UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS - UFAM

INSTITUTO DE FILOSOFIA, CIÊNCIAS HUMANAS E SOCIAIS – IFCHS

DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA - DEGEO

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA - PPGGEOG

LEANDRO FÉLIX DE CASTRO

O USO DA TERRA E A VULNERABILIDADE AMBIENTAL NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SANABANI NO MUNICÍPIO DE SILVES-AM

MANAUS – AM
2021

LEANDRO FÉLIX DE CASTRO

O USO DA TERRA E A VULNERABILIDADE AMBIENTAL NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SANABANI NO MUNICÍPIO DE SILVES-AM

Dissertação de mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal do Amazonas como requisito para obtenção do título de Mestre em Geografia. Linha de Pesquisa: Domínios da Natureza na Amazônia.

Orientador:

Prof. Dr. JOÃO CÂNDIDO ANDRÉ DA SILVA NETO

MANAUS – AM
2021

Ficha Catalográfica

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

C355u

Castro, Leandro Felix de
O uso da terra e a vulnerabilidade ambiental na bacia hidrográfica do rio sanabani no município de silves - AM / Leandro Felix de Castro . 2021
113 f.: il. color; 31 cm.

Orientador: João Cândido André da Silva Neto
Dissertação (Geografia) - Universidade Federal do Amazonas.

1. Uso da Terra. 2. Cobertura Vegetal. 3. Vulnerabilidade Ambiental. 4. Bacia Hidrográfica. I. Silva Neto, João Cândido André da. II. Universidade Federal do Amazonas III. Título

Poder Executivo
Ministério da Educação
Universidade Federal do Amazonas
IFCHS/DEGEO/Programa de Pós-Graduação em Geografia
Mestrado e Doutorado Conceito 4 CAPES
Aprovado pela Resolução Nº 011 – CONSUNI de 11/07/2006
Reconhecido através da Portaria Nº 1.077 - MEC, de 31 de agosto de 2012

PPGEOG

Ata da Defesa Pública da Dissertação de Mestrado do Senhor ***LEANDRO FÉLIX DE CASTRO***, discente do Programa de Pós-Graduação em Geografia do Instituto de Filosofia, Ciências Humanas e Sociais da Universidade Federal do Amazonas, Área de Concentração em Amazônia: Território e Ambiente, realizada no dia **20 de Maio de 2021**.

Aos **vinte** dias do mês de **Maio de dois mil e vinte e um**, às **quatorze horas**, em Sala Aberta (Google Meet), realizou-se a Defesa Pública da Dissertação de Mestrado, intitulada "***O USO DA TERRA E A VULNERABILIDADE AMBIENTAL NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SANABANI NO MUNICÍPIO DE SILVES-AM***", sob orientação do(a) Professor(a) Doutor(a) **JOÃO CÂNDIDO ANDRÉ DA SILVA NETO (PPGEOG/UFAM)**, do(a) aluno(a) ***LEANDRO FÉLIX DE CASTRO***, em conformidade com o Art. 83 do Regimento Geral de Pós-Graduação da Universidade Federal do Amazonas, como parte final de seu trabalho para a obtenção do grau de **MESTRE EM GEOGRAFIA**, área de concentração em **AMAZÔNIA: TERRITÓRIO E AMBIENTE**. A Banca Examinadora foi constituída pelos seguintes membros: **Professor (a) Doutor (a)** ***João Cândido André da Silva Neto, Presidente*** **(PPGEOG/UFAM), Professor (a) Doutor (a)** ***Vila Terezinha de Araújo Lima, Membro Titular*** **(ENS/UEA/MANAUS)** e a **Professor (a) Doutor (a)** ***Antonio Fábio Sabbá Guimarães Vieira, Membro Titular*** **(PPGEOG/UFAM)**. O (A) Presidente da Banca Examinadora deu início à sessão convidando os membros da Banca e o (a) Mestrando (a) a tomarem seus lugares. Em seguida, o (a) Senhor (a) Presidente informou sobre o procedimento do exame. A palavra foi facultada ao (a) Mestrando (a) para apresentar uma síntese do seu estudo e responder às perguntas formuladas pelos Membros da Banca Examinadora. Após a apresentação e arguição pelos Membros da Banca Examinadora, esta reuniu-se onde decidiu, por unanimidade, que a discente foi "***APROVADO***". A sessão foi encerrada. Eu, Maria das Graças Luzeiro, Secretária do PPGEOG, lavrei a presente ata, que vai assinada por mim, pelos Membros da Banca Examinadora e pelo (a) Mestrando (a). Manaus (AM), **20 de Maio de 2021**.

Banca Examinadora	Rubrica	Nota
Prof(a) Dr(a) João Cândido André da Silva Neto ***Presidente (PPGEOG/UFAM)***		***"9,0"***
Prof(a) Dr(a) Vilma Terezinha de Araújo Lima ***Membro Titular (ENS/UEA/MANAUS)***		***"9,0"***
Prof(a) Dr(a) Antonio Fábio Sabbá Guimarães Vieira ***Membro Titular (PPGEOG/UFAM)***		***"9,0"***

Leandro Félix de Castro
Mestranda

Maria das Graças Luzeiro
Mat. Siape 399554

DEDICATÓRIA

A minha família, pela força e carinho de todos
os dias, me dando forças para continuar
lutando por meus objetivos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, em primeiro lugar, a Deus e ao nosso Senhor Jesus Cristo, pela sua infinita misericórdia e por ter me dado saúde todos os dias.

À minha, mãe dona Maria Clara Félix de castro, e a meu pai, Raimundo Nonato de Menezes, pela educação e pelo amor que me proporcionam, bem como ao incentivo para sempre continuar lutando por meus objetivos.

Aos meus irmãos, Cleber Félix e Tatiany Félix, por sempre me incentivarem a nunca desistir, pelo carinho e atenção de sempre.

À minha esposa, Marcia Honorato Aparício, pela força, atenção e carinho de todos os dias.

À Secretaria de Estado de Educação e qualidade de Ensino (SEDUC-AM), juntamente com a Universidade Federal do Amazonas (UFAM), representada pelo Programa de Pós-graduação em Geografia, pelo convênio firmado e pelo investimento na qualificação dosprofessores, e incentivo na liberação integral para o desenvolvimento desta pesquisa.

À Prof.ª Dra. Vilma Terezinha de Araújo Lima, por incentivar-me sempre nos projetos de ensino e pesquisa na educação básica.

Ao Professor e amigo Michael Guimarães de Souza, pela amizade, pela ajuda e a colaboração nesta pesquisa.

Aos amigos do Laboratório de Hidrogeografia e Climatologia da Amazônia (HIDROGEO), Marcela, Mayssa, Rebeca, Almir, Rayane, Cristiano, Kamila, pela companhia, bate-papos e incentivo.

Ao Bruno Sarkis, pela grande colaboração, que foi de fundamental importância nesta pesquisa, pelo incentivo e pela amizade criada ao longo deste trabalho.

Ao meu orientador, Dr. João Cândido André da Silva Neto, por ter aceitado e proporcionado este grande desafio, pela dedicação em todos os momentos, pela paciência, pelos conhecimentos compartilhados, pela pesquisa desenvolvida. Serei eternamente grato a tudo.

EPÍGRAFE

Vivemos em uma época perigosa. O homem domina a natureza
antes que tenha aprendido a dominar a si mesmo.

Albert Schweitzer

RESUMO

A busca por um desenvolvimento sustentável tem levado as bacias hidrográficas a tornarem-se uma importante unidade de estudo, relacionados ao uso, ocupação e conservação de seus recursos naturais, por haver relações sociais e ecológicas com este ambiente. Os recursos hídricos são submetidos às mais diversas pressões ocasionadas por uma alta demanda associadas ao crescimento da população, da industrialização e produção de alimentos. A presente pesquisa teve, por objetivo geral, analisar a influência do uso da terra na vulnerabilidade ambiental na Bacia Hidrográfica do rio Sanabani, no Município de Silves-AM. Os objetivos específicos consistiram no mapeamento do uso da terra e cobertura vegetal a partir de uma perspectiva temporal, referentes aos anos de 1985, 1989, 1999, 2009 e 2019, mapear as Áreas de Preservação Permanente e de incompatibilidade, e estabelecer uma escala de Vulnerabilidade Ambiental, partindo da inter-relação dos atributos físico-ambientais e uso da terra. A metodologia utilizada para alcançar tais objetivos utilizou-se do ambiente do Sistema de Informação Geográfica (SIG) por meio do software QGIS e SPRING. Em relação à vulnerabilidade ambiental a metodologia foi fundamentada na proposta de Crepani et. al. (2001), desenvolvida a partir do conceito de Ecodinâmica (TRICART, 1977). A análise temporo-espacial do uso da terra e cobertura vegetal da bacia hidrográfica do rio Sanabani, permitiu identificar uma redução da vegetaçãoprimária onde em 1985 era 92%, para atuais 87% em 2019. As Áreas de Preservação Permanente possuem 22% da área total da bacia, e são em sua maioria, em áreas de nascentes, considerando o raio de 50 metros de vegetação em seu entorno. As áreas de incompatibilidade representam apenas 1% do total das áreas de APPs, não estando de acordo com o que é previsto em lei (código florestal), nestes espaços destinados legalmente à proteção ambiental. Os índices de Vulnerabilidade ambiental alcançados demonstram que as classes de Vulnerabilidade Fraca e Moderada representam, juntas, umtotal de 98% do da bacia, ou seja, uma predominância em toda bacia, estando, assim, em uma categoria morfodinâmica de estável a intermediária (intergrades).

Palavras-chave: Uso da terra, cobertura vegetal, vulnerabilidade ambiental, Bacia hidrográfica.

