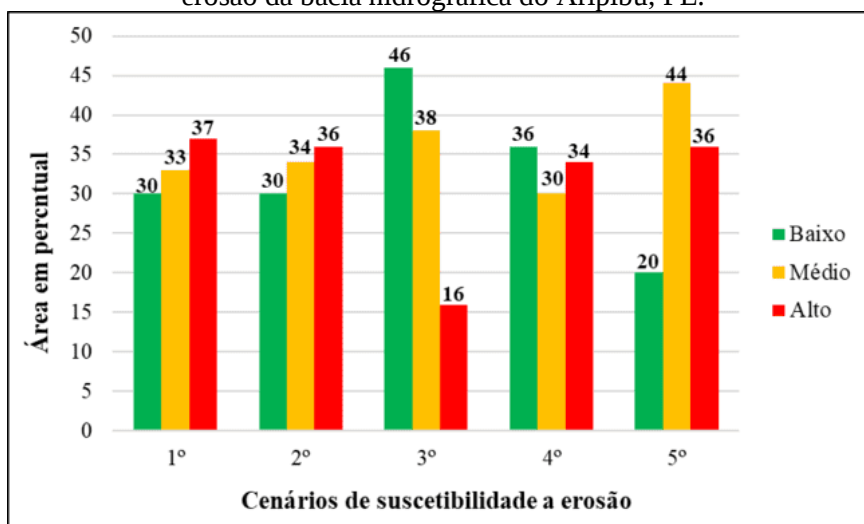


Fonte: O autor, 2020.

Os cinco cenários demonstraram vários resultados distintos para os três níveis de suscetibilidade à erosão linear na bacia do rio Aripibú. A distribuição espacial dos níveis na bacia foi variável e o percentual do território destes teve considerável flutuação (FIGURA 76). Ocorrendo diferenciação entre os níveis dentro de um cenário e distinção entre os vários cenários (FIGURA 76). Logo, os resultados evidenciaram dados distintos em todos os cenários, sendo possível categorizar estes para demonstrar pontos de vista diverso sobre a suscetibilidade da bacia aos processos erosivos.

O terceiro e o quarto cenário têm a melhor perspectiva positiva em relação ao desenvolvimento da erosão, pois, seu grau de suscetibilidade baixo obteve respectivamente 46% e 36% do espaço da bacia hidrográfica do Aripibú (FIGURA 76). Esse dado demonstra que quase metade da bacia não está com probabilidade aparente de ocorrer erosão, nesses cenários os critérios com maior peso foram a uso da terra, declividade e solos. O primeiro cenário foi o pior panorama para a bacia, visto ter 37% de sua área ao nível alto de propensão a constituição da erosão (FIGURA 76), se acrescido do valor médio soma-se 70% de regiões vulneráveis. Portanto, este cenário é péssimo a conservação da paisagem, frisando, os critérios principais da formação do mesmo serem declividade, solos e curvatura da encosta.

Figura 76 - Gráfico da porcentagem da área dos cinco cenários para os níveis de suscetibilidade à erosão da bacia hidrográfica do Aripibú, PE.

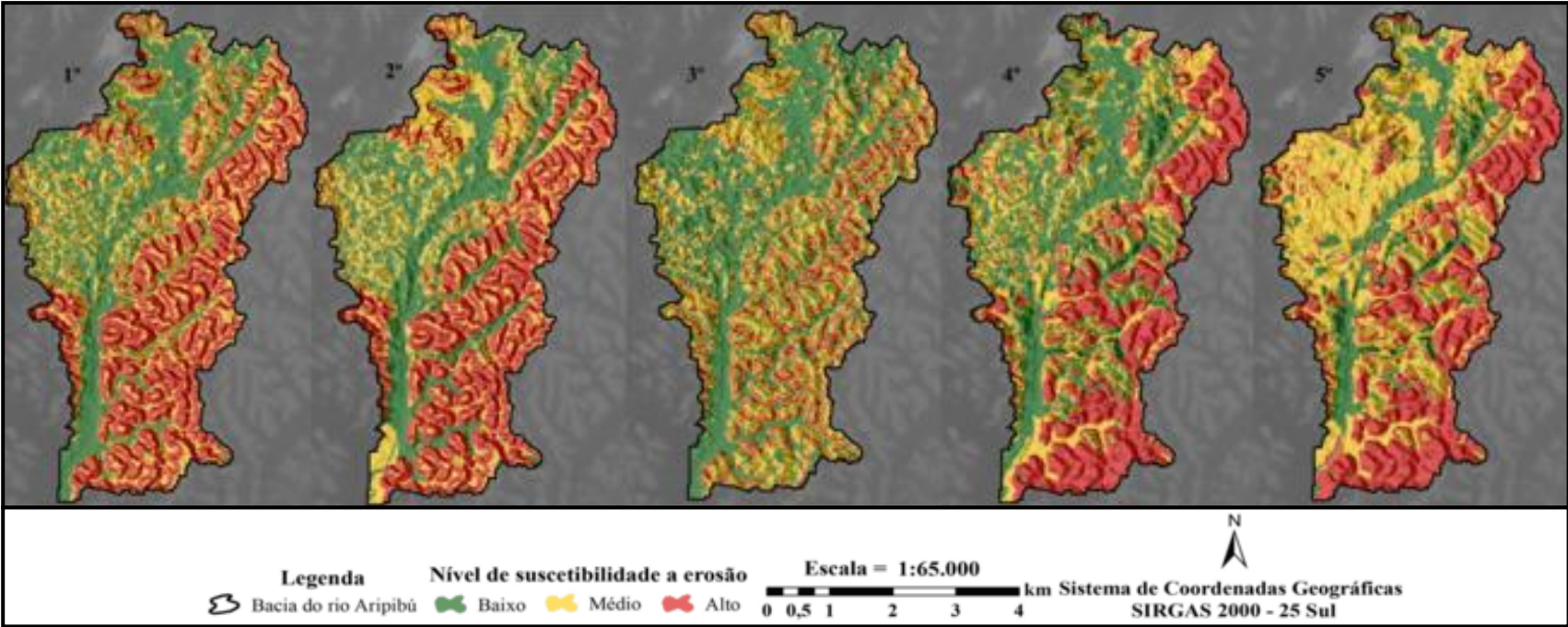


Fonte: O autor, 2020.

Nos três primeiros cenários (FIGURA 77), só se utilizou de parâmetros do âmbito natural (QUADRO 18), tendo se configurado com valores muito próximos entre os níveis de suscetibilidade à erosão. A classe média foi o nível que menos oscilou (FIGURA 76), obtendo 33% no primeiro, 34% no segundo e 38% no terceiro cenário. Em relação aos dois últimos cenários, o panorama ruim foi o quinto com maior percentual de área em quilômetros quadrados, com alta predisposição ao desenvolvimento da erosão linear (FIGURA 76). Em compensação o quarto cenário obteve 36% de áreas com baixa vulnerabilidade a ocorrência da denudação, sendo um dado importante por contemplar espaços com pouca suscetibilidade à erosão. Portanto, quanto mais área estiverem classificadas ao nível alto e médio mais cuidados deve-se tomar nas ações realizadas na paisagem bacía.

Assim, os cinco cenários de modo geral obtiveram resultados próximos entre os níveis de suscetibilidade (FIGURA 76). Na suscetibilidade natural, ou seja, nos três primeiros cenários os critérios mais importantes foi declividade, solos e curvatura (QUADRO 19). Nos dois últimos cenários a cobertura e uso da terra se destacou por ser determinante na constituição e desenvolvimento dos processos erosivos da bacía. Os critérios de importância maior para a suscetibilidade antrópica foi uso da terra, declividade e solos. Salientando, a união das suscetibilidades de cada critério e a constituição dos cenários corresponde a uma interpretação da pesquisa da realidade não sendo verdade única e imutável.

Figura 77 – Cartograma dos cinco cenários dos níveis de suscetibilidade à erosão da bacia hidrográfica do Aripibú, Pernambuco.



Fonte: O autor, 2020.

Quadro 19: Ordenação do grau de importância dos critérios de suscetibilidade à erosão para os cinco cenários.

Hierarquia	1.º Cenário	2.º Cenário	3.º Cenário	4.º Cenário	5.º Cenário
1.º	Declividade	Solos	Curvatura	Uso	Uso
2.º	Solos	Declividade	Declividade	Declividade	Solos
3.º	Curvatura	Curvatura	Solos	Solos	Declividade
4.º	Geomorfologia	Geomorfologia	Geomorfologia	Curvatura	Curvatura
5.º	Geologia	Geologia	Geologia	Geomorfologia	Geomorfologia
6.º	-----	-----	-----	Geologia	Geologia

Fonte: O autor, 2020.

8. VALIDAÇÃO DA SUSCEPTIBILIDADE À EROSÃO LINEAR

O capítulo aborda a correlação das unidades de paisagem da bacia hidrográfica do rio Aripibú com as erosões encontradas em trabalhos de campo. Posteriormente, tem-se um diagnóstico da distribuição das erosões na BHRA e a relação com os cinco cenários e seus níveis de suscetibilidade aos processos erosivos lineares.

8.1 AS UNIDADES DE PAISAGEM E AS EROSÕES

As cicatrizes de erosões encontradas na BHRA somaram 191 incisões, sendo 65 ravinas e 126 voçorocas (TABELA 23). As ravinas obtiveram 34% das incisões e tiveram uma distribuição irregular, concentrando-se nas encostas das colinas. As voçorocas contêm 66% das incisões, estando localizadas de forma concentrada na margem esquerda da BHRA, sobretudo, também, nas encostas das colinas.

Tabela 23: Frequência das cicatrizes de erosão linear.

Incisões	Quantidade	Porcentagem
Ravinas	65	34%
Voçorocas	126	66%
Total	191	100%

Fonte: O autor, 2020.

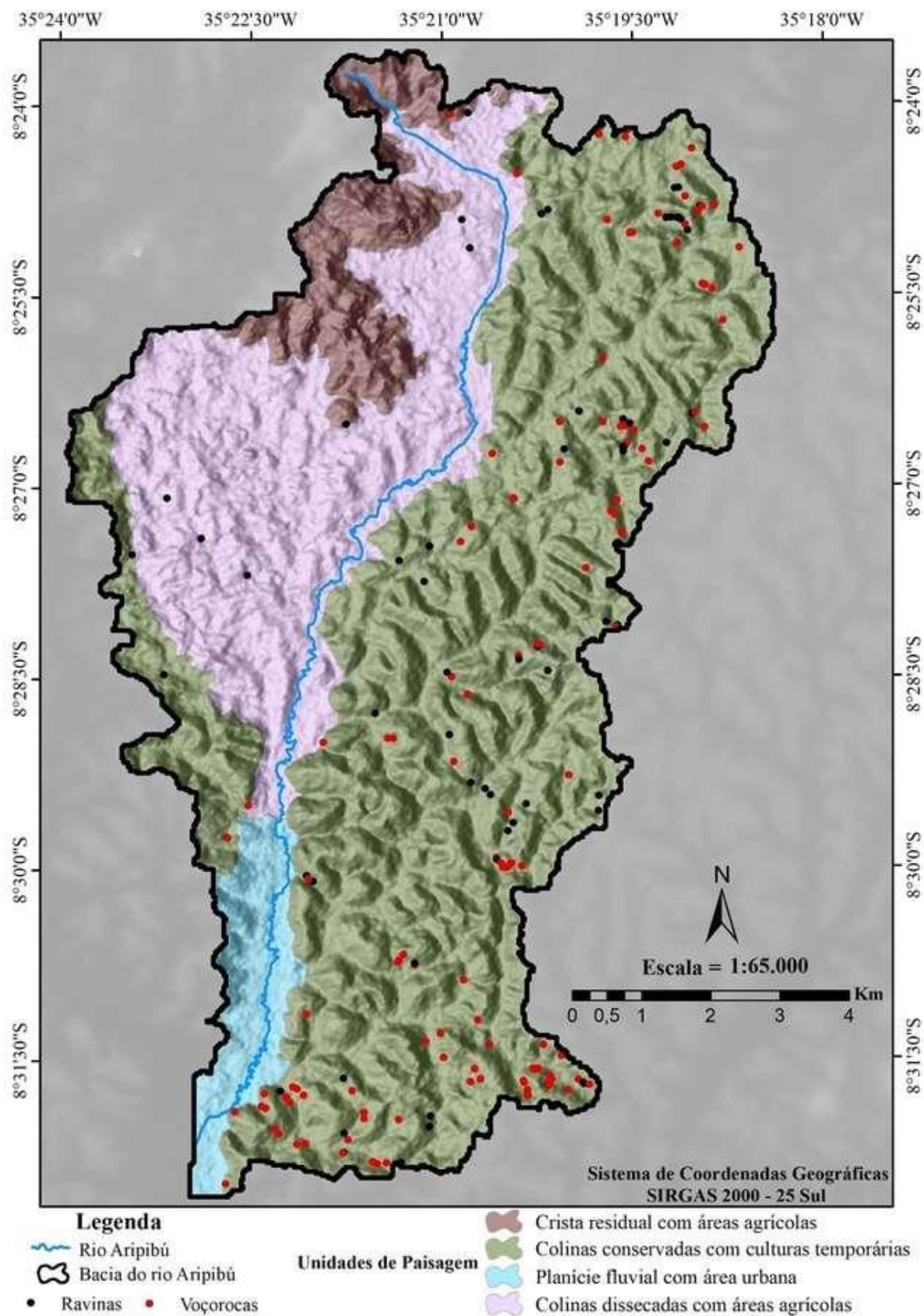
A distribuição das cicatrizes de erosão, em relação às unidades de paisagem, evidenciou uma concentração em algumas unidades e ausência nas demais (QUADRO 19). Dentre as 191 cicatrizes, 125 estão localizadas na unidade Colinas de topos largos com culturas temporárias (FIGURA 78), enquanto a unidade Planície fluvial urbanizada não se identificou nenhuma feição erosiva linear (QUADRO 20). A disposição destas cicatrizes demonstra, em relação a suscetibilidade natural, uma concentração das erosões nas áreas mais declivosas, portanto, nas encostas das colinas, ocorrendo ausência de incisões lineares nas planícies.

Quadro 20: Distribuição das erosões lineares por unidade de paisagem.

Unidades	Ravinas	Voçorocas	Erosões	Porcentual
Crista residual com áreas agrícolas	03	01	04	02,10 %
Colinas conservadas com culturas temporárias	57	125	182	95,29 %
Planície fluvial com área urbana	00	00	00	00 %
Colinas dissecadas com áreas agrícolas	05	00	05	02,61 %
Total	65	126	191	100 %

Fonte: O autor, 2020.

Figura 78 – Mapa da distribuição das erosões lineares por unidade de paisagem da bacia hidrográfica do Aripibú, Pernambuco.



Fonte: O autor, 2020.

A unidade de paisagem Colinas conservadas com culturas temporárias possui 95,29% das incisões encontradas na BHRA (QUADRO 19). Mesmo contendo 58% da área da BHRA. A confluência dos elementos, principalmente da declividade, forma do relevo, solos, ocupação e uso da terra, é determinante para o agrupamento das incisões na unidade. As incisões se concentraram desde a declividade média até a muito forte, nos Latossolos amarelos, além de estarem predominante nas encostas das colinas. A correlação das incisões com o uso da terra evidenciou o cultivo da cana-de-açúcar como principal desencadeador das erosões.