ABSTRACT

The search for sustainable development has led hydrographic basins to become an important study unit, related to the use, occupation and conservation of their natural resources, as there are social and ecological relationships with this environment. Water resources are included as the most diverse pressures caused by high demand associated with population growth, industrialization and food production. The present research had as general objective to analyze the influence of the use of the land in the environmental vulnerability in the Hydrographic Basin of the river Sanabani in the Municipality of Silves-AM. The specific objectives were mapped for land use and vegetation cover froma time perspective referring to the years 1985, 1989, 1999, 2009 and 2019, to map the Areas of Permanent Preservation and incompatibility, and to establish an EnvironmentalVulnerability scale, based on the interrelationship of physical-environmental attributes and land use. The methodology used to achieve these objectives uses the Geographic Information System (GIS) environment through the QGIS and SPRING software. Regarding environmental vulnerability, the methodology is based on the proposal by Crepani et. al. (2001), developed from the concept of Ecodynamics (TRICART, 1977). The temporo-spatial analysis of land use and vegetation cover in the Sanabani river basin,caused the reduction of primary vegetation where in 1985 it was 92%, to current 87% in2019. Permanent Preservation Areas have 22% of the total area of the basin, and are mostly delayed, in spring areas considering the radius of 50 meters of vegetation in theirsurroundings. The areas of incompatibility represent only 1% of the total areas of APPs,do not raise according to what is provided by law (forest code) due to the legally reservedspace for environmental protection. The environmental Vulnerability indexes achieved show that the Weak and Moderate Vulnerability classes together represent a total of 98%of the basin, that is, a predominance in all administration, taken from a morphodynamic category from stable to intermediate (intergrades)

Keywords: Land use, vegetation cover, environmental vulnerability, Hydrographic basin.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Regiões Hidrográficas Brasileiras.....28
Figura 2: Localização da área de estudo 40
Figura 3: Geologia da bacia do rio Sanabani. 41
Figura 4: Localização da bacia do Amazonas no do estado do Amazonas.....42
Figura 5: Geomorfologia da bacia do rio Sanabani. 43
Figura 6: Pedologia da bacia rio Sanabani.....45
Figura 7: Vegetação da bacia do rio Sanabani.....46
Figura 8: Padrões de drenagem.....47
Figura 9: Hierarquia fluvial da bacia do rio Sanabani. 48
Figura 10: Fluxograma da metodologia da pesquisa.....50
Figura 11: Etapas do processamento digital de imagens.....53
Figura 12: Pontos de Precipitação na Bacia Hidrográfica do rio Sanabani. 57
Figura 13: Mapa de Uso da terra e cobertura vegetal da Bacia Hidrográfica do Rio Sanabani em 1985. 64
Figura 14: Mapa de Uso da terra e cobertura vegetal da Bacia Hidrográfica Rio Sanabani em 1989. 65
Figura 15: Mapa de Uso da Terra e cobertura Vegetal da Bacia Hidrográfica rio Sanabani 1999. 67
Figura 16: Mapa de Uso da Terra e cobertura Vegetal da Bacia Hidrográfica rio Sanabani 2009. 68
Figura 17: Voçoroca localizada na rodovia AM-363 km-76 70
Figura 18: Mapa de Voçorocas na bacia do rio Sanabani. 71
Figura 19: Mapa de Uso da Terra e cobertura Vegetal da Bacia Hidrográfica rio Sanabani em 2019. 72
Figura 20: Áreas de Preservação Permanente da bacia hidrográfica do rio Sanabani. 75
Figura 21: Incompatibilidade entre as Àreas de Preservação Permanentes e o uso da terra na bacia hidrográfica do rio Sanabani em 2019. 76
Figura 22: Incompatibilidade do uso da terra em APP's. Margens do rio Itapani. 77
Figura 23: Incompatibilidade do uso da terra em APP's. (a) Desmatamento para cultivo da mandioca (b). Cultivo de mandioca em vertente com declividade acentuada no rio Itapani. ..77
Figura 24: Disposição dos resíduos sólidos no lixão a céu aberto. 78
Figura 25: Local de entrada do lixão localizado na sede do município de Silves. 79
Figura 26: Mapa Hipsométrico da Bacia Hidrográfica do Rio Sanabani.....80
Figura 27: Mapa de Declividade da Bacia Hidrográfica do Rio Sanabani. 81
Figura 28: Formas do terreno 83
Figura 29: Mapa de Formas do Terreno da Bacia Hidrográfica do Rio Sanabani. 84
Figura 30: Mapa de Vulnerabilidade do Relevo na Bacia Hidrográfica do Rio Sanabani.....86
Figura 31: Mapa de Erosividade média anual da Bacia Hidrográfica do Rio Sanabani. 88
Figura 32: Mapa de vulnerabilidade da paisagem à perda dos solos do Rio Sanabani.....89
Figura 33: Planície de inundação do rio Sanabani. 90
Figura 34: Áreas antropizadas na margem do rio Itapani. 92
Figura 35: Margens do rio Sanabani. (a) Animais de grande porte (b) Extração mineral as margens do rio Sanabani.....93
Figura 36: Áreas de pastagens com solo exposto e Declividades acentuadas. 94
Figura 37: Sede Municipal de Silves.....95
Figura 38: Área suscetível a processos erosivos. 96

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Estudos Ambientais.....34
Quadro 2: Aplicações potenciais de Sistemas de Informação Geográfica ao manejo de bacias hidrográficas. 36
Quadro 3: Classes do relevo.....55
Quadro 4: Pesos Atribuídos para Elaboração da Vulnerabilidade do Relevo.....57
Quadro 5: Escala de Vulnerabilidade Ambiental.....61
Quadro 6: Categoria morfodinâmica.....61
Quadro 7: Pesos atribuídos para determinar a vulnerabilidade ambiental.....62
Quadro 8: Formas do terreno e os graus de vulnerabilidade.....84

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Imagens de satélite utilizadas para análise temporal e mudança de uso e cobertura da terra no município de Silves. 52
Tabela 2: Identificador da Classe no SIG. 56
Tabela 3: Classes de uso da terra e cobertura vegetal na bacia hidrográfica do rio Sanabani em 1985 e 1989. 65
Tabela 4: Classes de uso da terra e cobertura vegetal na bacia hidrográfica rio Sanabani em 1999 e 2009. 69
Tabela 5: Classes de uso da terra e cobertura vegetal na bacia hidrográfica o rio Sanabani em 2019. 73
Tabela 6: Evolução do efetivo da pecuária de animais de grande porte 74
Tabela 7: Áreas com e sem APP's em km2. 75
Tabela 8: Classes Hipsométricas e seus valores em área (km2) e porcentagem (%) na bacia hidrográfica do Rio Sanabani. 80
Tabela 9: Classes de Declividade e Grau de Vulnerabilidade. 82
Tabela 10: Vulnerabilidade do Relevo. 85
Tabela 11: Classes de erosividade da chuva média anual e mensal. 87
Tabela 12: Vulnerabilidade da paisagem a perda dos solos. 91

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Precipitação da Bacia Hidrográfica do rio Sanabani. 49
Gráfico 2: Classes de uso da terra e cobertura vegetal na bacia hidrográfica no ano de 1985 e 1989. 66
Gráfico 3: Classes de uso da terra e cobertura vegetal na bacia hidrográfica no ano de 1999 e 2009. 69
Gráfico 4: Classificação geral da redução das classes do uso da terra. 71
Gráfico 5: Classes de uso da terra e cobertura vegetal na bacia hidrográfica ano 2019. 73
Gráfico 6: Incompatibilidade de uso da terra nas Áreas Preservação Permanentes na Bacia Hidrográfica do Rio Sanabani. 76
Gráfico 7: Vulnerabilidade da paisagem a perda dos solos. 91

LISTA DE SIGLAS

SIG: Sistema De Informações Geográfica

IBGE: Instituto Brasileiro De Geografia E Estatística

APPS: Áreas De Preservação Permanente

AHP: Processo Hierárquico Analítico

INPE: Instituto Nacional De Pesquisas Espaciais

EMBRAPA: Empresa Brasileira De Pesquisa Agropecuária

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO 16

1. **REVISÃO DE LITERATURA** 19
   1.1. Apropriação da Natureza e a Questão Ambiental 19
   1.2. Análise da Paisagem 22
   1.3. Bacias Hidrográficas como Unidade de Estudo 25
   1.4. Geotecnologias Aplicada aos Estudos Ambientais. 31
   1.5. Vulnerabilidade ambiental 37

2. **LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SANABANI** 39
   2.1. Localizações da área de estudo 39
   2.2. Geologia 41
   2.3. Geomorfologia 43
   2.4. Pedologia 44
   2.5. Vegetação 46
   2.6. Hidrografia 47
   2.7. Clima 48

3. **PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS** 50
   3.1. Elaboração dos Mapas de Uso e Cobertura da Terra 51
   3.2. Elaboração dos mapas de Declividade e Hipsometria 54
   3.3. Elaboração dos mapas de curvaturas e formas do terreno 55
   3.4. Elaboração do Mapa de Vulnerabilidade do Relevo 56
   3.5. Elaboração do Mapa de Erosividade 57
   3.6. Elaboração do mapa de Áreas de Preservação Permanente e das Áreas de Incompatibilidade. 58
   3.7. Elaboração do Mapa síntese de Vulnerabilidade Ambiental 59

4. **RESULTADOS E DISCUSSÕES** 63
   4.1. Análise Temporo-espacial do Uso da Terra e Cobertura Vegetal na Bacia Hidrográfica do Rio Sanabani 63
   4.2. Áreas de Preservação Permanente 74
   4.3. Hipsometria 79
   4.4. Declividade 81
   4.5. Formas do terreno 82
   4.6. Vulnerabilidade do relevo 85
   4.7. Erosividade 86
   4.8. Vulnerabilidade Ambiental 88

5. **CONSIDERAÇÕES FINAIS** 97

6. **REFERÊNCIAS** 99

7. **ANEXOS** 110

INTRODUÇÃO

A Floresta Amazônica é a maior floresta tropical com clima equatorial quente e úmido e, junto com a Bacia Amazônica, formam um dos mais importantes ecossistemas do planeta. De acordo com Ferreira (2012), na Amazônia, observa-se um mosaico de três principais estruturas florestais, sendo a primeira, a floresta de várzea, a segunda floresta de igapó e a terceira a floresta de terra firme. Acrescenta, ainda, que esta floresta densa e de alta biomassa é mantida pela eficiente reciclagem de nutrientes contidos na biomassa, além da entrada de nutrientes pela água da chuva e pela deposição de nutrientes transportados à longa distância.

Ab' Saber (2003), afirma que a Amazônia está no cinturão de máxima diversidade biológica, e destaca-se pela extraordinária continuidade de suas florestas, pela ordem de grandeza de sua rede hidrográfica, e por sutis variações do seu ecossistema.

Em posição de destaque no atlas mundial, a Amazônia possui riquezas que podem ser traduzidas nas grandes jazidas minerais e óleo, na diversidade animal, vegetal e micro-organismos que vivem acima e abaixo do solo (HIGUCHI; HIGUCHI, 2012).

A Amazônia, além de sua extensa e rica floresta, possui, também, uma grande extensão hídrica que é constituída pela bacia hidrográfica do rio Amazonas. Esta bacia ocupa uma área total da ordem de 6.110.000 km², desde os Andes no Peru até sua foz, no oceano Atlântico, 63% deste total encontra-se em território brasileiro (SANTOS *et al.*, 2012).

A água, na Amazônia, exerce um papel de grande importância, visto que é uma região que concentra grande quantidade de chuvas, bem como pelas características, de natureza geográfica, que contribuem para formação de rios como o Negro, Madeira, Tapajós, Xingu, Juruá e Purus, rios esses que exercem extrema relevância na formação do rio Amazonas, que possui 6.992 km, o que o torna maior em extensão e volume de água (INPE, 2008; FERREIRA, 2012).

Diante disto, "a busca por respostas que viabilizem uma melhor utilização dos recursos naturais e uma relação mais harmônica entre sociedade e natureza, tem levado à novas abordagens nas pesquisas geográficas" (CAMPOS, 2008, p. 12), surgindo então estudos de cunho ambiental (MENDONÇA, 2001).

Embora haja políticas e planejamentos voltados ao meio ambiente com o intuito de conciliar desenvolvimento e preservação, Gomes (1988), enfatiza que os índices de agressão à natureza e à sociedade atingem valores catastróficos, não conciliando na prática o desenvolvimento econômico com preservação da natureza.

No cenário da Amazônia Legal, o processo de ocupação de forma desordenada gera impactos de difícil ou nenhuma solução, pois a alteração da paisagem e do uso da terra deve-se

principalmente à utilização do solo com atividades agropecuárias e de mineração, que nem sempre são adequadas para o ambiente Amazônico (MOREIRA, 2008; SANTOS, 2013).

Segundo Bruno e Menezes (2012), a imagem da Amazônia é da floresta ameaçada pela ação predatória humana, manifestado no avanço do desmatamento constituindo um risco à sustentabilidade.

Higuchi e Higuchi (2012, p. 12), afirmam que "dessa forma, o desmatamento, associado ao mau uso dos recursos naturais da Amazônia, tem sido motivo de preocupação no cenário internacional, com a possibilidade de intensificar a crise ambiental que o planeta tem sido acometido principalmente nas últimas cinco décadas".

O discurso de uma política nacionalista adotada pelo regime militar é um dos pontos de partida para a ocupação da Amazônia, sendo intensificado através de programas de incentivos de ocupação e de produção para esta região.

Venturieri *et al*., (2010), confirma que o Programa de Integração Nacional (PIN) instituído pelo decreto-lei 1.106, de 16 de julho de 1970, durante o regime militar, foi um dos processos determinantes para a ocupação da Amazônia brasileira a partir da década de 1970, e que esta região apresenta um acelerado processo de substituição de sua cobertura vegetal oriundos de atividades antrópicas.

A retirada da cobertura vegetal segundo Fearnside (1997, p. 05), "acaba com as opções de manejo florestal sustentável tanto para os recursos madeireiros quanto para os farmacológicos e genéticos".

Diante disto, torna-se importante e necessário o mapeamento e estudos voltados para o uso e ocupação da terra e da vulnerabilidade ambiental em bacias hidrográficas. As explorações dos recursos naturais das bacias hidrográficas sem um planejamento de manejo adequado podem desencadear os processos de degradação ambiental, como intensificação de processos erosivos, assoreamentos de canais de drenagem, contaminação dos corpos hídricos e perda de biodiversidade.

Assim, o mapeamento de uso e ocupação da terra exerce influência significativa sobre os recursos hídricos, uma vez que, dentre os vários problemas, apontam o aporte desedimentos no leito dos mananciais, alterando a qualidade e disponibilidade da água no solo (ASSIS, *et al*., 2014).

A presente pesquisa teve por objetivo analisar as principais mudanças no uso e cobertura da terra que ocorreram ao longo das últimas décadas e analisar a vulnerabilidade ambiental na bacia hidrográfica do rio Sanabani, localizado no municípiode Silves-AM.

Nesses termos, os objetivos específicos desta pesquisa residiram em analisar o uso da

terra numa perspectiva temporal, caracterizar as variáveis físico-ambientais da área de estudo, mapear as áreas de preservação permanente e estabelecer uma escala de vulnerabilidade ambiental, que resultou em produtos cartográficos considerando a dinâmica do uso da terra e cobertura vegetal da área de estudo.

Esta pesquisa está estruturada em quatro capítulos, onde o primeiro deles apresenta o referencial teórico, com aspectos gerais e norteadores da pesquisa. O capítulo dois apresenta a caracterização da área de estudo, destacando os condicionantes físicos-ambientais. Já o capítulo três apresenta a metodologia aplicada e as etapas que a constituíram, e por fim, no capítulo quatro, estão as discussões dos resultados obtidos com a pesquisa, considerações finais, as referências bibliográficas, e em anexos estão os testes e programação utilizados em SIG.

1. REVISÃO DE LITERATURA

1.1. Apropriação da Natureza e a Questão Ambiental

A natureza funciona em equilíbrio, graças à harmonia estabelecida pelas diversas relações que ela produz que, consequentemente, resultam nos recursos necessários para a nossa vida.

As ações humanas modificam a paisagem natural há séculos. Diante disto, torna-se imprescindível a compreensão do processo de apropriação e relação da sociedade com a natureza, buscando compreender a influência desse processo no espaço.

Naves e Bernardes (2014, p. 11), afirmam que "em sua gênese, as relações do homem com a natureza foram estabelecidas pela dependência do primeiro às condições naturais", buscando condições favoráveis para nutrir-se, abastecer-se e manter sua sobrevivência.

Fundamentado nesta necessidade, o homem começa a buscar soluções para os problemas, migrando para outros nichos ecológicos empreendendo fuga abandonando seu "habitat'' antigo. A partir de então, acontece a primeira ruptura tornando-se o marco histórico do primeiro desequilíbrio ecológico provocado pelo homem (FELDENS, 2018). Esta ruptura e desequilíbrio é o início das intervenções que resultam, segundo Casseti (1995), na transformação da primeira natureza em segunda natureza em recursos indispensáveis para sua existência.

Casseti (1995), considera ainda a natureza em dois momentos, cuja transição acontece ao longo da história, pelo processo de apropriação e transformação produzido pelo homem.

Entretanto, as primeiras explorações dos elementos naturais não demonstraram muitas pretensões significativas, mas com o passar das evoluções, o homem submeteu-se menos às condições da natureza, o que, conforme Feldens (2018), ocorreu, a partir de então, uma intervenção mínima, mas consciente do ser humano ao meio ambiente.

Moraes e Lorandi (2016), afirmam que o homem é o principal modificador dos ciclos de evolução natural e que a poluição do meio ambiente é um dos problemas causados pelo desequilíbrio das atividades antrópicas levando a destruição de todo um sistema.

Segundo Casseti (1995, p. 1), "o homem não é apenas um habitante da natureza, ele se apropria e transforma as riquezas da natureza em meios de civilização histórica para a sociedade".

Conforme Biolat (1977, p. 13), “a sociedade está numa relação direta com a natureza por todo um processo de produção de bens materiais e de desenvolvimento cultural dos homens, destinado a satisfazer suas necessidades”. Diante desta afirmação, Hammes (2004), destaca que a riqueza sempre moveu as intervenções do homem no mundo.

Segundo Bernardes e Ferreira (2012), com base nessa concepção, desenvolveram-se práticas, por meio de um processo de industrialização, em que a acumulação se realizava por meio da exploração intensa dos recursos naturais, com efeitos perversos a natureza e ao homem.

Apesar de toda riqueza produzida e acumulada, juntamente com o desenvolvimento tecnológico produzido pela sociedade, nenhum destes foi capaz de minimizar a dependência do homem pelos recursos que a natureza oferece.

A atividade desenvolvida pela sociedade faz com que o homem visualize a natureza sob a perspectiva de domínio. Devido a isto, credita-se a ele uma parcela significativa da crise ambiental que está diretamente relacionada com forma de apropriação, seu estilo de vida, as políticas sociais e econômicas e o desenvolvimento das técnicas de exploração e transformação.

A degradação do meio ambiente e a crise dos recursos naturais, energéticos e de alimentos, surgiram nas últimas décadas do século XX como uma crise de civilização, questionando a racionalidade econômica e tecnológica dominante. Acreditava-se que o crescimento econômico não teria limites e que o desenvolvimento significava dominar a natureza e o homem (LEFF, 2007; BERNARDES; FERREIRA, 2012).

Segundo Bernardes e Ferreira (2012), com a crise ambiental do século XX, surge um dos mais importantes movimentos sociais dos últimos anos, a chamada de “revolução ambiental”, promovendo transformações no comportamento da sociedade e na organização política e econômica.

A problemática ambiental provocou mudanças globais em sistemas socioambientais complexos que afetam as condições de sustentabilidade do planeta (LEFF, 2007). Tais Mudanças ocorrem com o intuito de se contrapor aos meios de produção capitalista.

Uma das principais causas da problemática ambiental foi atribuída ao processo histórico do qual emerge a ciência moderna e a revolução industrial, pois, desde o séculoXVI a ciência é vista como intervenção na natureza com objetivos práticos e econômico (LEFF, 2007; BERNARDES; FERREIRA, 2012).

Diante disto, observa-se que uma das raízes da crise ambiental está no modo deprodução e consumo capitalista e da relação da sociedade com a natureza. Esta relação sociedade-natureza, externa sua ação predatória aos recursos naturais, contrapondo-se a condições favoráveis ao meio ambiente.

A mundialização da questão ambiental teve início com 1ª Conferência das NaçõesUnidas sobre o Meio Ambiente, realizada em 1972, em Estocolmo, movida pela degradação ambiental refletida em uma poluição industrial, exploração dos recursos naturais, deterioração das condições ambientais e problemas sanitários, déficit de nutrição e aumento da mortalidade (CUNHA e GUERRA, 2009).

Cunha e Guerra (2009), enfatizam, ainda, que os problemas ambientais mencionados são de caráter mundial, ocorrendo em todos os espaços da terra e tendo gerado esta crise ecológica onde as atividades humanas possuem grande responsabilidade neste processo.