Nesta unidade as erosões foram encontradas em níveis de evolução distintos, ou seja, com tamanhos e formatos variados. A imagem A (FIGURA 79), é uma voçoroca localizada na margem da PE-064, possui grande extensão, contendo estabilização natural pela vegetação ao fundo, com presença da Embaúba (*Cecrópia pachystachya*), uma das árvores pioneiras da regeneração florestal. Percebe-se uma nova incisão e reativação da voçoroca ao lado direito do corpo principal da cicatriz. A imagem B (FIGURA 79), tem pouco desenvolvimento apesar da erosão cortar toda a encosta, em ambos os casos de voçorocas se tem a presença do cultivo da cana-de-açúcar.

Figura 79 - Voçorocas em níveis de desenvolvimento diferentes A e B, encontradas na unidade de paisagem, colinas de topos amplos com culturas temporárias.



Fonte: O autor, 2020.

A unidade de paisagem Colinas dissecadas com áreas agrícolas (FIGURA 78), mesmo tendo a segunda maior concentração de erosão contempla apenas 5 cicatrizes de ravinas e nenhuma de voçoroca (QUADRO 20). Estes dados evidenciam a grande concentração de erosões na unidade abordada anteriormente. A justificativa deste quantitativo é decorrente dos condicionantes declividade e uso da terra. A declividade do relevo desta unidade é menor, em relação à abordada anteriormente, e o uso principal seria pecuária extensiva. Assim, a menor

declividade gera menos energia e poder de abrasão, e na BHRA a pastagem é menos contributiva ao processo erosivo, se compara ao cultivo da cana-de-açúcar.

Em relação à unidade Crista residual com áreas agrícolas (FIGURA 78) foram encontradas 4 erosões, sendo 3 ravinas e 1 voçoroca. Entre as quatro unidades de paisagem esta é a terceira em quantidade de erosão, mesmo possuindo apenas 4 incisões lineares. Nesta unidade o motivo de um número reduzido é atribuído principalmente ao uso da terra, visto esta possuir áreas com vegetação conservada mesmo contendo solos desenvolvidos fisicamente e encostas declivosas. Todas as 4 erosões estão localizadas sobre a monocultura da cana, ratificando a ideia de ser a principal geradora dos processos erosivos na BHRA.

Na última unidade de paisagem, Planície fluvial com área urbana, não foram encontradas cicatrizes de erosão. Os condicionantes naturais e antrópicos somados ocasionaram a ausência de incisões, principalmente pela baixa declividade e pela impermeabilização do solo na zona urbana do município de Ribeirão.

8.2 NIVEIS DE SUSCETIBILIDADE E A DISTRIBUIÇÃO DAS EROSÕES

A relação entre a distribuição das incisões lineares e a suscetibilidade dos critérios (geológica e geomorfológica, curvatura da encosta, declividade, solos, cobertura e uso da terra), utilizados para confeccionar os cenários, demonstrou ser positiva, por ratificar o método utilizado para diagnosticar a predisposição da BHRA a erosão. Através do mapa dos níveis de suscetibilidade à erosão em relação ao critério, declividade na BHRA (FIGURA 58), verificou-se 80 incisões no grau alto, 88 no médio e 23 no baixo. Estes dados ratificam que as ravinas e voçorocas estão dispostas nas maiores declividades com um quantitativo de 168 cicatrizes.

A correlação dos níveis de suscetibilidade, em relação ao critério geomorfológico, na BHRA (FIGURA 56), e a disposição das cicatrizes erosivas evidenciou 07 incisões no grau baixo, 07 no médio e 177 no alto. Estes valores confirmam que as erosões estão concentradas nas encostas das colinas, contendo um quantitativo, somado da classe média e alta, de 184 cicatrizes. Em relação ao critério da cobertura e uso da terra obteve-se 08 erosões no nível baixo, 14 no médio e 169 no alto. O grau alto possui um valor expressivo de erosões por corresponder ao cultivo da cana-de-açúcar, ratificando a ideia de que a cana-de-açúcar é o principal uso responsável pelo desenvolvimento das incisões lineares.

A medição do comprimento das cicatrizes em laboratório e no campo ajudou a validar os cinco cenários, através da confirmação da localização da erosão com o nível de suscetibilidade confeccionado em cada mapa. No primeiro cenário o somatório da extensão das

voçorocas foi superior às ravinas em todos dos níveis (QUADRO 21), visto esta incisão ter mais desenvolvimento em dimensões se comparado as ravinas.

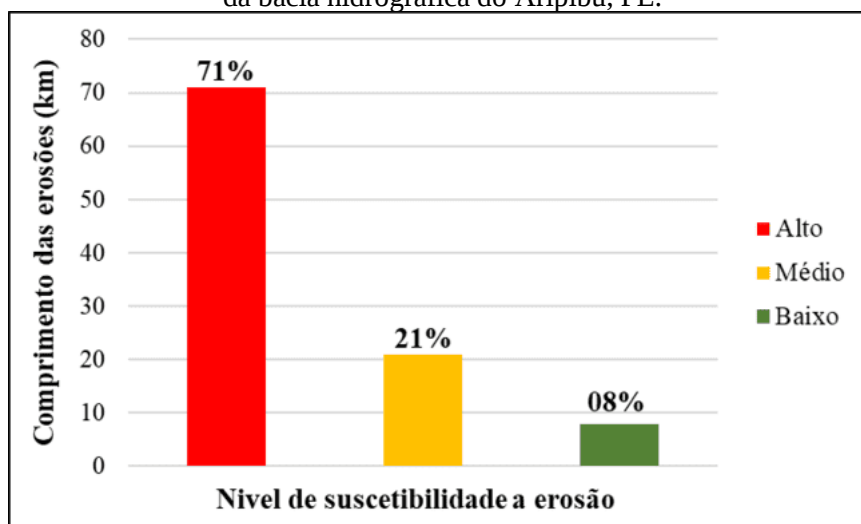
Quadro 20 - Comprimento em km das erosões em cada nível de susceptibilidade no primeiro cenário.

Nível	Ravinas	Voçorocas	Total	Percentual
Alto	2,15	4,98	7,13	71%
Médio	1,15	0,95	2,10	21%
Baixo	0,55	0,24	0,79	08%
Total	3,85	6,17	10,02	100%

Fonte: O autor, 2020.

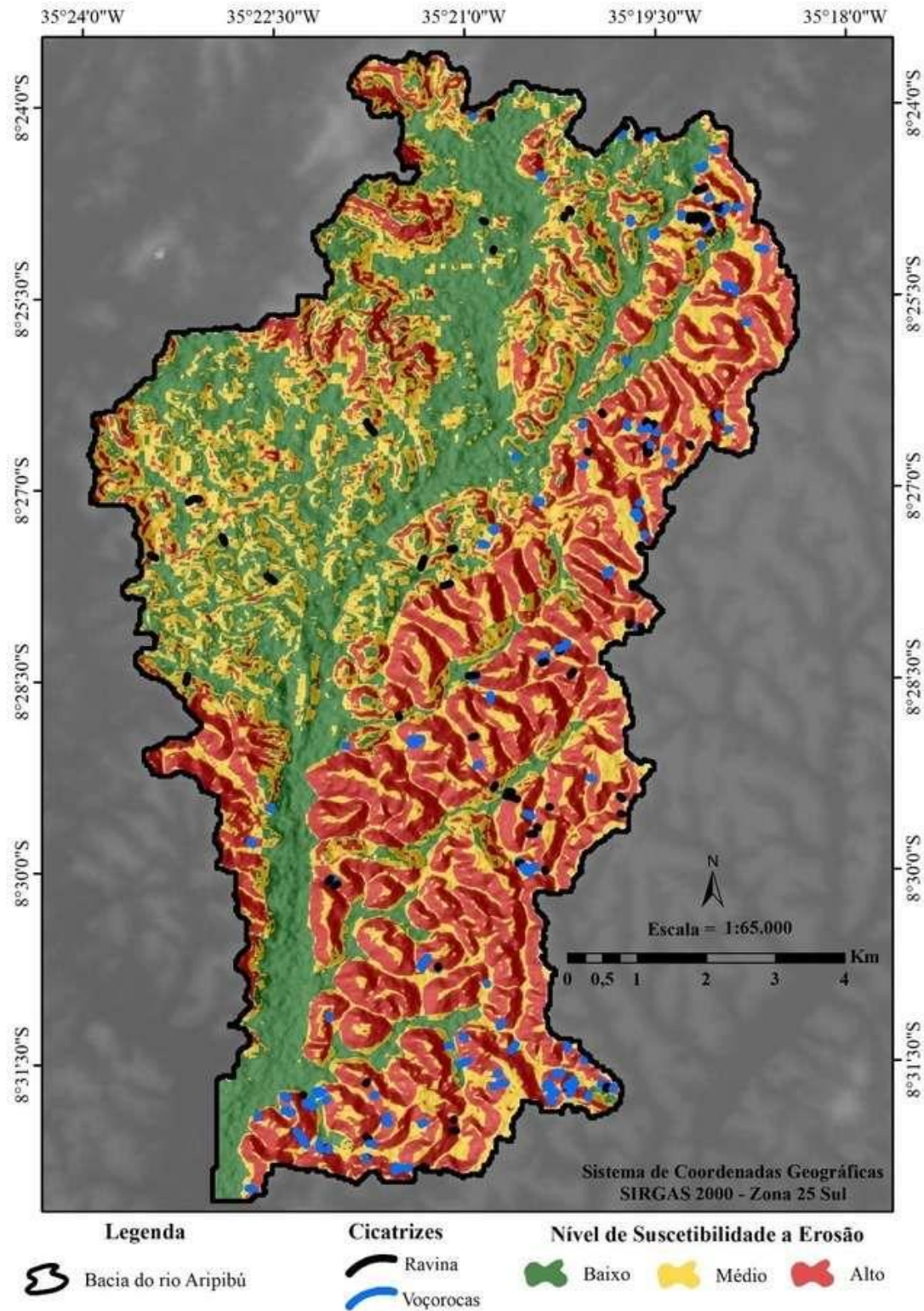
No primeiro cenário, em termos percentuais, o nível baixo de susceptibilidade à erosão obteve 08% das incisões, 21% no médio e 71% no alto (FIGURA 80). O primeiro cenário obteve a maioria do comprimento das erosões nas classes média e alta somando 92%. Desta forma, a configuração deste cenário é satisfatória por condizer com a realidade analisada em campo. As 191 cicatrizes de erosões encontradas na BHRA tiveram uma distribuição concentrada no espaço e nesse cenário as ravinas e voçorocas predominaram nos graus alto e médio de susceptibilidade (FIGURA 81), validando o mesmo.

Figura 80 - O comprimento das incisões do primeiro cenário para os níveis de susceptibilidade à erosão da bacia hidrográfica do Aripibú, PE.



Fonte: O autor, 2020.

Figura 81 – Mapa da distribuição das ravinas e voçorocas por nível de suscetibilidade à erosão do primeiro cenário.



Fonte: O autor, 2020.

O segundo cenário a soma do comprimento da extensão das voçorocas foi maior em analogia às ravinas no nível alto (QUADRO 22), o grau médio e baixo obteve o valor superior.

O tamanho das ravinas em comprimento só um pouco superior das voçorocas no nível médio, todavia é notável nos valores totais a maioria do comprimento das voçorocas terem ficado no nível alto (QUADRO 22).

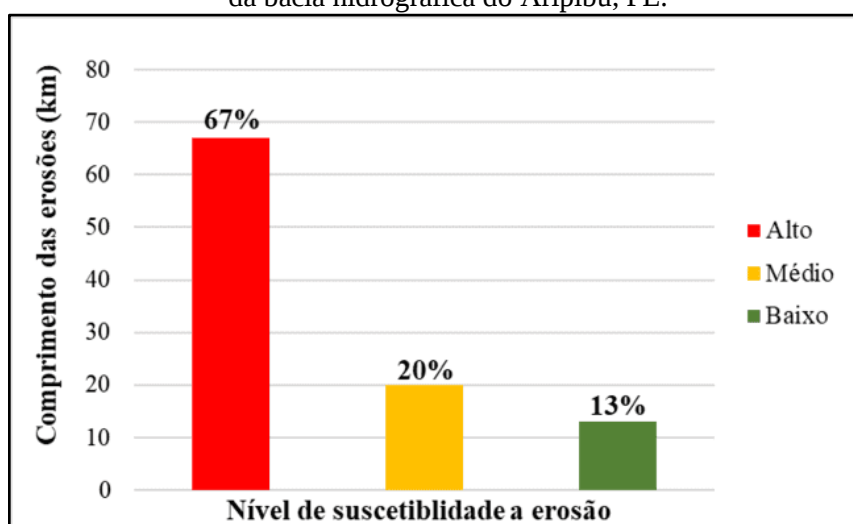
Quadro 22 - Comprimento em km das erosões em cada nível de susceptibilidade no segundo cenário.

Nível	Ravinas	Voçorocas	Total	Percentual
Alto	2,11	4,86	6,97	67
Médio	1,14	1,00	2,14	20
Baixo	1,00	0,34	1,34	13
Total	4,25	6,20	10,45	100%

Fonte: O autor, 2020.