A globalização do discurso sobre a questão ambiental acarretou um apelo por mudanças globais, através de ações, individuais, coletivas e públicas voltadas a preocupação de preservação ambiental, através de atividades que não comprometam os ecossistemas de forma predatória.

Ross (2017), ressalta que parece óbvio que qualquer interferência na natureza, pelo homem, necessita de estudos que levem a um diagnóstico ou a um conhecimento do quadro ambiental onde se pretende atuar, pois não se pode coibir a expansão dos espaços apropriados, reorganizados e a ampliação do uso dos recursos naturais, devido ao nível de expansão econômica e demográfica dos dias atuais.

Dessa forma, as possíveis maneiras de aproveitamento sustentável dos recursos que podem ser adotados no atual momento estão definidas pelas condições de expansão daeconomia de mercado, verdadeiramente não se pode coibir a expansão econômica do sistema capitalista. Leff (2007), destaca que:

> Mas estas dependem, por sua vez, do grau de rigidez que apresentam as estruturas tecnológicas e institucionais, bem como os princípios teóricos e os avanços científicos nos quais se apoia esta racionalidade econômica para internalizar as bases e condições de um desenvolvimento sustentável (p. 63)

Mesmo com uma forte base capitalista, o desenvolvimento humano está interligado com a natureza, havendo a necessidade de relacionar as ações com suas decorrentes problemáticas ambientais (MARIANO, 2011).

A adoção de políticas econômicas voltadas para o meio ambiente, somadas com a estrutura tecnológica atual, possibilita medidas necessárias que atendam um desenvolvimento

econômico sustentável.

Para a construção de um conceito aplicável de desenvolvimento sustentável, primeiramente, é preciso romper com padrão econômico atual sujeito a um sistema capitalista, onde os elementos naturais são vistos apenas como recursos naturais sujeitos de uso e exploração sem gestão (CIDRIERA-NETO e RODRIGUES, 2017). Em síntese ainda segundo os autores, tal conceito pode ser um novo marco indicador de uma nova configuração (harmonia) das relações da sociedade com natureza.

Portanto, Lopes (2011, p. 10) afirma que:

> As recomendações de sustentabilidade da natureza não se encaixam no modelo de produção/acumulação capitalista, que defende o desenvolvimento, pautado na produção e consumo, com uma leve característica de preservação ambiental, na medida em que esta preservação não se torne ameaça diante da reprodução do mesmo, principalmente pela extração de recursos naturais.

Em busca por uma melhor gestão dos recursos Bernardes e Ferreira (2012), afirmam que neste início de século a questão ambiental tenta resgatar sua essência frenteàs relações sociedade-natureza, pois a compreensão tradicional das relações entre a sociedade e a natureza até então desenvolvidas, associado ao modo de produção capitalista, considerava o homem e a natureza como polos excludentes, tendo subjacente a concepção de uma natureza objeto, com recursos ilimitados a disposição do homem.

Nesse sentido, ressalta-se que a abordagem da questão ambiental exige de cada um de nós uma tomada de posição mais imperativa, sendo necessário o questionamento de que não basta, simplesmente, conhecer as causas determinantes da profunda desestabilização do binômio homem-natureza, para pôr fim ao contínuo processo de violação e destruição do mesmo (GOMES, 1988).

1.2. Análise da Paisagem

Todos os que se iniciam no conhecimento das ciências da natureza, por um caminho ou por outro, atingem a ideia de que a paisagem é sempre uma herança, ou seja, é uma herança de processos fisiográficos e biológicos, e patrimônio coletivo dos povos que historicamente as herdaram como território de atuação de suas comunidades (AB’ SÁBER, 2003).

Partindo deste ponto de vista histórico, Silva (2007), entende que o estudo da paisagem ao que se percebe pode revelar a história de grupos humanos, uma vez que se entende que esta reflete a cultura e o modo como vivem as pessoas em seu entorno. Logo, é a própria história do homem que se traduz nessa categoria.

A paisagem possui variadas definições, e em seus registros encontramos aspectos

representativos da natureza e da sociedade, seu conceito amplia-se devido ela não se limitar a uma divisão geográfica.

Segundo Maximiano (2004, p. 87), “Entre os geógrafos, há um consenso de que a paisagem, embora tenha sido estudada por ênfases diferenciadas, resulta da relação dinâmica dos elementos físicos, biológicos e antrópicos”.

Segundo Christofoletti (1999), o termo paisagem está relacionado com a palavra italiana *paesaggio*, ingressada a partir de pinturas que destacavam a natureza durante o período da renascença.

Até o século XVIII a paisagem era sinônimo de pintura e, diante disto, foi conciliando com a arte, que o espaço (o lugar) adquiriu estatuto de paisagem (RODENDHAL e CORRÊA, 2001). Através da pintura, a representação da paisagem dedeterminados espaços naturais e culturais, nos demonstra as primeiras formas de análise e registro do meio ambiente.

O termo “paisagem” expressão comum ao homem moderno foi introduzido por Alexander Von Humbolt no início do século XIX como um conceito geográfico- científico, considerado como o grande pioneiro nos estudos da geografia física e geobotânica (NAVEH e LIEBERMAN, 1989). Sob esta perspectiva científica dos naturalistas, a contribuição de Alexander Von Humbolt surge como pioneira e exemplar (CHRISTOFOLETTI, 1999).

Em virtude de sua conotação estética, ocorreu desenvolvimento inicial relacionado com o paisagismo e com a arte dos jardins, mas a partir do século XIX começou então a ser considerada como objeto a ser estudado, encapsulada nos trabalhos de naturalista e geógrafos (CHRISTOFOLETTI, 1999).

Segundo Bertrand (1972, p. 141), “a paisagem é, em uma determinada porção do espaço, o resultado da combinação dinâmica, portanto instável, de elementos físicos, biológicos e antrópicos que, reagindo dialeticamente uns sobre os outros, fazem da paisagem um conjunto único e indissociável, em perpétua evolução’’. A representação de elementos geográficos, seja ele físico, biológico e produtos da atividade humana nos demonstram o vínculo da sociedade com a natureza na formação e interpretação da paisagem.

Santos (1997), idealiza a paisagem como a expressão materializada no espaço geográfico, elucidando como forma. A paisagem é a forma espacial apresentada em uma primeira estância, constituinte do espaço e indicadora de conteúdos vivos e processos dinâmicos que estão sempre em atividades.

As atividades antrópicas transformam a paisagem natural em paisagem humanizada. A paisagem muda conforme o ser humano explora os recursos naturais. Ross (2006), confirma que os espaços naturais cedem lugar a novos espaços produzidos, a natureza modificada rende-se

às atividades econômicas, como a implantação de cidades, agropecuária, rodovias, ferrovias.

A paisagem está em nosso cotidiano e, ao observarmos um ambiente natural ou transformado, o julgamos caracterizando como belo, agradável ou como segundo Santos (1998), sendo tudo aquilo que nós vemos, o que nossa visão alcança é a paisagem, não apenas formada de volumes, mas de cores, movimentos, odores, sons, etc.

A definição da paisagem é construída a partir do senso comum e da ciência. Segundo Santos (1989), o senso comum são opiniões, formas de conhecimento incerto com que é preciso haver um rompimento para que se torne conhecimento científico racional e válido. O autor avalia, ainda, que em ciência nada é dado, pois tudo se constrói,se dispondo de três atos epistemológicos fundamentais que são a ruptura, a construção e a constatação.

A pesquisa dessas relações é um tema de investigação regida pelo método científico, pois a paisagem, do ponto de vista vulgar de sua definição, nada mais é do que a ponta do iceberg. Então, cabe ao pesquisador estudar toda parte escondida, para poder compreender a parte revelada (TRICART, 1982).

Devido às raízes naturalistas, torna-se compreensível a valorização maior para focalizar as paisagens morfológicas e da cobertura vegetal, surgindo a classificação paraestabelecer distinções entre as paisagens naturais e paisagens culturais (CHRISTOFOLETTI, 1999).

A paisagem cultural demonstra as atividades humanas que se expressam a partir da transformação dos recursos da natureza. Na paisagem natural, predomina um ambientesem qualquer interferência humana, mantendo suas características preservadas sem qualquer tipo de modificação que seja não provocado pela própria natureza.

Ross (2006, p. 47), afirma que as “relações sociedade-natureza são objeto da geografia, que deve desempenhar um importante papel, não só para a produção do conhecimento humano, mas também para transformar esse conhecimento em um bem voltado para a humanidade”.

A relação da sociedade com a natureza, na análise da paisagem, nos permite a compreensão deste conceito introduzido e estudado também pela ciência geográfica, levando as discussões sobre gestão e planejamento territorial e estudos ambientais.

Mendonça (2014), destaca a ação antrópica como uma nova variável nos estudos e análises da geografia física, do ponto vista da dinâmica natural em interação com as relações sociais de produção.

A análise da paisagem é importante pôr caracterizar as variadas funções do meio ambiente, a distribuição das atividades econômicas e as diversas atividades da população (CAVALCANTE e VIADANA, 2007).

O estudo e a descrição da paisagem esclarecem as relações da sociedade com a natureza,

na projeção do espaço e interpretando as razões da organização humana no meio ambiente.

1.3. Bacias Hidrográficas como Unidade de Estudo

A Agência Nacional de Águas (ANA) estima que 97,5% da água existente, no mundo, é salgada, sendo inadequada para o consumo humano, e para algumas de suas atividades econômicas como a irrigação da plantação por exemplo. Afirma ainda que, dos 2,5% de água doce, a maior parte (69%) é de difícil acesso, pois está concentrada em geleiras, 30% são águas subterrâneas e 1% encontra-se nos rios.

A Organização das Nações Unidas para Alimentação e agricultura estima que o mundo contenha cerca de 1,4 bilhão de km³ de água, e apenas 0,003% deste enorme montante, cerca de 45.000 km³, são chamados "recursos de água doce", e que somente cerca de 9.000 a 14.000 km³ estejam economicamente acessíveis para o uso humano (FAO, 2014).

Segundo Esteves (2011), o uso que demanda maior quantidade de água é a irrigação para produção de alimentos (70%), seguido pelo uso industrial (23%) e doméstico (7%). Conforme estimativa do Ministério do Meio Ambiente, no Brasil a área irrigável em 2006 era de 29,6 milhões de hectares (MMA, 2006).

Apesar disso, o elevado consumo de água nesse tipo de atividade deve ser também associado ao desperdício e à contaminação de águas superficiais e subterrâneas por agrotóxicos (MORAES, 2016).

Diante destes dados, observa-se que há uma ampliação na demanda pelos recursos hídricos no que é relativo às mais diversas atividades humanas, evidentemente o elevado consumo não é o único problema, pois a qualidade do abastecimento da água para o consumo é também de suma importância para um desenvolvimento sustentável.

Para o gerenciamento destes recursos hídricos torna-se necessário, de acordo com Schiavetti e Camargo (2002), a construção de estratégias de convivência harmoniosa do homem com a natureza, que permitam atender os anseios de crescimento econômico comjustiça social, pois o atual modelo de desenvolvimento mostra-se inadequado para satisfazer às exigências de uma população que cresce exponencialmente.

Os recursos hídricos possuem diversas finalidades, sejam eles domésticos ou em atividades econômicas sejam ela primária, secundária ou terciária, ou como um indicadorda relação do o homem com o ambiente.

Na atualidade, a gestão das águas é realizada pela divisão do espaço físico conforme as drenagens que neles estão contidas, este ambiente é denominado bacia hidrográfica ou bacia de drenagem, que pode ser definida como uma área da superfície terrestre drenada por um rio

principal e seus tributários tendo como limite seus divisores de água (LIMA *et al.*, 2016; BOTELHO, 1999).

Guerra (1980), complementa que a bacia hidrográfica obriga naturalmente a existência de cabeceiras ou nascentes, divisores de água, cursos d'água principais, afluentes, subafluentes etc. Christofoletti (1980), define bacia hidrográfica como uma grande área drenada por um determinado rio ou por um sistema fluvial.

A bacia hidrográfica pode ser considerada um sistema físico onde a entrada é o volume de água precipitado e a saída é o volume de água escoado pelo exutório, considerando-se perdas de toda água que sai do sistema por evaporação, transpiração e infiltração para o subterrâneo (SILVEIRA, 1993).

O sistema de drenagem é considerado um sistema aberto onde ocorrem entrada e saída de energia, recebendo energia fornecida pela atuação do clima e da tectônica locais,eliminando fluxo de energias pela saída da água, sedimentos e solúveis (CHORLEY, 1962; COELHO NETTO, 1995; GUERRA e CUNHA, 2009).

Segundo Campos (2006), uma bacia hidrográfica classificada a um sistema físico e dinâmico, configura-se como uma unidade funcional básica de planejamento e gerenciamento ambiental, pois nela ocorre a integração das águas com o meio físico, o meio biótico e o meio social.

De acordo Rodriguez, Silva e Leal (2011), a bacia hidrográfica como um sistema ambiental e do ponto de vista do planejamento e da gestão, se caracteriza dos seguintes traços ou formas:

- É a superfície terrestre drenada por sistema fluvial contínuo e bem definido; as águas escolhem outro sistema fluvial ou outros objetos hídricos.
- Seus limites estão geralmente determinados pela divisão principal, segundo o relevo; é o conjunto de terras drenadas por um corpo principal de águas; é um espaço físico-funcional.
- Abrange parte de um conjunto de feições ambientais homogêneas (paisagens, ecossistemas) ou diversas unidades territoriais.
- Considera-se como a unidade mais apropriada para o estudo quantitativo e qualitativo do recurso água, e dos fluxos de sedimentos e nutrientes.
- Assume-se como a unidade preferencial para o planejamento e a gestão ambiental.

Machado e Torres (2010) afirmam que sua conceituação varia desde a simplista definição de uma área drenada por um rio principal e seus afluentes até as conceituações mais detalhadas no que diz respeito a uma abordagem sistêmica.

A análise das bacias hidrográficas, a partir de uma perspectiva sistêmica, torna-se importante, no que diz respeito aos recursos hídricos, que consiste em compreender e considerar

a combinação do espaço–temporal do papel da água como um recurso indispensável, no funcionamento da biosfera, relacionado ao fato desses nexos e relações serem dependentes das interações espaciais entre a distribuição da água, o clima, a geologia e o relevo, formando todos, de maneira articulada, uma totalidade ambiental, que constitui o espaço e a paisagem natural (RODRIGUEZ; SILVA; LEAL, 2011).

Souza et al. (2012), afirma que é importante admitir que os recursos naturais estão interligados e possuem a dependência um do outro. Para que seja possível compreender os problemas como por exemplo poluição, bem como as bacias como um sistema ecológico.

A utilização do conceito de bacias hidrográficas como unidade de estudo e gestão tem origem na apuração dos pesquisadores de que os ecossistemas aquáticos basicamente abertos, que trocam matéria e energia entre si e com os ecossistemas terrestres adjacentes (MORAES,2016).

O conceito de bacias hidrográficas tem sido cada vez mais expandido e utilizado como unidade de gestão da paisagem na área de planejamento ambiental (PIRES *et al.*, 2002).

Em busca de um desenvolvimento sustentável as bacias hidrográficas tornaram-se uma importante unidade de estudo do uso, ocupação e conservação de seus recursos naturais, por haver relações sociais e ecológicas com este ambiente.

A água é um recurso natural essencial para o funcionamento dos ecossistemas, ao bem-estar humano e ao mesmo tempo um recurso que está sob forte pressão, pois o aumento da demanda dos recursos hídricos associada à diminuição da qualidade da água conduz a um cenário de conflito pelo uso da água, consequentemente, o conflito torna imediato o gerenciamento do recurso hídrico, não havendo conflito o gerenciamento converte-se em prevenção para a conservação deste recurso natural (OKAWA e POLETO, 2014).

Os recursos hídricos são submetidos as mais diversas pressões ocasionadas por uma alta demanda associado ao crescimento da população, da industrialização e produção de alimentos.

No Brasil a Lei Federal número 9.433, de 08 de janeiro de 1997, estabelece a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNHR), com fundamentos, objetivos e diretrizes que conduzem o modo de gerenciar os recursos hídricos. Um dos fundamentos estabelecebacia hidrográfica como unidade territorial para a implementação da política nacional de recursos hídricos a atuação do sistema nacional de gerenciamento de recursos hídricos.

De acordo com Rebello (2010), pode-se afirmar que:

> O conteúdo enunciado na referida lei se estabelece na constatação de que muitos problemas ambientais de qualidade e quantidade de água serão evitados ou resolvidos de forma eficaz, por meio de ações que visualizem a bacia hidrográfica como um todo, incluindo as atividades desenvolvidas em sua área de abrangência e os atores sociais que direta ou indiretamente utilizem os recursos hídricos no âmbito desta unidade espacial (p. 09).

O Brasil em relação ao mundo possui uma grande disponibilidade de recursos hídricos, e para que a água não seja mal utilizada e se torne escassa, torna-se necessário planejar e gerenciar seu uso.

Além disso, nosso País possui grandes reservas subterrâneas, o que torna importante o planejamento e o gerenciamento de maneira responsável.

Após a lei número 9.433/97, medidas e projetos foram adotados em esfera nacional, através do ministério do meio ambiente, criou-se as regiões hidrográficasnacionais através da resolução nº 32 de 15 de outubro de 2003.

Esta resolução institui a divisão hidrográfica nacional em regiões hidrográficas com a finalidade de orientar, fundamentar e implementar o plano nacional dos recursos hídricos. Esta resolução divide o território brasileiro em 12 regiões hidrográficas, por compreender cada região por uma bacia, grupo de bacias ou sub-bacias hidrográficas contíguas com características naturais, sociais e econômicas homogêneas ou similares, com vistas a orientar o planejamento e gerenciamento de toda rede hídrica do território nacional (Figura 01).

Figura 1: Regiões Hidrográficas Brasileiras

Fonte: Conselho Nacional de Recursos Hídricos, Anexo I da Resolução nº 32, de 15 de outubro de 2003.

A identificação e a divisão para os estudos e análise das Regiões Hidrográficas do Brasil são importantes por orientar o planejamento e a gestão dos recursos hídricos do país, no intuito de garantir a preservação e a qualidade da água.

A Amazônia abriga a maior bacia hidrográfica do mundo, comportando o maior volume

de água e extensão, se estende por sete países da América do Sul e sua maior parte encontra-se em território brasileiro, formando um grande ecossistema, proporcionando grandes possibilidades de aproveitamento nas atividades humanas. Santos *et. al.* (2012), confirma:

> A bacia hidrográfica do rio Amazonas é constituída pela mais extensa rede hidrográfica do globo terrestre, ocupando uma área total da ordem de 6.110.000 km², desde os Andes peruano até suafoz no oceano Atlântico (na região norte do Brasil). Esta bacia continental se estende sobre vários países da América do Sul: Brasil (63%), Peru (17%), Bolívia (11%), Colômbia (5,8%), Equador (2,2%), Venezuela (0,7%) e Guiana (0,2%) (p. 23).

Em território nacional, a superfície da Região Hidrográfica Amazônica, conforme definição da resolução nº 32 do Conselho Nacional de Recursos Hídricos, de 15 de outubro de 2003, compreende as áreas pertencentes a sete Estados da Federação e ocupa, aproximadamente, 3,8 milhões de km² do território nacional (MMA, 2006).

A água na Amazônia desempenha um papel de grande importância, pois é uma região com expressiva quantidade de chuva e, devido as suas características geográficas, colaboram na formação de inúmeros igarapés que, por sua vez, formam os grandes rios como o Negro, Madeira, Tapajós, Xingu, Juruá e Purus, fazendo do Brasil um dos países com maior disponibilidade de água doce no mundo (FERREIRA, 2012).

De acordo com o Ministério do Meio Ambiente (2006), a região hidrográfica amazônica possui grandes contrastes naturais e humanos e tem na gestão de recursos naturais, na qual se inclui a água e o processo de implementação de sua gestão, um grande desafio, com questões vinculadas água em seu espaço geográfico em várias escalas como:

Escala local - os problemas principais residem no saneamento, em especial nas áreas urbanas, a questão fundiária, os conflitos em relação aos usos preponderantes da água (irrigação, consumo humano etc.) e o uso indiscriminado da água subterrânea.

Escala regional - observam-se problemas vinculados aos regimes dos grandes rios, sua tipologia e disponibilidade hídrica, afetadas por questões relacionadas com a expansão das ações antrópicas como: o desmatamento, a mineração, e a monocultura de grãos, dentre outras.