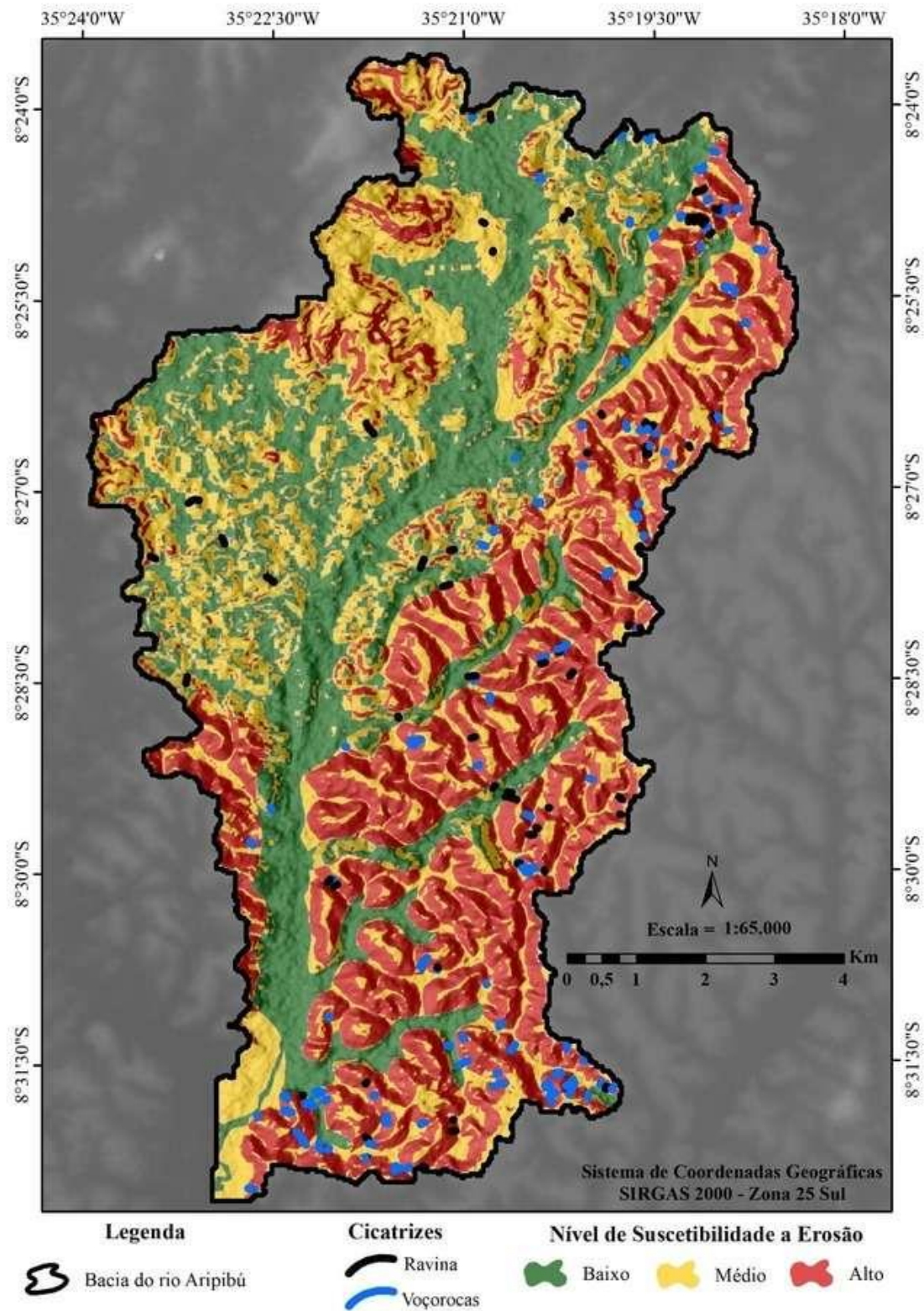
A distribuição percentual do comprimento das cicatrizes de erosão do segundo cenário (FIGURA 82 e 83), foram distintas em analogia ao primeiro, tendo a classe alta diminuída de 71% para 67%, a média caiu pouco de 21% para 20% e a baixa aumentou de 08% para 13%, salientando que no segundo cenário alguns dos indicadores de suscetibilidade foram alternados, isso ocasionou aumento do nível baixo de predisposição a erosão. Portanto, os valores de comprimento das erosões foi se alterando em consequência dessa nova configuração do segundo cenário.

Figura 82 - O comprimento das incisões do segundo cenário para os níveis de suscetibilidade à erosão da bacia hidrográfica do Aripibú, PE.



Fonte: O autor, 2020.

Figura 83 – Mapa da distribuição das ravinas e voçorocas por nível de suscetibilidade a erosão do segundo cenário.



Fonte: O autor, 2020.

A configuração da distribuição das ravinas e voçorocas neste segundo cenário (FIGURA 83), é semelhante ao primeiro visto as cicatrizes serem fixas para cada cenário. A alteração do

segundo cenário ocorreu na variação do território dos três níveis de suscetibilidade a erosão. O resultado desse segundo cenário foi validado pela maioria das cicatrizes estarem dentro da alta e média suscetibilidade (FIGURA 82 e 83), correspondendo a 87% das erosões. Dessa forma, a aplicação deste cenário é condizente com a realidade da BHRA, sendo o método positivo para verificação da predisposição da erosão.

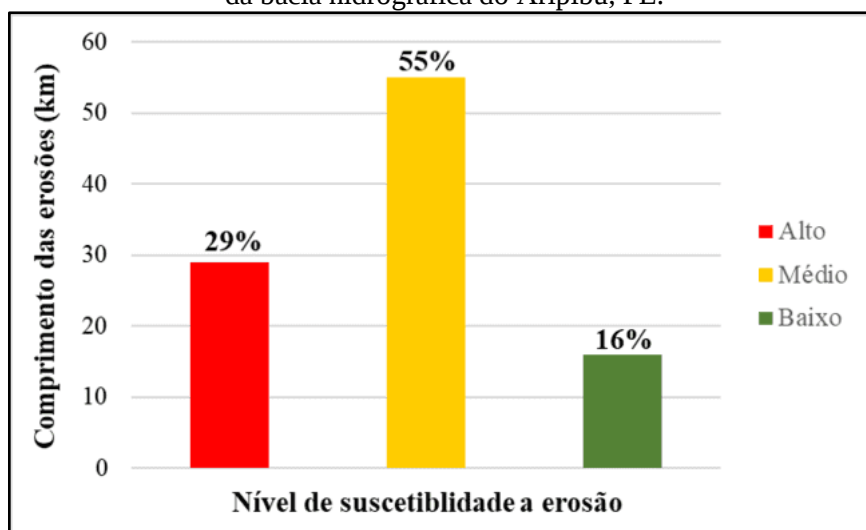
O terceiro cenário é diferente em relação ao segundo, visto as voçorocas terem superado as ravinas em comprimento no nível alto e médio, o somatório dos comprimentos das ravinas é superior apenas no nível baixo (QUADRO 23). Em termos percentuais os níveis alto e médio obtiveram os valores, de 29% e 55%, respectivamente (FIGURA 84), e o baixo ficou com 16%. Em relação aos dois primeiros cenários, o grau baixo teve sua maior proporção 16% e o alto obteve o seu menor valor com 29%.

Quadro 23 - Comprimento em km das erosões em cada nível de susceptibilidade no terceiro cenário.

Nível	Ravinas	Voçorocas	Total	Percentual
Alto	1,28	1,61	2,89	29
Médio	1,74	3,74	5,48	55
Baixo	0,83	0,82	1,65	16
Total	3,85	6,17	10,02	100%

Fonte: O autor, 2020.

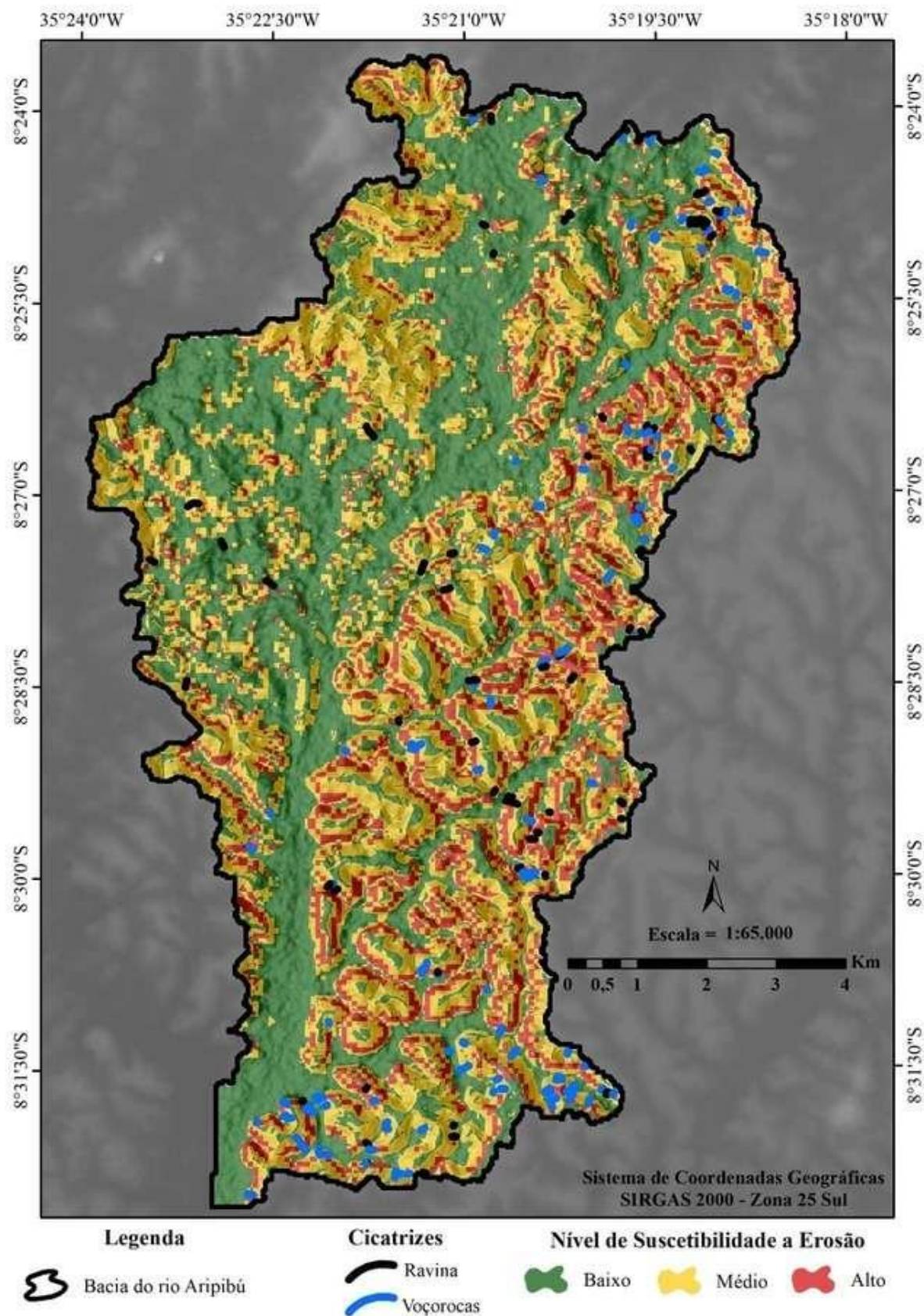
Figura 84 - O comprimento das incisões do terceiro cenário para os níveis de suscetibilidade à erosão da bacia hidrográfica do Aripibú, PE.



Fonte: O autor, 2020.

A distribuição das cicatrizes de erosão neste terceiro cenário (FIGURA 85), igualmente aos dois primeiros cenários, ratificou a metodologia usada para suscetibilidade a erosão. A maioria das incisões lineares coincidiram com o grau alto e médio de predisposição aos processos erosivos (FIGURA 85), totalizando 84% das cicatrizes.

Figura 85 – Mapa da distribuição das ravinas e voçorocas por nível de suscetibilidade à erosão do terceiro cenário.



Fonte: O autor, 2020.

No quarto cenário o indicador uso e ocupação da terra são acrescidos e torna-se o principal elemento da susceptibilidade à erosão. A inclusão deste indicador traz variações na distribuição do comprimento em km (quilômetros) das erosões, em cada nível de susceptibilidade no quarto cenário (QUADRO 24). As ravinas e voçorocas obtiveram os seus maiores valores no nível alto e consequentemente, os menores índices no médio e baixo de todos os cenários apresentados (QUADRO 24). A maior importância do uso da terra como desenvolvedor de processos erosivos ocasionou um aumento da área do nível alto em detrimento da perda da extensão do grau médio e baixo.

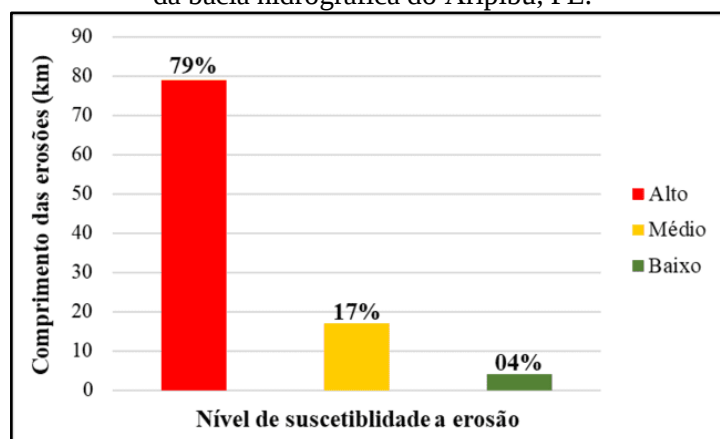
Quadro 24 - Comprimento em km das erosões em cada nível de susceptibilidade no quarto cenário.

Nível	Ravinas	Voçorocas	Total	Percentual
Alto	2,58	5,33	7,91	79
Médio	0,95	0,71	1,66	17
Baixo	0,31	0,13	0,44	04
Total	3,84	6,17	10,01	100%

Fonte: O autor, 2020.

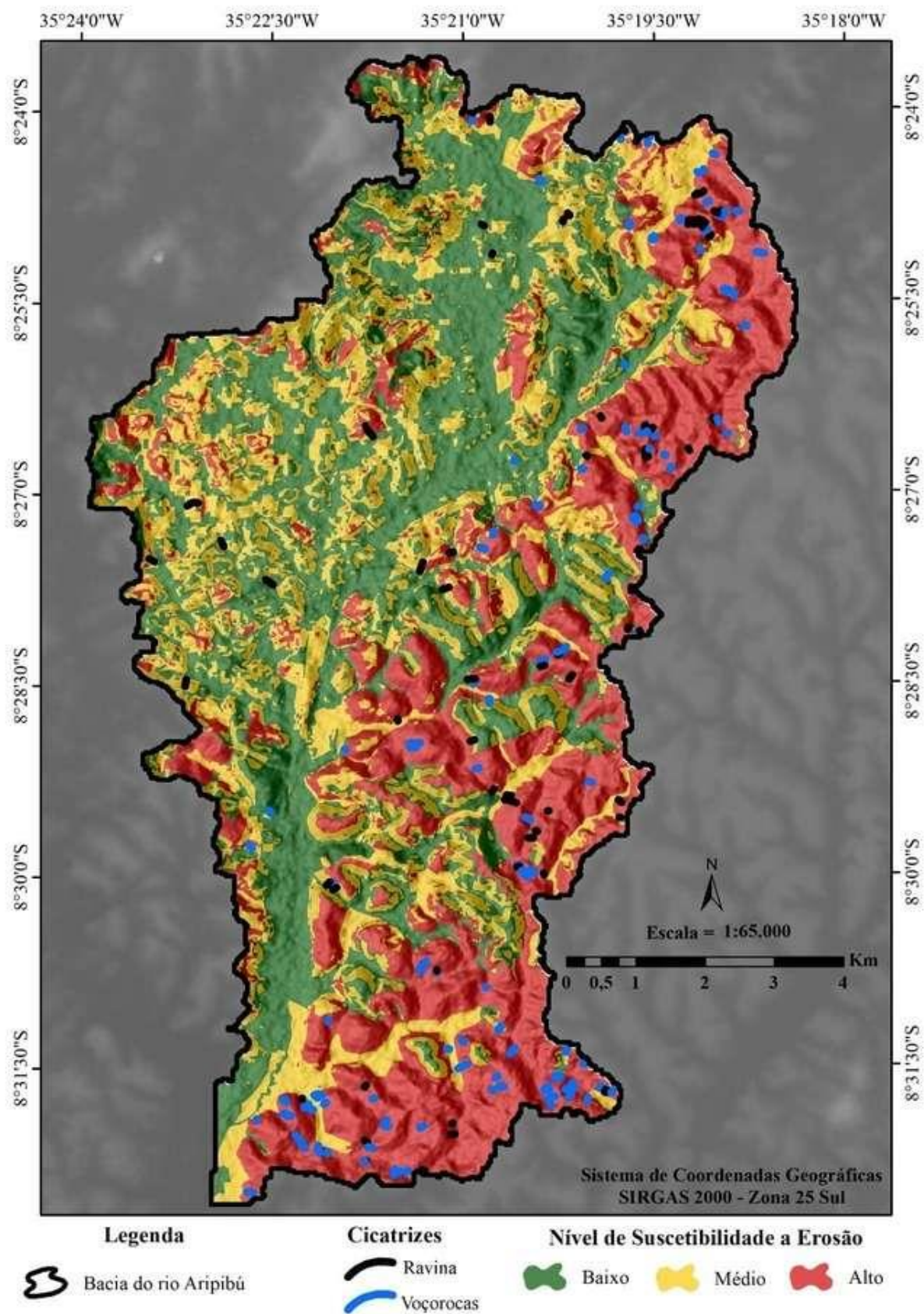
A consequência do aumento do espaço do nível alto de susceptibilidade foi de maior comprimento das erosões, se enquadrando nesse grau (FIGURA 86). Em valores percentuais 79% das cicatrizes erosivas tiveram sua extensão no espaço de alta possibilidade da ocorrência da erosão (FIGURA 86). Enquanto apenas 17% e 04% do comprimento das incisões estiveram no nível médio e baixo, respectivamente. Estes valores indicam que neste cenário existem mais espaços dentro da BHRA com grandes possibilidades da ocorrência a erosão linear (FIGURA 87). Assim, a configuração do quarto cenário também foi ratificada, visto que 96% do comprimento das erosões estiveram inseridas no nível alto e médio.