A grande dimensão da bacia Amazônica é grande desafio para a gestão e manutenção de políticas relacionadas a um desenvolvimento sustentável, indispensável para este recurso hídrico por sofrer com a degradação ambiental devido ao precário saneamento básico, poluição dos rios por atividades mineradoras, garimpos legais ou clandestinos, desmatamento, avanços da fronteira agropecuária etc.

Em relação à floresta as questões relacionadas às atividades antrópicas, imagens de satélite tratadas pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais têm mostrado feições que vem

modificando a paisagem da floresta amazônica, principalmente em função do desmatamento, essas ações humanas tidas como nocivas são consequência do modo de uso e ocupação da região hidrográfica amazônica (MMA, 2006).

A floresta obtém uma influência significativa no ciclo hidrológico da bacia Amazônica. Leopoldo *et. al.* (1993), estimaram a evapotranspiração da cobertura vegetal em 67,9% e concluíram que o desmatamento poderá diminuir a evapotranspiração, com consequências diretas no balanço de água e de radiação solar.

Para a manutenção do ciclo hidrológico na bacia amazônica, Ferreira (2012), destaca a importância da cobertura vegetal na hidrologia do solo amazônico da seguinte forma:

> A cobertura florestal influi positivamente sobre a hidrologia no solo (infiltração, percolação e armazenamento de água), além de diminuir o escoamento superficial (que pode ocasionar processos erosivos). Outro fator importante da cobertura protetora da floresta é o conhecimento da velocidade de queda das gotas da chuva que, aliada a vegetação herbácea e de manta orgânica, que normalmente recobrem o solo florestal, desempenham papel decisivo na dissipação da energia das gotas da chuva; cujo impacto com a superfície do solo dá início ao processo de erosão (p. 140).

O desmatamento na Amazônia afeta diretamente a bacia, segundo Ferreira (2012), influenciando os seguintes processos:

- Aumento do escoamento superficial;
- Redução da infiltração da água no solo pelo aumento da compactação, redução da evapotranspiração;
- Aumento da incidência do vento sobre o solo;
- Redução da fotossíntese e lixiviação dos nutrientes do solo.
- Ainda segundo o autor tudo isto leva a degradação dos solos, destacando-se os efeitos principais neste cenário de degradação ambiental:
- Alteração na qualidade da água, através do aumento da turbidez pelo aumento de partículas em suspensão;
- Eutrofização, a partir da grande quantidade de nutrientes levada para oscorpos d'água através do escoamento superficial;
- Assoreamento dos corpos d'água;
- Alteração do deflúvio, com enchentes nos períodos de chuva e redução na vazão de base quando das estiagens;
- Mudanças micro e mesoclimáticas, esta última quando em grandes extensões de florestas;
- Mudança na qualidade do ar (umidade), em função da redução da fotossíntese e do

aumento da erosão eólica;

- Redução da biodiversidade, em decorrência da supressão floresta que reduz os corpos d´água que mantem a flora e fauna local;
- Poluição hídrica, em função da substituição da floresta por ocupação, em geral inadequada pelo avanço dos limites da área urbana.

Neste sentido, a importância do estudo de bacias hidrográficas como unidade de planejamento ambiental tem o intuito de levar a sociedade a uma reflexão direcionada à conservação deste importante recurso hídrico.

Os estudos dos sistemas hidrográficos contribuem para a sua conservação e manutenção criando um banco de informações que possibilitam decisões mais efetivas nas futuras gestões.

Como uma alternativa para esta problemática, o manejo das bacias tem-se mostrado como um instrumento de controle e monitoramento. Além disso, visa promover aproteção da água, do solo e de outros recursos ambientais muito importantes a sustentabilidade da atividade econômica, ao controle da degradação ambiental local e a jusante da bacia (REBELLO, 2010).

Segundo Miguel et al. (2012), a bacia hidrográfica é uma unidade importante para a compreensão das mudanças no uso e ocupação do solo, possibilitando traçar estratégias de conservação e planejamento ambiental.

1.4. Geotecnologias Aplicada aos Estudos Ambientais.

As imagens de satélites nos permitem observar e descobrir o planeta terra de uma posição privilegiada, proporcionando uma visão sinóptica (de conjunto) e multitemporal de extensas áreas da superfície terrestre, por meio delas os ambientes distantes ou de difícil acesso, tornando-se mais acessíveis (FLORENZANO, 2011).

As geotecnologias fazem parte do nosso cotidiano e podemos defini-las segundo Guerra (2006), como sendo um conjunto de tecnologias (Sistema de Informação Geográfica, Geoprocessamento, Cartografia Digital, Sensoriamento Remoto, Sistema de Posicionamento Global), cujo fundamento principal é a coleta, processamento, análise e visualização de informações com referência geográfica, dispondo de uma estrutura técnico-metodológicas premissas de processamento digital de imagens via satélite, elaboração de bancos de dados georreferenciados, quantificação de fenômenos da natureza, proporcionando uma visão mais abrangente do ambiente.

Para Mendonça *et. al.* (2011), as geotecnologias constituem-se como um conjunto de tecnologias que manipulam dados e informações sobre feições e/ou fenômenos, elas auxiliam no planejamento de atividades de campo, no desenvolvimento de sistemas de monitoramento

da paisagem, e no planejamento de estratégias de preservação e conservação dos recursos naturais.

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

O avanço geotecnológico nos proporciona a otimização para a realização de diversos trabalhos, por constituírem uma poderosa ferramenta para tomada de decisão, podendo ser utilizadas nas mais diversas áreas como: gestão municipal e estadual, agronegócios, meio ambiente, educação etc.

Dentre as geotecnologias o Sensoriamento remoto, segundo Florenzano (2011), é a tecnologia que nos permite obter imagens e outros tipos de dados da superfície terrestre por meio da captação do registro da energia refletida ou emitida pela superfície.

Câmara (2007), define o termo geoprocessamento como a disciplina do conhecimento que utiliza técnicas matemáticas e computacionais para o tratamento da informação geográfica e que vem influenciando de maneira crescente as áreas de Cartografia, Análise de Recursos Naturais, Transportes, Comunicações, Energia e Planejamento Urbano e Regional.

Os sistemas de informação geográfica integram em uma única base de dados, informações espaciais provenientes de dados cartográficos, dados de censo e cadastro urbano/rural, imagens de satélites e modelos numéricos de terreno: combinar as várias informações, através de algoritmos de manipulação, para gerar mapeamentos derivados; consultar, recuperar, visualizar e imprimir o conteúdo da base de dados geocodificados (CÂMARA, 1993).

A aplicação das geotecnologias, nos estudos ambientais, conduz ao entendimento sobre os problemas resultantes de fenômenos naturais, juntamente com o processo de uso e ocupação da terra.

De acordo com Guerra (2010), a erosão dos solos é considerada um dos maiores riscos naturais, causada por danos econômicos, ambientais e sociais que provoca, e, quando ocorre sob a forma de erosão em canais, leva à destruição ou à inoperância de diversas atividades antrópicas, como estradas, dutos, edificações, barragens etc.

Na busca por alternativas a fim de minimizar impactos decorrentes destes fenômenos, são cada vez mais comuns estudos que lançam mão de geotecnologias, para predizer áreas vulneráveis ao desencadeamento de processos erosivos e para mapear temporalmente as áreas atingidas por ele (LOUREIRO e FERREIRA, 2013).

O acompanhamento e a avaliação dos impactos do uso e ocupação da terra são importantes, considerando que a expansão urbana e o aumento demográfico associado ao crescimento das técnicas de exploração agrícola, contribuem para o uso intensivo do solo, seja na agricultura ou no meio urbano (ALVES, 2007).

Com base nos estudos ambientais e as técnicas ligadas ao sensoriamento remoto e de geoprocessamento, podem ser aplicadas para o mapeamento e a análise e diagnóstico de apropriação do meio ambiente.

Nesse sentido, Ross (1994), acrescenta que as avaliações ambientais de usos, apoiadas em técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto, são excelentes suportes técnico-científicos para a elaboração de zoneamentos ambientais que vão dar suporte as políticas de planejamento estratégico em qualquer nível de gerenciamento ou governo e em qualquer território político-administrativo.

Segundo Medeiros (1999), a metodologia utilizada nos diagnósticos ambientais, regularmente, se fornece a idéia de um processo classificatório ou organizacional, segundo critérios "ecológicos e econômicos" de uma porção da superfície terrestre, considerando-se também, os efeitos do desenvolvimento social e econômico.

As imagens de satélites através das técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento auxiliam no diagnóstico e monitoramento de queimadas, erosão, escorregamento de encostas, previsão do tempo, inundação.

Na concepção atual de gestão de território, toda ação de planejamento, ordenação ou monitoramento do espaço deve incluir a análise dos diferentes componentes do ambiente, incluindo o meio físico-biótico, a ocupação humana, e seu inter-relacionamento (MEDEIROS e CÂMARA, 2001).

Medeiros e Câmara (2001), apontam o Mapeamento Temático, o Diagnóstico Ambiental, a Avaliação de Impacto Ambiental, Ordenamento Territorial e os prognósticos ambientais, como sendo, pelo menos, as quatro grandes dimensões ligadas aos Estudos Ambientais, onde é grande o impacto do uso da tecnologia de Sistemas de Informação Geográfica através das técnicas de geoprocessamento para os projetos ambientais, destacando-os no quadro 01 abaixo cada um da seguinte forma:

Quadro 1: Estudos Ambientais

Mapa Temático	Visam caracterizar e entender a organização do espaço, como base para o estabelecimento das bases para ações e estudos futuros. Exemplos seriam levantamentos Temáticos como Geologia, Geomorfologia, Solos e cobertura vegetal.
Diagnóstico Ambiental	Objetiva estabelecer estudos específicos sobre regiões de interesse, com vistas a projetos de ocupação ou preservação. Exemplos são os relatórios de impacto ambiental (RIMAs) e os estudos visando o estabelecimento de áreas de proteção ambiental (APAs), e APPs.
Avaliação de Impacto Ambiental	Envolvem o monitoramento dos resultados da intervenção humana sobre o ambiente, incluindo levantamentos como o feito pela organização SOS Mata Atlântica que vem realizando estudos sobre os remanescentes da Mata Atlântica, em toda a costa leste brasileira.
Ordenamento Territorial	Objetivam normatizar a ocupação do espaço, buscando racionalizar a gestão do território, com vistas a um processo de desenvolvimento sustentado.

Fonte: Medeiros e Câmara (2001). Elaboração: Leandro Felix, (2020).