Figura 86 - O comprimento das incisões do quarto cenário para os níveis de susceptibilidade a erosão da bacia hidrográfica do Aripibú, PE.



Fonte: O autor, 2020.

Figura 87 – Mapa da distribuição das ravinas e voçorocas por nível de suscetibilidade à erosão do quarto cenário.



Fonte: O autor, 2020.

O último cenário demonstrou um comportamento semelhante ao quarto, no qual os valores do comprimento das erosões foram maiores no nível alto (QUADRO 25), e consequentemente os dados do grau médio e baixo foram inferiores. A inclusão da declividade como terceiro indicador e o solo com segundo mais importante ao desenvolvimento da erosão foi o diferencial para termos esses dados maiores do nível alto.

Quadro 25 - Comprimento em km das erosões em cada nível de susceptibilidade no quinto cenário.

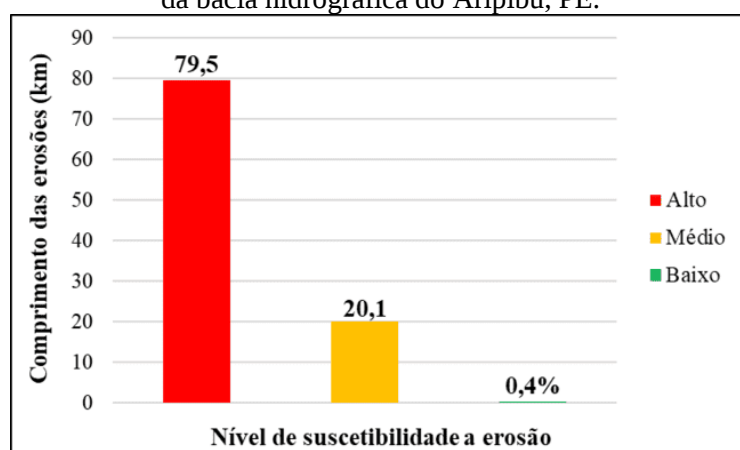
Nível	Ravinas	Voçorocas	Total	Percentual
Alto	2,62	5,33	7,95	79,5
Médio	1,20	0,81	2,01	20,1
Baixo	0,01	0,03	0,04	0,40
Total	3,83	6,17	10,00	100%

Fonte: O autor, 2020.

O percentual do comprimento das incisões do quinto cenário para os níveis de suscetibilidade à erosão da bacia foi discrepante tendo 79,5% no alto, 20,1% no médio e apenas 04% no baixo (FIGURA 88). A atividade da cana-de-açúcar associada as maiores declividades e algumas classes de solos ocasionaram mais espaços com grau alto de disposição ao desenvolvimento das incisões lineares (FIGURA 89). Desta forma, o total em comprimento das 191 cicatrizes de erosão se enquadrrou dentro da classe alta (FIGURA 88).

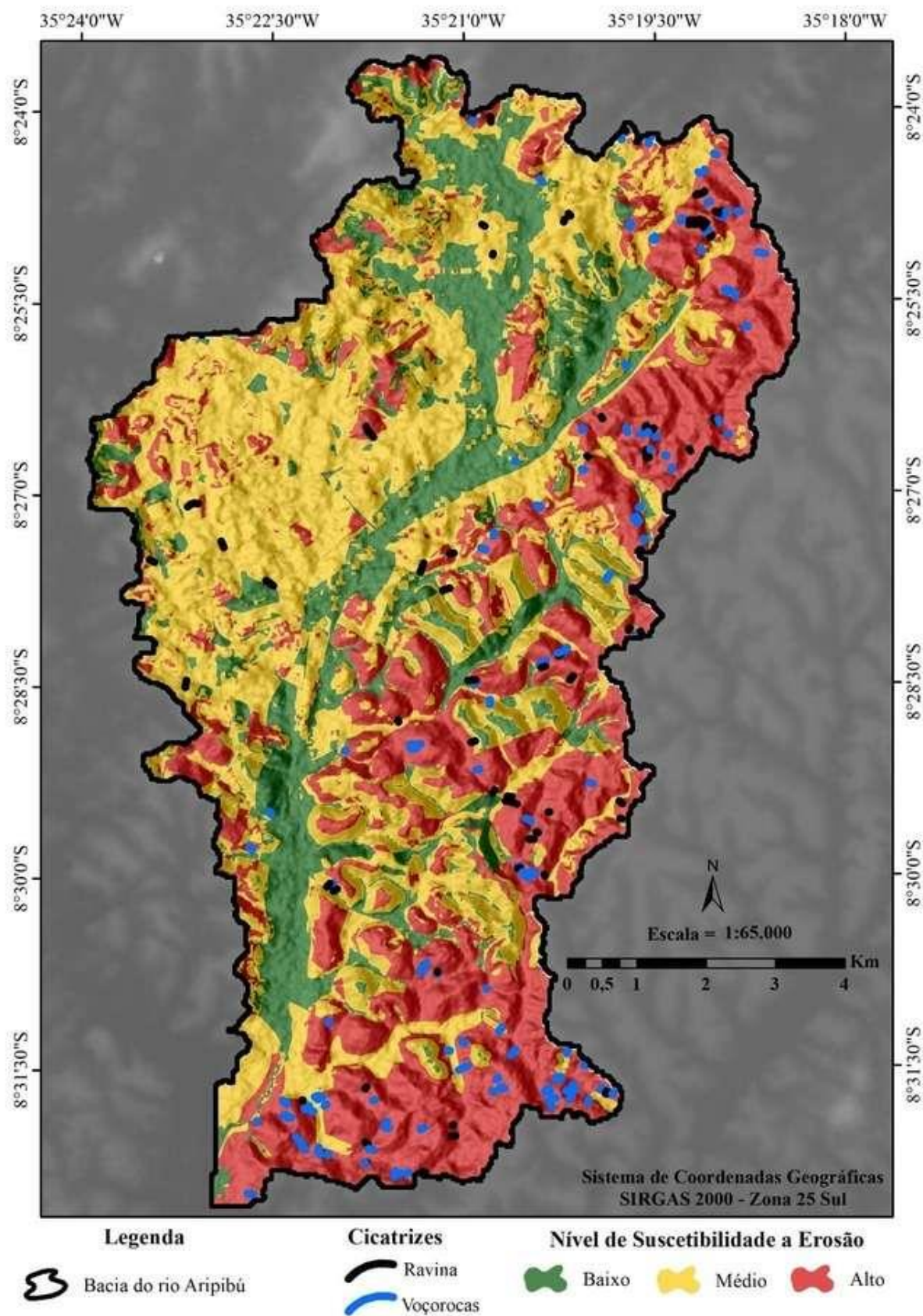
Os dados corroboram na validação do quinto cenário, visto a soma do nível alto e médio serem de 99,6%, ou seja, no espaço considerado pela pesquisa com predisposição à erosão, quase a totalidade das incisões estão circunscritas no mesmo (FIGURA 88). Logo, os valores ratificam a conformação do quinto cenário como indicador de suscetibilidade a ravinas e voçorocas na bacia do rio Aripibú.

Figura 88 - O comprimento das incisões do quinto cenário para os níveis de suscetibilidade à erosão da bacia hidrográfica do Aripibú, PE.



Fonte: O autor, 2020.

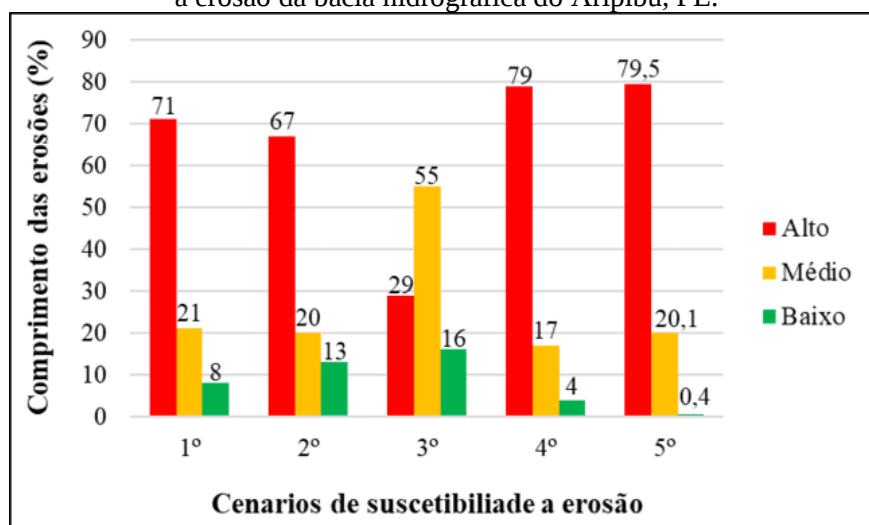
Figura 89 – Mapa da distribuição das ravinas e voçorocas por nível de suscetibilidade à erosão do quinto cenário.



Fonte: O autor, 2020.

Os cinco cenários de suscetibilidade à erosão da BHRA foram todos validados positivamente através do comprimento das 191 cicatrizes erosivas. Os três primeiros só abordaram indicadores naturais. Destes, o cenário com o maior quantitativo de incisões lineares no nível alto de propensão a erosão foi o primeiro com 71% (FIGURA 90). Destacando que os dois primeiros cenários alcançaram resultados parecidos nos três níveis (FIGURA 90). Os quais se somados o nível alto e médio temos acima de 80% das cicatrizes. Assim, entre os três primeiros cenários o primeiro teria uma maior acurácia, por uma pequena diferença percentual em relação ao segundo, para diagnosticar a suscetibilidade natural da erosão na BHRA.

Figura 90 - Comprimento das cicatrizes erosivas dos cinco cenários para cada nível de suscetibilidade à erosão da bacia hidrográfica do Aripibú, PE.



Fonte: O autor, 2020.

Os dois últimos cenários obtiveram resultados mais altos em relação aos três primeiros (FIGURA 90), especificamente o quinto, o qual obteve 79,5% das cicatrizes erosivas circunscritas no nível alto de suscetibilidade. Estes dois últimos cenários são acrescidos da cobertura e uso da terra como principal desencadeador dos processos erosivos, por isso a maioria do comprimento das erosões se enquadrou no grau alto. Logo, dentre os cinco cenários de suscetibilidade à erosão linear o quinto se aproxima da realidade analisada da BHRA, ressaltando que os demais obtiveram também resultados satisfatórios para serem aplicados na bacia hidrográfica em questão. Logo, dentre os cinco cenários o que teria uma maior acurácia seria o quinto, visto a maioria da extensão das erosões estarem no nível alto.

9 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados do diagnóstico morfométrico da bacia confirmou através dos índices a área de drenagem pequena, ou seja, a mesma tem cerca de 100 km² de superfície terrestre. O padrão de drenagem é dendrítico, essa configuração demonstra ausência dos ângulos retos e uniformidade da resistência das rochas. Através dos índices, coeficiente de compactidade, fator forma da bacia e direção de fluxo descobrimos que a bacia é alongada, tem contorno bem irregular, logo naturalmente não está sujeita a grandes inundações. E vale ressaltar que o baixo curso do rio Aripibú sofre inundações, devido os condicionantes inerentes da própria dinâmica, a exemplo, o vale fluvial e as planícies de inundação são amplas, além de precipitação pluviométrica abundante no inverno e intervenções antrópicas.

A bacia possui em média altitude baixa indo de 76 até 267 metros, sendo o lado esquerdo do rio Aripibú, em sua maioria, uma morfologia de maior altitude. A declividade da bacia vai de 0° a > 27°, contendo no relevo mais alto os maiores declives, destacando as colinas. A bacia tem 3,97 km³ de volume erodido, o destaque vai para a região centro-noroeste, onde possui a maior dissecação. O índice morfométrico de X evidenciou avanço da bacia hidrográfica Aripibú sobre a bacia Camaragibe e perda de território para as bacias hidrográficas de Ipojuca e Amaraji. Portanto, a bacia do rio Aripibú está sendo reduzida no seu lado oeste, sul e norte, e ampliada no lado leste.

A densidade de drenagem da bacia é de 2,186 km/km², por conseguinte é bem drenada e o canal principal possui 25 km de extensão. O rio Aripibú possui um nível intermediário de sinuosidade, com tendência a ser retilíneo no alto curso, transicional no médio e mais sinuoso no baixo. A bacia é de 5.º ordem, contendo mais canais de 1.º e 2.º ordens, indicando uma elevada dissecação da bacia reafirmando para a não predisposição da mesma a grandes enchentes. O perfil longitudinal do rio Aripibú tende a seguir a sua curva de tendência, contendo um desnível de 90 metros de altura, logo, tem potencial aos processos erosivos pelo gradiente da altura.

Os indicadores ambientais analisados evidenciaram que a bacia possui rochas com grau de dureza muito próxima e tem uma zona de cisalhamento indiscriminada que corta de sudoeste a nordeste. A bacia Aripibú encontra-se inserida totalmente no piemonte da Borborema, sendo constituída das unidades geomorfológicas colinas convexas amplas e estreitas, vales fechados e abertos e planícies fluviais. As colinas ocupam mais de 50% da área da bacia, indicando muitos territórios com propensão a erosão natural.

A bacia do rio Aripibú está inserida no território mais chuvoso do estado de Pernambuco, o período com maior precipitação seria nos meses de maio, junho e julho, enquanto os secos é outubro, novembro e dezembro. Ocorre uma uniforme distribuição das chuvas ao longo do ano e uma precipitação média acima dos 1500 mm anuais, logo, a condição climática favorece a formação da morfogênese pelos processos morfodinâmicos e a constituição da pedogênese no desenvolvimento dos solos. Os solos da bacia (argissolos amarelos, argissolos vermelho-amarelos, gleissolos háplicos, latossolos amarelos e neossolos flúvicos) possuem distribuição espacial na morfologia da paisagem obedecendo às particularidades de sua constituição, não contendo casos análogos aos fatores de formação dos mesmos.

A bacia foi delimitada em cinco cobertura e uso da terra, sendo eles: área florestal, área urbana, cana-de-açúcar, cultura temporária e pastagem. O cultivo da cana se destaca por ocupar 45% da extensão da bacia, ocorrer principalmente nas colinas e ser o principal desencadeador de erosões lineares. A comunhão dos elementos naturais e antrópicos na bacia do Aripibú permitiu a constituição das 04 unidades de paisagem, baseadas nos indicadores: altitude, declividade, geologia, relevo, solos, cobertura e uso da terra. As unidades são: crista residual com áreas agrícolas, colinas conservadas com culturas temporárias, planície fluvial com área urbana e colinas dissecadas com áreas agrícolas.

Os critérios selecionados para diagnóstico do desenvolvimento da erosão na bacia do rio Aripibú foram: unidade geológica e geomorfológica, curvatura da encosta, declividade, precipitação, classe de solos, cobertura e uso da terra. A geologia da bacia tem gênese antiga sendo constituída de rochas cristalinas. Nesse critério o nível baixo de suscetibilidade a erosão obteve 08% do território da bacia, enquanto o grau médio e alto apresentou 68% e 24%, respectivamente. Nessa perspectiva da geologia e erosão, a bacia tem muitos espaços propensos a desenvolver os processos erosivos lineares. Todavia, a geologia não seria o critério mais saliente a erosão na bacia, além de conter rochas com durezas muito similares.

A suscetibilidade a erosão da bacia do rio Aripibú, com relação ao critério das unidades geomorfológicas, demonstrou que as colinas ocupam 80% da área da bacia e estas são mais propensas a erosão. Logo, o nível alto de predisposição aos processos erosivos contemplou mais da metade do território da bacia, por abarcar justamente as colinas. O nível baixo e médio ficou juntos com 33%, isso demonstra no elemento do relevo preocupação sobre a ação da erosão na bacia. O critério das unidades geomorfológicas é mais significativo ao processo erosivo por conter espaços de denudação, como as colinas e crista residual, com condições de desenvolver incisões lineares.

O critério da declividade na erosão demonstrou ser essencial, visto estar correlacionada com o escoamento superficial, assim, quanto maior a inclinação do relevo mais velocidade o fluxo desenvolverá, elevando a capacidade erosional. Na bacia o nível baixo de suscetibilidade tem 45% do território, o médio 36% e o alto 19%, embora tenha menos área esse valor em quilômetros quadrados é preocupante para ocorrência dos processos erosivos. As maiores declividades encontram-se nas encostas das colinas e crista residual, associando a forma e a declividade pode dizer que são os locais mais suscetíveis a erosão linear.

A relação entre o elemento da curvatura e a erosão na bacia hidrográfica do Aripibú demonstrou encostas com predominância a concentração ou dispersão do escoamento. Assim, a erosão será mais efetiva na encosta que agrupa o fluxo, ou seja, canalizando a energia e a força em alguns pontos do relevo ocasionando a remoção do material inconsolidado. Em termos de suscetibilidade, a erosão no nível baixo ficou com 71% da extensão da bacia, pois as áreas planas são bem representativas e algumas categorias de encostas são dispersoras do fluxo. O nível médio e alto obteve 17% e 12%, respectivamente, logo em relação ao formato das encostas a bacia tem poucas áreas vulneráveis a erosão.

A suscetibilidade dos solos da bacia a erosão considerou a localização destes, na paisagem e suas características intrínsecas a cada classe. Desse modo, a classe baixa teve 18% do território da bacia Aripibú, o médio obteve apenas 45% e o alto tem 37%. Este dado para o nível alto é preocupante, pois a bacia tem muitas áreas com solos propensos ao desenvolvimento da erosão linear. Portanto, para o critério solo a maior parte da bacia Aripibú tem alta suscetibilidade a erosão, sendo indispensável bom gerenciamento da mesma para atenuar as hipóteses de gênese e desenvolvimento das incisões lineares.

As cinco coberturas e usos da terra foram classificados nos três graus de suscetibilidade a erosão, a área florestal ficou com nível baixo com 20% da extensão territorial. A área urbana, cultura temporária e pastagem foram categorizados com grau médio e um território de 39%, por conseguinte, a cana-de-açúcar com alta suscetibilidade a erosão e 41% de espaço da bacia. Os valores são preocupantes, pois a parte florestal é pequena e sofre pressão dos demais usos, além do nível alto corresponder as características de maior suscetibilidade da bacia que são: as encostas das colinas, as maiores declividades e solos mais propensos a erosão.

Os cenários de suscetibilidade a erosão na bacia do rio Aripibú foi confeccionada pelos indicadores: unidade geológica e geomorfológica, curvatura da encosta, declividade, precipitação, classe de solos, uso e ocupação da terra. Os cenários são associações dos indicadores, os quais estão dispostos de forma hierarquizada, através da correlação dos graus de importância ao processo erosivo linear, atribuídos para cada critério. Foi constituído cinco

cenários para a bacia, sendo os três primeiros contendo apenas elementos naturais e os dois restantes inseriu-se a cobertura e uso da terra.

O primeiro cenário tem, em ordem decrescente de importância a erosão, os indicadores principais: declividade, solos e curvatura da encosta. A espacialização dos três níveis de suscetibilidade a erosão (alto, médio e baixo), é determinada por estes três indicadores, com destaque para a declividade. A maior suscetibilidade desse primeiro cenário está nos espaços com declividades maiores, solos profundos e encostas com concentração de fluxo. A proporcionalidade das áreas e os níveis de suscetibilidade a erosão neste cenário foi de 30% para o nível baixo, 33% no médio e 37% no alto. Mesmo os valores sendo próximos, o nível alto possui mais de um terço de território da bacia, sendo um dado inquietante por está configurando com alta possibilidade de desenvolvimento da erosão.

O segundo cenário foi desenvolvido realizando a inversão do critério de declividade pela classe de solos, ou seja, a suscetibilidade a erosão linear na bacia do rio Aripibú a solos é mais significativa. A espacialização dos níveis de propensão a erosão neste cenário tem notoriedade na inclinação da paisagem, logo, os maiores graus de declive são os mais propensos as incisões lineares. Em porcentagem de área temos o nível baixo com 30% da bacia, o médio com 34% e o alto com 36%, evidenciando que as regiões mais planas possuem pouca predisposição a erosão por desenvolver menos velocidade no escoamento superficial. Entretanto, o nível médio e alto tem condições do desenvolvimento da morfogênese pela maior declividade, principalmente nas encostas das colinas.

No terceiro cenário atribuiu um destaque ao critério curvatura, como primeiro elemento de relevância, ficando a ordem hierárquica decrescente da curvatura, declividade e solos. A erosão analisada nesta pesquisa é do tipo linear sendo a presença dos solos indispensável para haver o processo erosivo. Mas a concentração do escoamento superficial em alguns tipos de encostas contribui para a constituição da erosão linear na BHRA. Os níveis de suscetibilidade a erosão ficaram 46% para a classe baixa, 38% para a média e 16% para a alta, assim, nesse cenário a bacia Aripibú tem menos de um terço de regiões com grande risco do desenvolvimento das incisões lineares.

Os três primeiros cenários são constituídos só de critérios naturais (geologia, geomorfologia, curvatura, solos e declividade), visto a suscetibilidade existir na paisagem com ou sem a presença antrópica na mesma. A análise dos cenários demonstrou que os critérios, declividade, solos e curvatura são mais proeminentes aos processos erosivos na bacia do rio Aripibú. Portanto, na suscetibilidade natural a erosão na bacia, esses condicionantes têm o papel de destaque, dando a devida importância aos demais critérios. O critério antrópico, cobertura e

uso da terra, por modificar dinâmica da paisagem foi considerado muito relevante na pesquisa. Logo, foram confeccionados mais dois cenários tendo cobertura e uso da terra como o mais importante dentre os demais critérios.

O quarto cenário tem uma distribuição das classes de suscetibilidade baseadas principalmente na declividade, na cobertura e uso da terra. A extensão territorial dos níveis ficou com 36% para a classe baixa, 30% para a média e 34% para a alta, essa distribuição não evidencia uma distinção percentual considerável em relação aos dois primeiros cenários. A associação das regiões com as maiores declividades e o uso da cana-de-açúcar determinaram a localização dos espaços com nível alto de suscetibilidade aos processos erosivos na bacia. O quarto cenário salientou o uso da cana como o principal condicionante ao desenvolvimento de erosão na bacia hidrográfica do Aripibú.

O quinto cenário foi edificado através da troca de solos pela declividade em grau de importância, ou seja, com o uso e ocupação da terra temos os três condicionantes mais relevantes nesta perspectiva. Evidenciando, o uso e ocupação da terra é o critério mais importante, visto sua atuação ser decisiva na geração ou/e intensificação da erosão na bacia do rio Aripibú. A distribuição espacial das classes ficou com 20% de território com nível baixo de suscetibilidade, 44% para o médio e 36% para o alto.

O diagnóstico dos cinco cenários demonstrou múltiplos resultados distintos para os três níveis de suscetibilidade a erosão linear na bacia do rio Aripibú. A ordem decrescente de importância dos condicionantes aos processos erosivos foram: cobertura e da terra, declividade, solos, formato da encosta, relevo e estrutura geológica. Salientando, a suscetibilidade alta de ocorrência da erosão na bacia hidrográfica do Aripibú está associada aos elementos: solos localizados nas encostas das colinas, maiores declividades e o cultivo da cana-de-açúcar.

A relação entre as unidades de paisagem e a localização das 191 cicatrizes evidenciou que a maioria das incisões se concentraram desde a declividade média até a muito forte, nos latossolos amarelos, nas encostas das colinas e o cultivo da cana-de-açúcar é o principal desencadeador das erosões.

Os cinco cenários foram ratificados com o comprimento das 191 cicatrizes erosivas, e dentre os três primeiros panoramas em relação à suscetibilidade natural, o primeiro teve o maior quantitativo de incisões lineares no nível alto. Assim, mesmo os três cenários tenham sido validados o terceiro possui mais conformidade com a realidade da BHRA. Os dois últimos cenários são desenvolvidos com a suscetibilidade antrópica, por contemplar o uso da terra. Nestes, os resultados de validação foram mais satisfatórios em relação aos três primeiros,

principalmente o quinto, o qual obteve 79,5% das erosões no nível alto. Logo, dentre os cinco cenários de suscetibilidade a erosão linear, o último apresenta maior acurácia.

Os resultados apresentados reafirmam a importância da pesquisa em analisar o grau de susceptibilidade da bacia hidrográfica do Aripibú aos processos erosivos lineares, o qual é considerado alto em termos percentuais de área da bacia. Os prejuízos ocasionados pela erosão podem ser de ordem ambiental, econômica, política e social. Logo, o gerenciamento mais efetivo da paisagem da bacia inicia com o entendimento da morfodinâmica e as particularidades de âmbito antrópico, assim, conhecer e compreender o funcionamento do sistema para intervir melhor no mesmo é primordial.

REFERÊNCIAS

- AB'SABER, A. N. As boçorocas de Franca. **Revista da Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Franca**, Franca, v. 1, n. 2, p. 5-27, 1968.
- ALEOTTI, P.; CHOWDHURY, R. Landslide hazard assessment: summary review and new perspectives. **Bulletin of Engineering Geology and the Environment**, v. 58, n. 1, p. 21-44, 1999.
- ALMEIDA FILHO, Gerson Salviano de. Controle de erosão. **Revista Fundações & Obras Geotécnicas**, n. 54, p. 72-83, 2015.
- ALOS, **Advanced Land Observing Satellite**. Disponível em: <<https://vertex.daac.asf.alaska.edu/#>>. Acessado em: 10 de março de 2018.
- APAC, **Agência Pernambucana de Águas e Clima**. Disponível em: http://www.apac.pe.gov.br/pagina.php?page_id=5&subpage_id=21. Acessado em: 9 de março de 2019.
- ARAUJO FILHO, J. C. de; BURGOS, N.; LOPES, O. F.; SILVA, F. H. B. B. da; MEDEIROS, L. A. R.; MELO FILHO, H. F. R. de; PARAHYBA, R. da B. V.; CAVALCANTI, A. C.; OLIVEIRA NETO, M. B. de; SILVA, F. B. R. e; LEITE, A. P.; SANTOS, J. C. P. dos; SOUSA NETO, N. C. de; SILVA, A. B. da; LUZ, L. R. Q. P. da; LIMA, P. C. de; REIS, R. M. G.; BARROS, A. H. C. **Levantamento de reconhecimento de baixa e média intensidade dos solos do Estado de Pernambuco**. Embrapa Solos. Boletim de pesquisa, 11. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 378 p. 2000.
- BACELLAR, L. A. P. **Condicionantes Geológicas, Geomorfológicas e Geotécnicas dos Mecanismos de Voçorocamento na Bacia do Rio Maracujá - Ouro Preto - MG**. Tese (Doutorado em Ciências, Programa de Pós-Graduação em Engenharia) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2000.
- BAHIA, V. G.; CURI, N.; CARMO, D. N.; GRANATE SÁ, J. J.; MARQUES, M. Fundamentos de erosão do solo. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.16, n.176, p. 25-31, 1992.
- BARBALHO, M. G. S. **Processos erosivos lineares nas bacias dos rios Claro e dos Bois, afluentes do rio Araguaia no estado de Goiás: relações com a cobertura vegetal e o uso da Terra**. 2010, 194 p. Tese (Doutorado em Ciências Ambientais) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2010.
- BARBOSA, Gustavo Rodrigues. **Utilização das redes neurais artificiais para redução da subjetividade da técnica AHP aplicado a vulnerabilidade ambiental: estudo de caso do Córrego do Fundo, Carmo do Paranaíba – MG**. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Uberlândia, 78 f., 2015.
- BARREDO, J. I.; BENAVIDES, A.; HERVÁS, J.; VAN WESTEN, C. J. Comparing heuristic landslide hazard assessment techniques using GIS in the Tirajana basin, Gran

Canaria Island, Spain. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 2, n. 1, p. 9-23, 2000.

BARRELLA, W.; PETRERE JR., M.; SMITH, W.S.; MONTAG, L.F.A. As relações entre as matas ciliares, os rios e os peixes. In: RODRIGUES, R.R. & LEITÃO FILHO, H.F. **Matas ciliares: Conservação e recuperação**. EDUSP, 2ª ed., São Paulo, p. 187-207, 2001.

BDE, Base de Dados do Estado. **Perfil Municipal**. Disponível em: <http://www.bde.pe.gov.br/estruturacaogeral/PerfilMunicipios.aspx>. Acessando em: 26 de julho de 2018.

BENNETT, H. H. **Soil Conservation**. New York and London: McGraw-Hill, 1939.

BERGONSE, R.; REIS, E. **Formas, processos e padrões na erosão por ravinamento**: para um enquadramento teórico coerente. Finisterra, XLVI: 99-120, 2011.

BERTOL, I. Índice de erosividade (EI30) para Lages (SC) -1ª Aproximação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.28, n.4, p.515-521, 1993.

BERTOL, I. Avaliação da erosividade da chuva na localidade de Campos Novos (SC) no período de 1981-1990. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.29, n.9, p.1453-1458, 1994.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. São Paulo: Icone, 6ª ed., 355 p. 2008.

BIGARELLA, J. J. **Estrutura e origem das paisagens tropicais e subtropicais**. Florianópolis: Editora da UFSC. 1436 p. 2003.

BIGARELLA, J.J. e MAZUCHOWSKI, J.Z. **Visão integrada da problemática da erosão**. In: 3º Simpósio Nacional de Controle de Erosão. (Livro Guia). Maringá: ABGE/ADEA. 331 p. 1985.