Rosa (2009), afirma que o Sensoriamento Remoto através da metodologia de interpretação visual de dados, nos leva a compreensão nos diferentes tipos de aplicação como:

Aplicação no uso da terra - o estudo do uso da terra consiste em buscar conhecimento de toda a sua utilização por parte do homem ou, quando não utilizado pelo homem, a caracterização dos tipos de categorias de vegetação natural que reveste o solo, como também suas respectivas localizações.

A utilização de dados atualizados de uso e revestimento da terra é muito ampla, podendo-se citar como exemplo: inventário de recursos hídricos, controle de inundações, identificação de áreas com processos erosivos avançados, avaliação de impactos ambientais, formulação de políticas econômicas etc. Rosa (2009), destaca ainda que a metodologia para levantamento e mapeamento de categorias de uso e ocupação da terra segue as seguintes etapas:

- Elaboração de um mapa base: limite da área de interesse, drenagem, coordenadas, rodovias etc.;
- Elaboração de uma chave de fotointerpretação;
- Interpretação visual preliminar das imagens em papel;
- Trabalho de campo: com objetivo de estabelecer uma associação entre o que foi identificado na imagem, com as correspondentes unidades existentes no terreno;
- Interpretação visual final: tem por objetivo ajustar a interpretação visual preliminar após

a coleta dos dados em campo;

- Montagem do mapa temático final: uso e ocupação da terra.

Aplicação em Geologia – as informações geológicas extraídas das imagens são deduzidas, na maioria das vezes, por meio da análise das formas. As imagens de satélites podem ser utilizadas em levantamentos e mapeamentos geológicos de diferentes escalas com um tempo relativamente curto quando comparado aos métodos e técnicas convencionais.

As imagens orbitais se prestam à localização de estruturas, identificação de diferentes tipos de rocha, áreas de sedimentação, depósito de minerais etc. Podem ser utilizadas na localização de fraturas e juntas, nas quais pode ocorrer água subterrânea; monitoramento de água superficial; localização de depósitos de areia, cascalhos, argilas e outros minerais destinados à construção civil, além do monitoramento de depósitos de rejeitos (ROSA, 2009).

Aplicação em Pedologia – Os levantamentos dos solos podem ser feitos em vários níveis, desde generalizado até o mais detalhado. Os principais tipos de levantamentos são o esquemático (escala menor do que 1:1.000.000), exploratório (a escala oscila em torno de 1:1.000.000), reconhecimento (escala entre 1:300.000 e 1:600.00), reconhecimento/detalhado (escala 1:100.000), semidetalhado (escala 1:50.000) edetalhado (são apresentados em escalas maiores do que 1:25.000).

No levantamento e mapeamento de solos, o relevo desempenha um importante papel na determinação da natureza e magnitude dos diferentes processos que formam o solo, tais como a erosão e a drenagem (ROSA, 2009).

Aplicação na Vegetação – De acordo com Rosa (2009), no estudo da vegetação, a escolha da imagem que contém a área de interesse deve basear-se em três pontos fundamentais: época tomada, bandas espectrais e escala de trabalho. A época de tomadas das imagens é importante por estar diretamente relacionada à variação sazonal que ocorrecom as diferentes espécies de vegetais, refletindo diretamente no comportamento espectral da vegetação.

Aplicação em Geomorfologia – no estudo da geomorfologia, assim como nas demais aplicações anteriores, a escala é feita em função dos objetivos da pesquisa. Em geral, os mapeamentos geomorfológicos utilizam-se imagens, na escala 1:500.000 a 1:250.000. A escala 1:500.000 possui a vantagem de apresentar melhor definição dos elementos texturais, quando comparado a escala menores (ROSA, 2009).

Com bases nestas aplicações, o sensoriamento remoto e o geoprocessamento mostram-se de fundamental importância nos estudos ambientais, pois nos mostram atravésdo tratamento e interpretação de imagens, produtos como mapas temáticos que nos permitem estudos e análises das mudanças provocadas pelas transformações naturais e as atividades antrópicas,

possibilitando uma análise mais detalhada de uma determinada áreade estudo.

Os Sistemas de Informações Geográficas permitem, também, aplicações nos estudos, gestão e manejo de bacias hidrográficas, contribuindo em variadas questões aplicadas a determinadas temáticas. O que de acordo com Becker (2002) das quais surgem inúmeras perspectivas de inovação, tanto na busca de conhecimento sobre padrões e processo ecológicos, quanto no apoio a ações de manejo e gestão.

Ainda segundo Becker (2002), a quadro 02 abaixo sintetiza algumas das aplicações possíveis dos Sistemas de Informação Geográfica ao manejo de bacias hidrográficas, incluindo referências correspondentes na literatura.

Quadro 2: Aplicações potenciais de Sistemas de Informação Geográfica ao manejo de bacias hidrográficas.

APLICAÇÃO	EXEMPLO	REFERÊNCIAS
Produção de mapas; dados secundários a partir de dados originais	Declividade ou temperatura: aspecto a partir de elevação; mensuração de áreas; extensão de rios	Rahel &Nibbelink, 1999; Richards et al, 1996.
Quantificação de associação entre características espaciais	Uso do solo; geologia; tipo de solo; topografia; hidrografia; densidade populacional; distribuição de espécies	Toepfer et al, 2000; Meixler et al., 1996; Rahel & Nibbelink,1999;
Quantificação de padrões da paisagem e relações espaciais	Forma, conectividade, justaposição e fragmentação de unidades da paisagem	Hunsacker & Levine, 1995; Aspinall & Pearson, 2000
Quantificação de padrões temporais	Crescimento da vegetação; expansão ou redução de área úmidas	
Quantificação de mudanças temporais	Transformações do uso do solo	Novo et al., 1995
Ligação entre dados espaciais e modelos	Simulação e previsão a partir de modelos hidrológicos, ecossistêmicos, distribuição de organismos	Cochrane & Flanagan, 1999; Schumann & Geyer,2000; Aspinall & Pearson, 2000; Mendes et al, 1999.
Zoneamento, classificação e priorização de bacias conservação, manejo e planejamento	Conservação de biodiversidade; prioridade para medidas de recuperação da qualidade da água; análise de risco.	Meixler et al., 1996; FAO, 1996; Sheng et al, 1996; Fitzgerald et al, 1999; Wilson et al, 2000; Weber at al., 1998

Fonte: Becker (2002).

As inúmeras aplicações destas ferramentas e as ações vinculadas ao monitoramento, planejamento, manejo e gestão na caracterização de espaços geográficos urbanos e rurais obterão melhores resultados se trabalhadas com auxílio de um SIG (LOLLO, *et. al.* 2018).

Portanto, as aplicações de um SIG não só permitem como facilitam as análises necessárias às atividades de gerenciamento de recursos hídricos dentro de sua célula básica que é a bacia hidrográfica (BRAZ, 2017).

1.5. Vulnerabilidade ambiental

O processo de uso e apropriação da natureza pela sociedade, atualmente, tem levado a estudos relacionados aos impactos ambientais e a vulnerabilidade do ambiente em exploração.

No meio ambiente, verificam-se inúmeros cenários de degradação das paisagens, decorrentes de fenômenos naturais e, também, decorrentes de usos e ocupações desordenadas, trazendo prejuízos não só ao meio físico natural, como ao próprio homem (THOMPSON e FIDALGO, 2013).

De acordo com Costa (2018), o tema vulnerabilidade ambiental tem sido muito discutido nos últimos anos, utilizando-se de diferentes tipos de indicadores na caracterização da vulnerabilidade, em diferentes tipos de recortes espaciais.

Segundo Aquino *et. al.* (2017), o conceito de vulnerabilidade, vem sendo abordado sob uma ótica social, ambiental, ou ainda, socioambiental.

Para Figueiredo *et. al.* (2010), o conceito de vulnerabilidade se refere a determinadas questões, problemas ou impactos ambientais (mudança climática, erosão etc.).

Ainda segundo o autor, diante destas questões, observa-se que este conceito estando atrelado a outros, como exposição a pressões, impacto ambiental (real ou potencial), sensibilidade do sistema ecológico, capacidade adaptativa da sociedade, resiliência e susceptibilidade à ocorrência de efeitos negativos (FIGUEIREDO, *et. al*., 2010).

Segundo Silva Neto (2013), vulnerabilidade pode significar estar suscetível à transformação de um estado inicial a um estado atual transfigurado pela ação antrópica.

De acordo com o IBGE (2006), a vulnerabilidade ambiental é um conjunto de fatores ambientais da mesma natureza que, diante de atividades ocorrentes ou que venham a se manifestar, poderá sofrer adversidades e afetar, de forma vital ou total ou parcial, a estabilidade ecológica da região em que ocorre.

Para Aquino *et. al.* (2017), a vulnerabilidade ambiental pode ser definida então como o grau em que um sistema natural e suscetível ou incapaz de lidar com os efeitos das interações externas, decorrente de características ambientais naturais ou por atividade antrópica e sistemas frágeis de baixa resiliência.

Diante disto, Aquino *et. al*. (2017), afirma que para avaliação da vulnerabilidade ambiental, deve-se elaborar um plano que pode de certa forma envolver outros aspectos como

o social e o econômico de uma região, escolhendo-se adequadamente indicadores que possam mostrar ao pesquisador a real fragilidade ou resistência de um sistema aos riscos que este pode estar exposto.

Em razão disto pode-se afirmar que os estudos voltados à vulnerabilidade ambiental tem sido um termo recorrente na definição e compreensão dos impactos ambientais causados por fenômenos naturais ou por ações antrópicas. Por esta razão, torna-se necessário a avaliação de aspectos sociais, ambientais e econômicos da região a ser estudada.

Para a avaliação de uma determinada área de estudo quanto a sua vulnerabilidade ambiental torna-se necessário a adoção de metodologias que visem por exemplo o mapeamento, que simplifiquem melhor na compreensão do ambiente.

Nesse sentido, Villa e McLeod (2002) *apud* Costa (2018), afirmam que, para a construção de um método de avaliação da vulnerabilidade ambiental, é necessário o cumprimento de 03 (três) passos: a definição do conceito mais adequado referente a vulnerabilidade; a escolha do sistema a ser avaliado e a organização dos indicadores ambientais.

Em relação ao estudo da vulnerabilidade ambiental de bacias hidrográficas, que é um dos objetivos desta pesquisa, Costa (2018), destaca-se que, a partir da identificação das variáveis do meio físico e antrópico, é possível a organização dos indicadores ambientais responsáveis pelo planejamento e ordenamento territorial em bacias hidrográficas.