BISPO, Carlos de Oliveira. **Suscetibilidade natural e induzida à ocorrência de escorregamentos no litoral norte de Maceió, Alagoas**. 111 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2018.

BLOOM, A. **Superfície da Terra**. São Paulo: Editora Edgard Blucher Ltda., 1970.

BONHAM-CARTER, G. F. **Geographic Information Systems for Geoscientists**. Terrytown, Pergamon/Elsevier Science Pub. 1994.

BOTELHO, R. G. M; SILVA, A. S. da. Bacia Hidrográfica e Qualidade Ambiental. In: VITTE, A. C; GUERRA, A, J. T. (Org.). **Reflexões sobre a geografia física no Brasil**. Rio de Janeiro: Editora Bertrand Brasil, p. 153 - 188, 2004.

BRASIL. **Lei no 12.651, de 25 de maio de 2012**. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis no 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis no 4.771, de 15 de setembro de 1965, e

7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória no 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/L12651compilado.htm. Acesso em: 01 março de 2019.

BRASIL. **Lei no 12.727 de 17 de outubro de 2012**. Altera a Lei no 12.651, de 25 de maio de 2012, que dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nos 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; e revoga as Leis nos 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, a Medida Provisória no 2.166-67, de 24 de agosto de 2001, o item 22 do inciso II do art. 167 da Lei no 6.015, de 31 de dezembro de 1973, e o § 2º do art. 4º da Lei no 12.651, de 25 de maio de 2012. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/L12727.htm. Acesso em: 01 março de 2019.

BRIERLEY, G. J.; FRYIRS, K. A. **Geomorphic analysis of river systems: an approach to reading the landscape**. Blackwell Publishing Ltd, 1º ed, 360 p. 2013.

BRITO, M. M. **Geoprocessamento aplicado ao mapeamento da suscetibilidade a escorregamentos no município de Porto Alegre, RS**. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2014.

BRITO, M. M.; WEBER, E. J.; SILVA FILHO, L. C. P. Multi-Criteria Analysis Applied to Landslide Susceptibility Mapping. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, São Paulo, v. 18, n. 4, p. 719-735, 2017.

BROCKLEHURST, S.H.; WHIPPLE, K.X. Glacial erosion and relief production in the Eastern Sierra Nevada, California. **Geomorphology**, v. 42, ed. 1-2, p. 1-24, 2002.

BROOKS, K.N.; FFOLLIOT, P.F.; GREGERSEN, H.M.; THAMES, J.L. **Hydrology and the Management of Watersheds**. Iowa State University Press, 391p. 1991.

BURROUGH, P. A.; MCDONNELL, R. A. **Principles of Geographical Information Systems**. New York: Oxford University Press, 333 p. 1998.

BUTZER KW. Geological and ecological perspectives on the Middle Pleistocene Quaternary Research. **Quaternary Research**, v. 4, 1974.

CAMAPUM DE CARVALHO, J.; SALES, M. M.; MORTARI, D.; FÁCIO, J. A.; MOTTA, N.; FRANCISCO, R. A. Processos erosivos. In: CAMAPUM DE CARVALHO, J.; SALES, M.M.; SOUZA, N.M.; MELO. M.T.S. (Org.). **Processos erosivos no centro-oeste brasileiro**. Brasília: Universidade de Brasília, FINATEC, p. 39-91, 2006.

CÂMARA, G.; CASANOVA, M. A.; HEMERLY, A. S.; MAGALHÃES, G. A.; MEDEIROS, C. M. B. **Anatomia de Sistemas de Informação Geográfica. 10a. Escola de Computação**. Campinas: Instituto de Computação, UNICAMP, 193 p. 1996.

CÂMARA, G.; BARBOSA, F. R. M.; BARBOSA, C.; FILHO, R. A.; BONISCH, S. Técnicas de Inferência Geográfica. In: DRUCK, S.; CARVALHO, M. S.; CÂMARA, G.; MONTEIRO, A. M. V. (Ed.). **Análise Espacial de Dados Geográficos**. Brasília: EMBRAPA, 250 p. 2004.

CÂMARA, G.; MOREIRA, F. R.; BARBOSA, C.; ALMEIDA FILHO, R.; BÖNISCH, S. Técnicas de inferência geográfica. In: CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M. V. **Introdução à ciência da geoinformação**. São José dos Campos: INPE, p. 241-288. 2001.

CANIL, K.; IWASA, O. Y.; SILVA, W. S.; ALMEIDA, L. E. G. Mapa de feições erosivas lineares do Estado de São Paulo: uma análise qualitativa e quantitativa. In: Simpósio Nacional de Controle de Erosão, 5., **Anais**. Bauru, p. 1-545, 1995.

CANIL, K. **Processos erosivos e planejamento urbano: carta de risco de erosão das áreas urbana e periurbana do município de Franca, SP**. 2000. 96 p. Dissertação (Mestrado em geografia) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

CANTALICE, J. R. B. **Erosividade das chuvas do Estado de Pernambuco**. 1991. 97p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 1991.

CANTALICE, J. R. B.; MARGOLIS, E. Características das chuvas e correlação de índices de erosividade com as perdas de solo do Agreste de Pernambuco. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Campinas, v. 17, p. 275-281, 1993.

CANTALICE, J. R.; BEZERRA, S. A.; FILGUEIRA, S. B.; INÁCIO, E. S. B.; SILVA, M. D. O. **Linhas isoerosivas do estado de Pernambuco – 1ª Aproximação**. Revista Caatinga, v.22, p.75-80, 2009.

CARMO, Jean Pereira de Azevedo do; SILVA, Paulo Diego D'ouvidio. **A bacia hidrográfica como unidade de estudo, planejamento e gestão**. Rio Grande do Sul: Porto Alegre, 2010.

CASTRO, S. S. de. Erosão Hídrica na Alta Bacia do Rio Araguaia: Distribuição, condicionantes, origem e dinâmica atual. **Revista do Departamento de Geografia da Universidade de São Paulo**, São Paulo, v. 17, p. 38-60, 2005.

CASTRO, S. B.; CARVALHO, T. M. Análise morfométrica e geomorfologia da bacia hidrográfica do rio Turvo - GO, através de técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento. **Scientia Plena**, v. 5, n. 2, p. 1-7, 2009.

CALVACANTI, Lucas C. S, **Cartografias de paisagens: fundamentos**. São Paulo: Oficina de textos, 2.ed. 2018.

CECÍLIO, R. A.; GARCIA, G. O.; MOREIRA, M. C. A importância do setor agropecuário para a proteção e conservação dos recursos hídricos. In: JESUS JUNIOR, W. C. *et al.* (Eds.). **Novas tecnologias em Ciências Agrárias**. Alegre: Suprema Gráfica e Editora, 2007.

CHARLTON, Rosemary. **Fundamentals of Fluvial Geomorphology**. London, UK: Routledge – Taylor & Francis Group, 234 p. 2008.

CHRISTOFOLETTI, A. **O fenômeno morfogenético no município de Campinas (SP)**. 1968. 209 f. Tese (Doutorado) – Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras, Universidade de Campinas, Campinas, 1968.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. São Paulo: Edgard Blucher, 189 p. 1980.

CHRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de Sistemas Ambientais**. São Paulo: Ed. Edgard Blucher Ltda., 1999.

CHORLEY, R. J. The hillslope hydrological cycle. In: Kirkby, M. J. (Ed.) **Hillslope Hydrology**. New York: John Wiley and Sons, Chichester, p. 1-42. 1978.

CLIMATEMPO. **ZCIT provoca chuva forte no Nordeste**. Disponível em: <https://www.climatempo.com.br/noticia/2017/03/23/zcit-provoca-chuva-forte-no-nordeste-0415>. Acessado em: 27 de agosto de 2017.

CLIMATEMPO. **Fantástica tempestade de areia no oeste da Bahia**. Disponível em: <https://www.climatempo.com.br/noticia/2016/01/05/fantastica-tempestade-de-areia-no-oeste-da-bahia-3666>. Acessada em: 27 de agosto de 2017.

COELHO, A. T.; PEREIRA, A. R. Efeitos da vegetação na estabilidade de taludes e encostas. **Boletim Técnico**, Minas Gerais, Belo Horizonte, Ano 01, n. 02, 2006.

COELHO NETTO, A. L. Hidrologia de Encosta na Interface com a Geomorfologia. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. (Org.). **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos**. Rio de Janeiro: Bertrand, 472 p. 1998.

COGO, C. M.; ELTZ, F. L. F.; CASSOL, E. A. Erosividade das chuvas em Santa Maria, RS, determinada pelo índice EI30. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Piracicaba, v.14, n.3, p. 309-317, 2006.

CPRM, Companhia de Pesquisas em Recursos Minerais. **Geologia e recursos minerais do estado de Pernambuco**. Ministério de Minas e Energia, Secretaria de Minas e Metalurgia, Serviço Geológico do Brasil, Recife, 2001.

CREPANI, E.; MEDEIROS, J.S.; FILHO, P.H.; FLORENZANO, T.G.; DUARTE, V.; BARBOSA, C.C.F. **Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento aplicados ao zoneamento ecológico econômico e ao ordenamento territorial**. Instituto de Pesquisas Espaciais. São Paulo: São José dos Campos, 103 p. 2001.

CUNHA, Sandra Baptista da. Canais Fluviais e a Questão Ambiental. In: **A Questão Ambiental: diferentes abordagens**. S. B. CUNHA; A. J. T. GUERRA (org.). Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2012.

DAVIS, W. M. The Geographical Cycle. **Geographical Journal of The Royal Geographical Society**, v. 14, p. 481-504. 1899.

DEMEK, J. **Manual of detailed geomorphological mapping**. Universidade da Califórnia, Praga: Academia, 344 p. 1972.

DE PLOEY, J.; POESEN, J. Aggregate stability, runoff generation and interrill erosion. **Geomorphology and soils**. Eds. K.S. Richards, R.R. Arnett e S. Ellis, p. 99-120, 1985.

DESTA, L.; ADUGNA, B. **A field guide on Gully Prevention and control**. Eastern Nile Watershed Management Project, Nile Basin Initiative, 73 p. 2012.

DIAS, Valdirene Silva Brito; SILVA, Ardemário de Barros da. AHP na Modelagem da Vulnerabilidade Ambiental do Mini Corredor Ecológico Serra das Onças (BA). **Revista Brasileira de Cartografia**, Rio de Janeiro, p. 1363-1377, 2014.

DÍAZ, J. S. **Control de erosión en zonas tropicales**. Bucaramanga, Universidad Industrial del Santander, 556 p. 2001.

DOBEK, K.; DEMCZUK, P.; RODZIK, J.; HOŁUB, B. Types of gullies and conditions of their development in silvicultural loess catchment. **Landform Analysis**, Vol. 17, p. 39-42, 2011.

EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília: 5. ed. 2018.

FAO, Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Soil erosion by water**. FAO, Rome, 1965.

FARIA, T. O.; VECCHIATO, A. B.; SALOMÃO, F. X. T.; SANTOS Jr, W. A. Abordagem morfopedológica para diagnóstico e controle de processos erosivos. **Ambi-Agua**, Taubaté, v. 8, n. 2, p. 215-232, 2013.

FENDRICH, R. Erosão Urbana. In: FENDRICH, R.; OBLADEN, N. L.; AISSE, M. M.; GARCIAS, C. M. **Drenagem e Controle da Erosão Urbana**. Curitiba: Champagnat, 486 p. 1997.

FENDRICH, R.; OBLADEN, N. L.; AISSE, M. M.; GARCIAS, C. M. **Drenagem e controle da erosão urbana**. 4. ed. Curitiba, Editora Champagnat. 485p. 1997.

FERES, R. **Análise de processos de erosão acelerada, com base em fotografias aéreas e geoprocessamento Bacia do Rio Bonito (Descalvado, SP)**. Tese (Doutorado em Ecologia e Recursos Naturais) - Centro de Ciências Biológicas e da Saúde, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2002.

FERNANDES, Jozélia Assunção. **Estudo da erodibilidade de solos e rochas de uma voçoroca em São Valentim, RS**. Dissertação (mestrado) Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, RS, 2011.

FERNANDES, M.R.; SILVA, J.C. **Programa Estadual de Manejo de Sub-Bacias Hidrográficas: fundamentos e estratégias**. Belo Horizonte: EMATERMG. 24 p. 1994.

FERREIRA, A. G.; MELLO, N. G. S. Principais sistemas atmosféricos atuantes sobre a região nordeste do Brasil e a influência dos oceanos Pacífico e Atlântico no clima da região. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 1, n. 1, p. 15-28, 2005.

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

FORTE, A. M.; WHIPPLE, K. X. Criteria and tools for determining drainage divide stability. **Earth and Planetary Science Letters**, v. 493, p.102–117, 2018.

FRANCISCO, Alyson Bueno. **Boçoroca ou voçoroca: os conceitos para uma forma erosiva**. 11º Simpósio Nacional de Controle de Erosão. 16º Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental. 2018.

FUSHIMI, M. **Vulnerabilidade Ambiental aos processos erosivos lineares nas áreas rurais do município de Presidente Prudente - SP**. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2012.

FUSHIMI, M. **Vulnerabilidade ambiental aos processos erosivos lineares de parte dos municípios de Marabá Paulista-SP e Presidente Epitácio-SP**. Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia. Presidente Prudente, 2016.

FUSHIMI, Melina; NUNES, João Osvaldo Rodrigues. Geoprocessamento e Sistemas de Informação Geográfica sob a perspectiva do pensamento da complexidade. **Revista Interface**, Edição nº 11, p. 167-182, 2016.

GAIDZIK, Krzysztof; HERRERA, María Teresa Ramírez. Geomorphic indices and relative tectonic uplift in the Guerrero sector of the Mexican forearc. **Geoscience Frontiers**, v. 8, p. 885-902, 2017.

GALE, S. J.; HOARE, P. G. **Quaternary sediments**: petrographic methods for the study of ulithified rocks. Londres: Bethaven Press, 1991.

GALETI, P.A. **Práticas de controle à erosão**. Campinas: Instituto Campineiro de Ensino Agrícola, 278 p. 1985.

GIACONIA, F.; BOOTH-REA, G.; MARTÍNEZ-MARTÍNEZ, J.M.; AZAÑÓN, J.M.; PÉREZ-PEÑA, J.V.; PÉREZ-ROMERO, J.; VILLEGAS, I.; Geomorphic evidence of active tectonics in the Sierra Alhamilla (eastern Betics, SE Spain). **Tectonophysics**, v. 580, p. 27–42, 2012.

GIMENES, Filipe Biaggioni Quessada; FILHO, Oswaldo Augusto. Mapas de fragilidade ambiental utilizando o processo de análise hierárquica (AHP) e sistema de informação geográfica (SIG). **Anais**. XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Foz do Iguaçu, PR, 13 a 18 de abril de 2013.

GIRÃO, O.; CORRÊA, A. C. B.; NÓBREGA, R. S.; DUARTE, C. C. O papel do clima nos estudos de prevenção e diagnóstico de riscos geomorfológicos em bacias hidrográficas na Zona da Mata Sul de Pernambuco. In: GUERRA, A. J. T.; JORGE, M. C. O. (Org.). **Processos erosivos e recuperação de áreas degradadas**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, p. 126-156, 2013.

GONÇALVES, Francisca Carisa Andrade; NOGUEIRA, Johnson Fernandes. Elaboração do Mapa de Predisposição à Erosão na Microbacia do Rio Aracatiaçu (CE) Utilizando Técnicas

de Geoprocessamento. **Revista da Casa da Geografia de Sobral**, Sobral, v. 9, n. 1, p. 81-93, 2007.

GREENWAY, D. R. Vegetation and slope, stability. In: ANDERSON, M. G.; RICHARDS, K.S. (Ed.). **Slope stability**. John Wiley & Sons Chiochester, p.187-230. 1987.

GREGORY, Kenneth J. **The earth's land surface: landforms and processes in geomorphology**. Los Angeles: Sage, 2010.

GUERRA, A. J. T.; BOTELHO, R. G. M. **Características e Propriedades dos Solos Relevantes para os Estudos Pedológicos e Análise dos Processos Erosivos**. Anuário do Instituto de Geociências, v. 19, 1996.

GUERRA, A.J.; GUERRA, A.J.T. **Novo Dicionário Geológico-Geomorfológico**. 9. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2011.

GUERRA, A.J.T. Processos erosivos nas encostas. In: GUERRA, A.J.T. e CUNHA, S.B. (orgs.). **Geomorfologia - uma atualização de bases e conceitos**. Rio de Janeiro, Editora Bertrand Brasil, 8ª edição, p. 149-209. 2009.

GUERRA, A.J.T. Início do processo erosivo. In: GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S.; BOTELHO, R. G. M. (Orgs.) **Erosão e Conservação dos Solos: Conceitos, Temas e Aplicações**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2015.

GUERRA, A.J.T.; MENDONÇA, J.K.S. Erosão dos solos e a questão ambiental. In: VITTE, A.C.; GUERRA, A.J.T. (Org.). **Reflexões sobre a geografia física do Brasil**. São Paulo: Bertrand Brasil, 2004.

HOLLANDA, Maycon Patricio; CAMPANHARO, Wesley Augusto; CECÍLO, Roberto Avelino. **Manejo de Bacias hidrográficas e a gestão sustentável dos recursos naturais**, CETESB, 2012.

HORTON, R.E. Erosional development of streams and their drainage basins: a hydrophysical approach to quantitative morphology. **Geological Society of America Bulletin**, v.56, n.3, p.275-370, 1945.

IBGE, Instituto Brasileiro Geografia e Estatística. **Susceptibilidade à erosão da macrorregião da Bacia do Paraná**. Convênio de cooperação técnico-científico, SEPLAN-MS, 456 p. 1989.

IBGE, Instituto Brasileiro Geografia e Estatística. **Manual Técnico de Uso da Terra**. Rio de Janeiro, 2013.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e estatística. **Manual Técnico de Pedologia**, 3ª ed. Rio de Janeiro, 420 p. 2015.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia. Diretoria de Pesquisas. Coordenação de População e Indicadores Sociais. **Estimativas da população residente com data de referência 1o de julho de 2017**. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/>. Acessando em: 25 de julho de 2018.

INFANTI JR.; FORNASARI FILHO, N. Processos de Dinâmica Superficial. In: OLIVEIRA, A. M. S.; BRITO, S. N. A. (Eds.) **Geologia de Engenharia**. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, 1998.

INPE, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Spring**. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/index.html>. Acessado em: 16 de maio de 2018.

INPE, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Precipitação estimada por satélite**. Disponível em: http://sigma.cptec.inpe.br/prec_sat. Acessado em: 27 de agosto de 2017.

IPT, Instituto de Pesquisas Tecnológicas. **Orientações para o combate à erosão no estado de São Paulo: Bacia do Peixe - Paranapanema**. São Paulo: relatório, 1986.

IPT, Instituto de Pesquisas Tecnológicas. Assessoria técnica para a estabilização de encostas, recuperação da infra-estrutura urbana e reurbanização das áreas de risco atingidas por escorregamentos na área urbana do município de Campos do Jordão, SP. **Relatório Técnico 64.399**, São Paulo, 2002.

IRELAND, H.A., SHARPE, C.F., EARGLE, D.H. **Principles of gully erosion in the piemont of South Carolina**. US Department of Agriculture, Technical Bulletin, Washington DC, 633 p. 1939.

JÚNIOR, José Fernando Pinese; RODRIGUES, Silvio Carlos. 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**, Volume 23, p. 4-26. 2012.

KAYANO, M.T.; ANDREOLI, R.V.; Clima da Região Nordeste do Brasil. In: CAVALCANTI, I. F. A, FERREIRA, NELSON J.; DIAS, M. ASSUNÇÃO F. da SILVA, SILVA, M. GERTRUDES A. JUSTI da. **Clima e Tempo no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009.

KEECH, M.A. **Soil erosion survey techniques**. Separata de Proceeding & Transactions of the Rhodesia Scientific Association. 1968.

KIRKBY, M.J. **Hillslope hidrology**. Chichester: John Wiley & Sons, 389 p. 1980.

KLIR, G.J.; YUAN, B. **Fuzzy Sets and Fuzzy Logic**, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ. 1995.

KOHAGURA, T. **Lógica Fuzzy e suas aplicações**. Monografia (Graduação em Ciência da Computação), Departamento de Computação da Universidade Estadual de Londrina, Londrina - PR, 2007.

LAGO, J. C. Erosividade das chuvas de Pelotas. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA SOBRE CONSERVAÇÃO DO SOLO, 5., 1984, Porto Alegre. **Resumos**. Porto Alegre: SBCS, p. 72, 1984.

LAGO, J. C. **Erosividade das chuvas na metade Sul do Rio Grande do Sul**. Tese (Doutorado em Agronomia) – Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas. 138 f. 2000.

LAL, R. **Soil erosion problemr on Alfirolr in wertern Nigeria and their control**. Monograph nº. 1, IITA: Ibadan, 1976.

LAL, R. **Soil erosion in the tropics: Principles and Management**. New York: McGraw-Hill, 1990.

LIMA, Eduardo Rodrigues Viana de. Erosão do solo: fatores condicionantes e modelagem matemática. **Revista Cadernos do Logepa** – Série Pesquisa Ano 1, Número 1, 2003.

LIMA, W.P.; ZAKIA M.J.B. Hidrologia de matas ciliares. In: RODRIGUES; R.R.; LEITÃO FILHO; H.F. (Ed.). **Matas ciliares: conservação e recuperação**. 2. ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, p.33-43, 2000.

LIMA, Walter de Paula. **Hidrologia florestal aplicada ao manejo de bacias hidrográficas**, ESALQ/USP, 2º ed. Piracicaba, 253 p. 2008.

LOLLO, José Augusto de; SENA, Julio Nascimento. **Estabelecimento de suscetibilidade a erosão diferentes técnicas para diferentes etapas de tomada de decisão**. AUGMDOMUS, Volume 5, 2013.

LOMBARDI NETO, F. **Rainfall erosivity** - its distribution and relationship with soil loss as Campinas, Brasil. Dissertação (Mestrado) - Purdue University, West Lafayette. 53 p. 1987.

MAGRI, Rômulo Amaral Faustino. **Análise da suscetibilidade à erosão da região do Médio Rio Grande (MG)**. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação e Área de Concentração em Geotecnia - Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2013.

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), **Anais**, Recife, Universidade Federal de Pernambuco, 2010.

MENEZES JÚNIOR, E. M. **Análise geomorfológica da suscetibilidade a deslizamentos na folha Paulista (1:25.000) – Região Metropolitana do Recife**. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Geografia Recife, 2015.

MOLION, L. C. B.; BERNARDO, S. O. Dinâmica das chuvas sobre o Nordeste do Brasil. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, 11, **Anais**. CL00132, Rio de Janeiro, 2000.

MOLION, L. C. B.; BERNARDO, S. O. Uma revisão da dinâmica das chuvas no Nordeste brasileiro. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.17, n. 1, p. 1-10, 2002.

MORAIS M.D.C. **Vórtices ciclônicos de altos níveis que atuam no Nordeste do Brasil: estudo observacional e numérico.** Tese, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais do Brasil. 2016.

MOREIRA, A. C. **Erosividade das chuvas das regiões agroecológicas Campanha, São Borja Itaqui, Missioneira de Santo Ângelo São Luiz Gonzaga e Alto Vale do Uruguai do Estado do Rio Grande do Sul.** 200 f. Tese (Doutorado) - Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2006.

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.** Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 164 p. 2001.

MOREIRA, F. R. S.; ALMEIDA FILHO, R.; CÂMARA, G. Aplicação da Abordagem da Importação Semântica (IS) para caracterização de contatos geológicos. In: X Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 2001, Foz do Iguaçu. **Anais.** Foz do Iguaçu: INPE, p. 283-290, 2001.

MORGAN, Royston Philip Charles. **Soil erosion and conservation.** Blackwell Publishing company, 3. ed. 2005.

MORTARI, Diógenes. **Caracterização geotécnica e análise do processo evolutivo das erosões no Distrito Federal.** Brasília, 1994.

NISHIVAMA, L. **Erosão do solo: uma visão integrada dos fatores e processos que condicionam o seu desenvolvimento.** Seminários Gerais em Geotecnia- SGS, EESC/USP. São Carlos, 1995.

NUNES, M.C.M; CASSOL, E.A. Estimativa da erodibilidade em entre sulcos de Latossolos do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v 32, Número especial, p. 2839-2845, 2008.

OLIVEIRA, A. M. S. **Depósitos tecnogênicos e assoreamento de reservatórios: exemplo do Reservatório de Capivara, Rio Paranapanema, SP/PR.** 211 f. Tese (Doutorado em Geografia Física), Universidade de São Paulo, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, 1994.

OLIVEIRA, Bruno Eduardo Nóbrega. **Mapeamento, Identificação e Análise dos Fatores Relacionados aos Processos Erosivos no Distrito Federal (DF) – Ênfase nas Voçorocas.** Dissertação (mestrado) - Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia Florestal, 2011.

OLIVEIRA, M.A.T. Erosion Disconformities and Gully Morphology: A Threedimensional Approach. In: **Catena: na interdisciplinary journal of Soil Science Hydrology – Geomorphology.** Vol. 16. W. Germany: Catena Verlag. p. 413- 423. 1989.

OLIVEIRA, M.A.T. **Morphologie des versants et ravinement: héritages et morphogénèses actuelle dans une région de socle tropical.** Le cas de Bananal, São Paulo, Brésil. Tese (Doutorado). Universidade de Paris IV – Paris Sorbonne, 1992.

OLIVEIRA, M.A.T. Processos Erosivos e Preservação de Áreas de Risco de Erosão por Voçorocas. In: GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S; BOTELHO, R. G. M. **Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações**. 3aed. – Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2007.

OLIVEIRA, Paulo Tarso Sanches de; RODRIGUES, Dulce Buchala Bicca; ALVES SOBRINHO, Teodorico; PANACHUKI, Elói. **Processo Analítico Hierárquico Aplicado a Vulnerabilidade Natural a Erosão**. São Paulo, UNESP, Geociências, v. 28, n. 4, p. 417-424, 2009.

PANACHUKI, E.; ALVES SOBRINHO, T.; VITORINO, A.C.T.; CARVALHO, D.F. de; URCHEI, M.A. Parâmetros físicos do solo e erosão hídrica sob chuva simulada, em área de integração agricultura-pecuária. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.10, n 2, p. 261-268, 2006.

PEJON, O. J. **Mapeamento Geotécnico Regional da Folha de Piracicaba-SP (Escala 1:100.000): Estudo de Aspectos Metodológicos, de Caracterização e de Apresentação de Atributos**. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1992.

PEJRUP, M. The triangular diagram used for classification of estuarine sediments: a new approach. In: BOER, P. L.; VAN GELDER, A.; NIO, D. D. (eds.). **Tide-Influenced Sedimentary Environments and Facies**. Reidel: Dordrecht, p. 289-300, 1988.

PENDOCK, N.; NEDELJKOVIC, V. **Integrating geophysical data sets using probabilistics methods**. Thematic Conference and Workshop on Applied Geologic Remote Sensing, 11o, Las Vegas, 1996. Proceedings. Nevada, v.2, p.621-628. 1996.

PICHLER, E. Boçoroca. **Boletim da Sociedade Brasileira de Geologia**, São Paulo, v. 2, n.1, p. 3-16, 1953.

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). **Rev. do Departamento de Geografia – USP**, São Paulo, v. 23, p. 4-26, 2012.

PINHEIRO, Antonio G.; SOUZA, Thais E. M. dos S.; MONTENEGRO, Suzana M. G. L.; MONTENEGRO, Abelardo A. de A.; GUERRA, Sérgio M. S. Rainfall pattern and erosion potential in the physiographic regions of the state of Pernambuco, Brazil. **Rev. bras. eng. agríc. ambient.**, Campina Grande , v. 22, n. 12, p. 849-853, 2018.

POESEN, J. The influence of slope angle on infiltration rate and Hortoniano Overland flow volume. **Z. Geomorph.** N. F., 49, 117-131. 1984.

PONÇANO, W. L.; PRANDINI, F.L. Boçorocas no Estado de São Paulo: Uma Revisão. In: Simpósio Nacional de Controle de Erosão, 3, Marília, **Anais...** São Paulo: ABGE, p. 51-71, 1987.

PÓS-GRADUANDO. **Frases célebres para monografias, dissertações e teses.** Disponível em: <https://posgraduando.com/frases-celebres-para-monografias-dissertacoes-e-teses/>, acesso em: 09 de dezembro de 2021.

PRUSKI, F. F. **Conservação do solo e água:** práticas mecânicas para o controle da erosão hídrica. 2ª ed. Atual. Viçosa: Editora UFV, 279 p. 2009.

RAFFO, J. G. da G. O Processo Analítico Hierárquico e seu uso na modelagem do espaço geográfico. **Revista do Departamento de Geografia – USP**, Volume Especial 30 Anos, p. 26-37, 2012.

RAO, D.P. On the origin of Renuka lake. Photonirvachak. **Journal of Indian Society of Remote Sensing**, 1975.

RODRIGUES, J. E. **Estudo de fenômenos erosivos acelerados: boçorocas.** Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1982.

RUHE, R.V. **Geomorphology.** Houghton Mifflin Company, 246 p. 1975.

RUELLAN FRANCIS. Orientação científica dos métodos de pesquisa geográfica. **Revista Brasileira de Geografia**, Rio de Janeiro, v.5, n.1, p.51-60, 1943.

SAATY, T. L. A scaling method for priorities in hierarquical structures. **J. Math. Psychology**, n.15, p. 234-281, 1977.

SAATY, T. L. Relative Measurement and Its Generalization in Decision Making Why Pairwise Comparisons are Central in Mathematics for the Measurement of Intangible Factors the Analytic Hierarchy/Network Process. RACSAM - **Rev. R. Acad. Cien. Serie A.** p. 251-318, 2008.

SAFAEI, M.; OMAR, H.; HUAT, B. K.; YOUSOF, Z. B. M. Deterministic rainfall induced landslide approaches, advantage and limitation. **Electronic Journal of Geotechnical Engineering**, v. 16, n. 1, p. 1619-1650, 2012.

SALES, Maurício Martines; CARVALHO, José Camapum de; PALMEIRA, Ennio Marques. Controle de Erosões. In: CAMAPUM DE CARVALHO, J.; SALES, M.M.; SOUZA, N.M.; MELO, M.T.S. (Org.). **Processos erosivos no centro-oeste brasileiro.** Brasília: Universidade de Brasília: FINATEC, p. 39-91, 2006.

SALIS, Hugo Henrique Cardoso de; SILVA, Carlos Henrique Soares; CARDOSO, Rafaela Letícia Ramires; SANTOS, Ronaldo Medeiros dos. Mapeamento e Análise da Vulnerabilidade Natural à Erosão do Município de Salinas-MG. IV CONEFLOR – III SEEFLO/ Vitória da Conquista (BA), **anais...** 25 a 28 de novembro de 2013.

SALOMÃO, F. X. T. **Processos erosivos em Bauru (SP): regionalização cartográfica aplicada ao controle preventivo urbano e rural.** 200 p. 1994. Tese de Doutorado – Universidade de São Paulo, 1994.

SALOMÃO, F. X. T. Controle e Prevenção dos Processos Erosivos. In: **Erosão e Conservação dos Solos** – Conceitos, temas e aplicações. A.J.T. GUERRA; A.S. SILVA; R.G.M. BOTELHO (orgs.). Rio de Janeiro, Editora Bertrand Brasil, p. 229-267, 2015.

SALOMÃO, F. X. T.; IWASA, O. Y. Erosão e ocupação rural e urbana. In: BITAR, O. Y. (Coord.). **Curso de Geologia Aplicada ao Meio Ambiente**. São Paulo: IPT, 1995.

SAMAGRA. **Types of soil erosion**. Disponível em:

https://samagra.itschool.gov.in/uploads/11/geography_II/1612/3602/11_Ch1612_4920/main.html. Acessado em: 27 de julho de 2018.

SANTORO, J. Erosão Continental. In: TOMINAGA, L. K.; SANTORO, J.; AMARAL, R. (Org.). **Desastres Naturais**: Conhecer para prevenir. São Paulo: Instituto Geológico, 2009.

SANTOS, Caio Lima dos; LISTO, Fabrício de Luiz Rosito. GIRÃO, Osvaldo da Silva; REIS; Rafael Brito dos. **Análise metodológica de estudos referentes a eventos de movimentos de massa e erosão ocorridos na região Nordeste do Brasil**. Caderno de Geografia, v.28, n.55, 2018.

SANTOS, C. N. **El Niño, La Niña e a erosividade das chuvas da metade Sul do Rio Grande do Sul**. 123f. 2003. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2003.

SANTOS, C. N. **El Niño, La Niña e a erosividade das chuvas no Estado do Rio Grande do Sul**. 2008. 138f. Tese (Doutorado) – Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2008.

SANTOS, Thais E. M. dos; MONTENEGRO, Abelardo A. A. Erosividade e padrões hidrológicos de precipitação no Agreste Central pernambucano. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.16, n.8, p. 871–880, 2012.

SCHUMM, Stanley A. **The Fluvial System**. Caldwell, The Blackburn Press, 337 p. 1977.

SELBY, M. J. **Hillslope Material and Process**. Oxford: Oxford University Press, 1993.

SENA, Júlio Nascimento. **O uso de sistema de informação geográfica na avaliação de diferentes alternativas de geração de cartas de suscetibilidade à erosão**. 2008. 83f. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Área de conhecimento: Recursos Hídricos e Tecnologias Ambientais, 2008.

SHEPARD, F. P. Nomenclature based on sand-silt-clay ratios. **Journal of Sedimentary Petrology**, v. 24, p. 151-158, 1954.

SILVA, A. M. **Princípios Básicos de Hidrologia**. Departamento de Engenharia. UFLA. Lavras-MG. 1995.

SILVA, A. M.; SCHULZ, H. E.; CAMARGO, P. B. **Erosão e Hidrossedimentologia em Bacias Hidrográficas**. São Carlos: RiMa, 140 p. 2003.

SILVA, Cristiano Alves da; NUNES, Fábio de Paiva. Mapeamento de vulnerabilidade ambiental utilizando o método AHP: uma análise integrada para suporte à decisão no município de Pacoti/CE. **Anais**. XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, Brasil, 25-30, abril de 2009.

SILVA, C. S.; BISPO, C. O.; SILVA, S. B.; GIRÃO, O. Análise do sistema fluvial frente ao uso e ocupação da terra na bacia do rio Tejió – Região Metropolitana do Recife. In: LISTO, F. L. R.; MÜTZENBERG, D.; TAVARES, B. A. C (org). E-book do I Workshop de Geomorfologia e Gearqueologia do Nordeste, **Anais**. vol I, Recife, GEQUA, p. 89-100. 2016.

SILVA, Elaine Eluizy Ribeiro; LOPES, Estéfane Silva; SOUSA, Luana Regina Pires de; MACEDO, Marina Alberti; BOLINA, Cecília de Castro; GOMES, Marcelus Isaac Lemos. Estimativa da Erosão Laminar na Bacia Hidrográfica do Ribeirão João Leite – GO: a partir de análise espacial de dados. **Estudo & Debate**, Lajeado, v. 24, n. 3, p. 85-115, 2017.

SILVA, F. B. R.; SILVA, M. A. V.; BARROS, A. H. C.; SANTOS, J. C. P.; SILVA, A. B.; CAVALCANTI, A. C.; SILVA, F. H. B. B.; BURGOS, N.; PARAHYBA, R. B. V.; OLIVEIRA NETO, M. B.; SOUZA NETO, N. C.; ARAÚJO FILHO, J. C.; LOPES, O. F.; LUZ, L. R. Q. P.; LEITE, A. P.; COSTA, L. G. M.; SILVA, C. P. **Zoneamento agroecológico de Pernambuco - ZAPE**. Recife: Embrapa Solos - Unidade de Execução de Pesquisa e Desenvolvimento (UEP). (Embrapa Solos. Documentos, n. 35). ZAPE Digital. 1 CD-ROM. 2001.

SILVA, I. de F.; ANDRADE, A.P. de; CAMPOS FILHO, O.R. Erodibilidade de seis solos do semi-árido paraibano obtida com chuva simulada e método nomográfico. **R.bras.Ci.Solo**, 283-287, 1986.

SILVA JUNIOR, C. H. L.; SILVA, F. B.; PEREIRA, D. C. A. Uso de Lógica Fuzzy e Processo Analítico Hierárquico - AHP no zoneamento de áreas suscetíveis a deslizamento utilizando o operador Fuzzy Média Ponderada AHP: o caso da bacia hidrográfica do Rio Anil em São Luís - MA. **Revista de Geografia**, v. 3, p. 1-7, 2013.

SILVA JUNIOR, Celso Henrique Leite; BEZERRA, Denilson da Silva; ANDERSON, Liana Oighenstein; ANDRADE, Marcio Roberto Magalhães de; PEREIRA, Dagolberto Calazans Araujo; BEZERRA, Vera Lucia Araújo Rodrigues; SILVA, Fabricio Brito & ARAGÃO, Luiz Eduardo Oliveira e Cruz de. Zoneamento da susceptibilidade a deslizamentos induzidos com base na lógica fuzzy e no processo analítico hierárquico (AHP): o caso da bacia hidrográfica do rio Anil, São Luís – MA. **Revista Brasileira de Cartografia**, Rio de Janeiro, n. 69, p. 1819-1837, 2016.

SILVA, Willian Geraldo da; MACHADO, Vinícius Moraes; CHAGAS, Manuel Victor Silva; FLORES, William Menezes Ferreira. Susceptibilidade a erosão utilizando o processo de análise hierárquica (AHP) e sistema de informação geográfica. **Revista Cerrado Agrocências**, 66-78, 2016.

SILVEIRA, Leonardo Luiz Lyrio Da. **Elaboração de Carta de Susceptibilidade à Erosão das Bacias dos Rios Araraquara e Cubatão-SP, Escala 1:50.000**. Dissertação (Mestrado em Geotecnia). Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2002

SIRAJ, Sajid; MIKHAILOV, Ludmil; KEANE, John A. **PriEsT: an interactive decision support tool to estimate priorities from pairwise comparison judgments**. *International Transactions in Operational Research*, n. 2013, p. 1–19, 18 out. 2013. Disponível em: <<http://doi.wiley.com/10.1111/itor.12054>>. Acessado em: 16 de maio de 2018.

SOUZA, Jobabe Lira Lopes Leite de; BORGES, Isaura Gabriela Mendonça; SANTOS, Rosângela Leal. Avaliação da eficiência do modelo AHP na análise de vulnerabilidade a erosão do município de Morro do Chapéu - BA. **Anais**. XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, João Pessoa-PB, Brasil, 25 a 29 de abril de 2015.

SOUZA, E. R.; FERNANDES, M. R. Sub-bacias hidrográficas: unidades básicas para o planejamento e a gestão sustentáveis das atividades rurais. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 21, nº 207, Nov./dez. p. 15-20, 2000.

SOUZA, D. F. de; VIEIRA, T.; LOPES, M. R. C. M.; FRANCISCO, R. **Aplicação do Método AHP-Fuzzy**. Disponível em: <<http://www.pucrs.br/edipucrs/erematsul/comunicacoes/10DEBORAFERRODESOUZA.pdf>>. Acesso em: 14 de maio de 2018.

SOUZA, I. A.; LACERDA, F. F. Impacto do El Niño na safra agrícola da cana de açúcar no Estado de Pernambuco. In: **Anais**. III Simpósio Brasileiro de Climatologia Geográfica. 3, Salvador. Anais. Salvador: Universidade Federal da Bahia, 1998.

STEVAUX, José Candido. **Geomorfologia Fluvial**, Oficina de Textos, São Paulo, 336 p. 2017.

STOCKING, M.A. The measurement, use and relevance of rainfall energy in investigations into erosion. **Z. Geomorph.**, N.F. Berlin (29), p. 141-150, 1978.

STRAHLER, A.N. Hipsometric (area-altitude) analysis and erosional topography. **Geological Society of America Bulletin**, v. 63, n. 10, p. 1117-1142, 1952.

STRAHLER, A.N. Quantitative slope analysis. **Geological Society of America Bulletin**, n. 67, p. 571-596, 1956.

SUGUIO, K. **Geologia Sedimentar**. São Paulo: editora Edgard Blücher Ltda, 400 p. 2003.

TEODORO, Valter Luiz Iost; TEIXEIRA, Denilson; COSTA, Daniel Jadyr Leite; FULLER, Beatriz Buda. O conceito de bacia hidrográfica e a importância da caracterização morfométrica para o entendimento da dinâmica ambiental local. **Revista Uniara**, n. 20, 2007.

THOMAS, Michael Frederic. **Geomorphology in Tropics: a Study of Weathering and Denudation in Low Latitudes**. New York: John Wiley & Sons, 443 p, 1994.

THORNES, J.B. Erosional processes of running water and their spacial and temporal controls: a theoretical view point. In: **Soil erosion**. Editores: M.J. Kirkby e R.P.C. Morgan, p. 129-182, 1980.

TOLEDO, M. C. M. et al. Intemperismo e formação do solo. In: TEIXEIRA, Wilson et al. org. **Decifrando a Terra**. São Paulo: Oficina de Textos, 568p. il. p. 140-166. 2000.

TONELLO, Kelly Cristina. **Análise hidroambiental da bacia hidrográfica da Cachoeira das Pombas, Guanhães, MG.** Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, Viçosa, 2005.

TORRES, Fernanda Soares de Miranda; PFALTZGRAFF, Pedro Augusto dos Santos (Organização). **Geodiversidade do estado de Pernambuco.** Recife: CPRM, 2014.

TRICART J. **Ecodinâmica.** Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Superintendência de Recursos Naturais e Meio ambiente, Diretoria Técnica. Rio de Janeiro, 97 p. 1977.

TRICART J. **Géomorphologie applicable.** Paris, Masson, 1978.

TROEH, F. R. Landform equations fitted to contour maps. **American Journal of Science**, New York, p. 616 627, 1965.

TUCKER, M. **Techniques in sedimentology.** London: Blackwell, 1995.

UVO, C. B.; BERNDTSSON, R. Regionalization and spatial properties of Ceará State Rainfall in Northeast Brazil. **J. Geoph. Res.**, v. 101, n. D2, p. 4221-4233, 1996.

VASCONCELOS, J. O.; SOUZA, J. O. P. **Zoneamento e caracterização da bacia hidrográfica de São João do Tigre**, REGNE, Vol.2, Nº Especial, p. 171-180, 2016.

VALENTIN, C.; POESEN, J.; YONG LI. **Gully erosion: impacts, factors and control.** In: Catena. No. 63. p. 132-153. 2005.

VAN WESTEN, C.J.; CASTELLANOS, E.; KURIAKOSE, S.L. Spatial data for landslide susceptibility, hazard, and vulnerability assessment: An overview. **Engineering Geology**, 102, p. 112–131, 2008.

VIEIRA, N. M. **Estudo geomorfológico das boçorocas de Franca, SP.** Franca, Instituto de História e Serviço Social, Universidade Estadual Paulista, 1978.

VIEIRA, A.F.G. **Erosão por voçorocas em áreas urbanas: o caso de Manaus (AM).** 1998. 181 p. Dissertação (Mestrado) - DPGG/UFSC, Florianópolis, 181 p. 1998.

VIEIRA, A.F.G. **Desenvolvimento e distribuição de voçorocas em Manaus (AM): principais fatores controladores e impactos urbano-ambientais.** Tese (Doutorado em Geografia) - Programa de Pós-graduação em Geografia da Universidade Federal de Santa Catarina (PPGG/UFSC), 2008.

VILAR, O.M.; PRANDI, E.C. **Erosão dos Solos.** Solos do Interior de São Paulo, ABMS/USPSC, 1993.

WEB HIPRE. **Servidor do software Web-Hipre.** Disponível em: <http://hipre.aalto.fi>. Acessado em: 16 de maio de 2018.

WENTWORTH, C. K. A scale of grade and glass terms for clastic sediments. **J. Geol.**, v. 30, p. 377-392, 1922.

WILLETT, S. D.; MCCOY, S. W.; PERRON, J. T.; GOREN, L.; CHEN, C. Dynamic reorganization of river basins. **Science**, v. 343, 1117-1127, 2014.

WISCHMEIER W. H. A rainfall erosion index for a universal soil loss equation. **Soil Sci. Soc. Amer. Proc.** v. 23, p. 246-249, 1959.

WISCHMEIER, W.H.; SMITH, D.D. Rainfall energy and its relation ship to soil loss. **Transaction American Geophafic Union.** v.39, n.2, p. 285-91, 1958.

WISCHMEIER, W.H.; SMITH, D.D. **Predicting rainfall erosion losses:** A guide conservation planning. Washington, DC, USDA, 58 p. 1978.

XUJIONGXIN, J. Benggang erosion: the influencing factors. **Catena**, [S.I.], v. 27, p. 249-263, 1996.

YOUNG, A. Soil movement by denudational processes on slopes. **Nature, London.** Vol.188 p.120-122, 1960.

YOUNG, R.A.; MUTCHLER, C.K. Effect of slope shape on erosion and runoff. **Trans. Am. Soc. Agric. Eng.**, v.12, p. 231-239, 1969.

ZACHAR, D. **Soil Erosion.** Amsterdam; New York: Elsevier Scientific, Distribution for the U.S.A. and Canada, Elsevier North-Holland, Inc., Translation of: Erózia pôdy. 547 p. 1982.

ZADEH, L. A. Fuzzy sets. **Information and Control**, v. 8, n. 3, p. 338–353, 1965.