Os indicadores dos meios físicos e antrópicos são destacados por Ross (1994), ao afirmar que a análise empírica da fragilidade exige estudos básicos do relevo, do subsolo, do solo, do uso da terra, e do clima, e que os estudos passam obrigatoriamente pelo levantamento de campo, serviços de gabinete, a partir dos quais gera-se produtos cartográficos temáticos de geomorfologia, geologia, pedologia, climatologia, e uso da terra/vegetação.

Logo, Lopes e Saldanha (2016), confirma que, para analisar uma unidade de paisagem natural, é necessário conhecer sua gênese, sua constituição no meio físico, sua forma e tipo de uso e cobertura da terra.

Nesta pesquisa os indicadores ambientais estão de acordo com a proposta de Crepani *et al.* (2001), que foi desenvolvida a partir do conceito de Ecodinâmica (Tricart,1977), com a finalidade de apresentar uma metodologia para elaboração de mapas de vulnerabilidade.

Além disso, segundo Aquino *et. al.* (2017), instrumentos como Sistema de Informação Geográfica (SIG) podem ser adicionados à avaliação, de modo a facilitar a localização de áreas mais vulneráveis.

Portanto os estudos de vulnerabilidade ambiental com uso de suportes como os SIGs, tornam-se de grande importância em relação a tomadas de decisão, relacionadas ao uso e

cobertura da terra, sendo uma importante contribuição no planejamento e gerenciamento de áreas com riscos ou suscetíveis a degradação ambiental.

Em resumo, a inserção de dados obtidos dos sistemas e a aplicação de ferramentasque agilizem essa inclusão compõem a avaliação de vulnerabilidade ambiental, permitindo ao pesquisador a observação do dinamismo destes sistemas e os reais riscos aque estes estão susceptíveis (AQUINO, *et. al*., 2017).

2. LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SANABANI

2.1. Localizações da área de estudo

A bacia hidrográfica do rio Sanabani está localizada integralmente no município de Silves no Estado do Amazonas, possuindo uma área aproximada de 670 km² de extensão (Figura 2). Segundo Albuquerque (1999), Silves é um dos municípios amazonenses iniciados por missionários que se instalaram na Amazônia, com sua fundação em 1660 com o nome de Saracá, no rio Urubu, por Frei Raimundo da Ordem das Mercês.

O município localiza-se na região do médio Amazonas, distante da capital amazonense cerca de 250 km por via fluvial, e terrestre percorre-se 226 km da estrada AM-010 (Manaus-Itacoatiara) e mais 127 km da BR-363. Tem seus limites com os municípios de Itapiranga, Urucurituba e Itacoatiara (FARIA, 2010). Possui uma população estimada de 9.171 habitantes distribuído em um território 3.723,382 km² (IBGE, 2019).

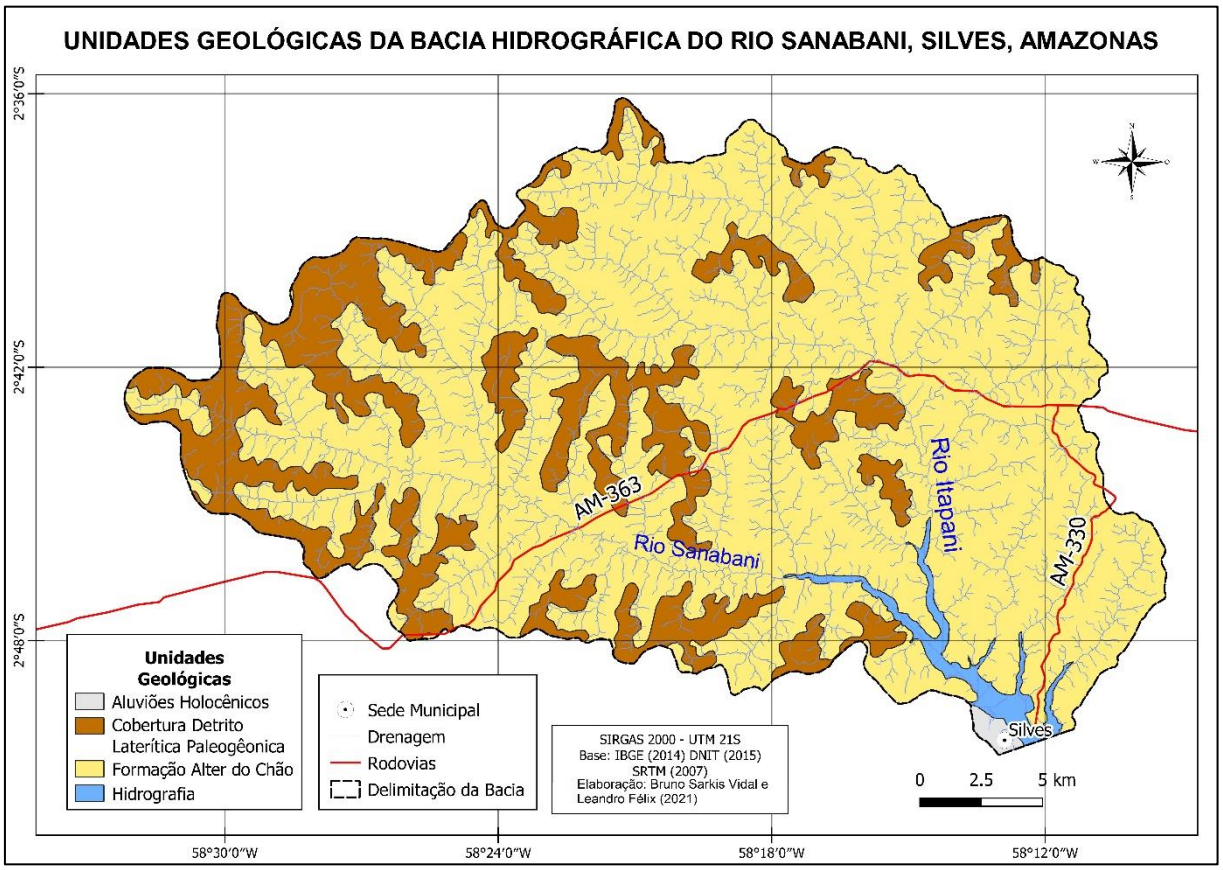
Figura 2: Localização da área de estudo

Elaboração: Leandro Felix, (2020).

2.2. Geologia

As unidades geológicas na região do médio Amazonas, onde se encontra a bacia hidrográfica do rio Sanabani (Figura 03), são representadas da base para o topo pela Formação Alter do Chão de idade Cretáceo Superior, depósitos de terraços aluvionares Pleistocênicos e Aluviões de idade Holocênica (SANTANA, 2018).

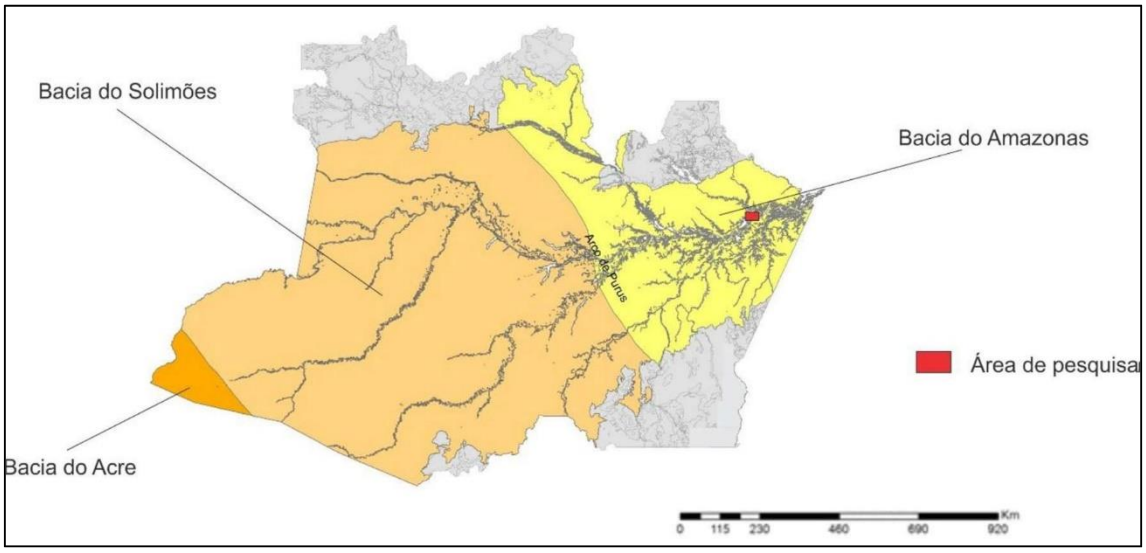
Figura 3: Geologia da bacia do rio Sanabani.



Elaboração: Leandro Felix, (2020).

A bacia hidrográfica do rio Sanabani está inserida na bacia sedimentar fanerozóica do Amazonas (Figura 4), constituindo uma unidade sedimentar intracratônica que limita duas principais áreas de embasamento arqueano-proterozóico: ao norte, o Escudo das Guianas; a sul, o Escudo Brasil Central (REIS e ALMEIDA, 2010).

Figura 4: Localização da bacia do Amazonas no do estado do Amazonas.



Fonte: CPRM apud Santana, 2018 p. 22.

Segundo o RADAM BRASIL, a Formação Alter do Chão é descrita por Kistler (1954), como sendo uma grande variedade de arenitos e argilitos (incluindo caulins), com subordinada fração conglomerática. Esta unidade possui uma morfologia de superfícies tabulares e colinosas, em subsuperfície, a sucessão inferior é principalmente arenosa e apresenta ciclos de ambientes fluviais anastomosados com retrabalhamento eólico (REIS, *et. al.* 2006)

De acordo com Santana (2018), a Formação Alter do Chão possui uma ampla distribuição ao norte da calha do rio Amazonas, no qual apontam os baixos cursos dos rios Preto da Eva, Urubu e Uatumã, assim também como no sul da calha.

A presença de uma pequena porção de aluviões holocênicos possui destaque na foz da bacia. Os Aluviões Holocênicos são depósitos que acompanham os cursos d'água que fazem parte da Planície Amazônica. Os mesmos constituem conglomerados, arenitos e argilitos (PY-DANIEL, 2007; IBGE, 2010).

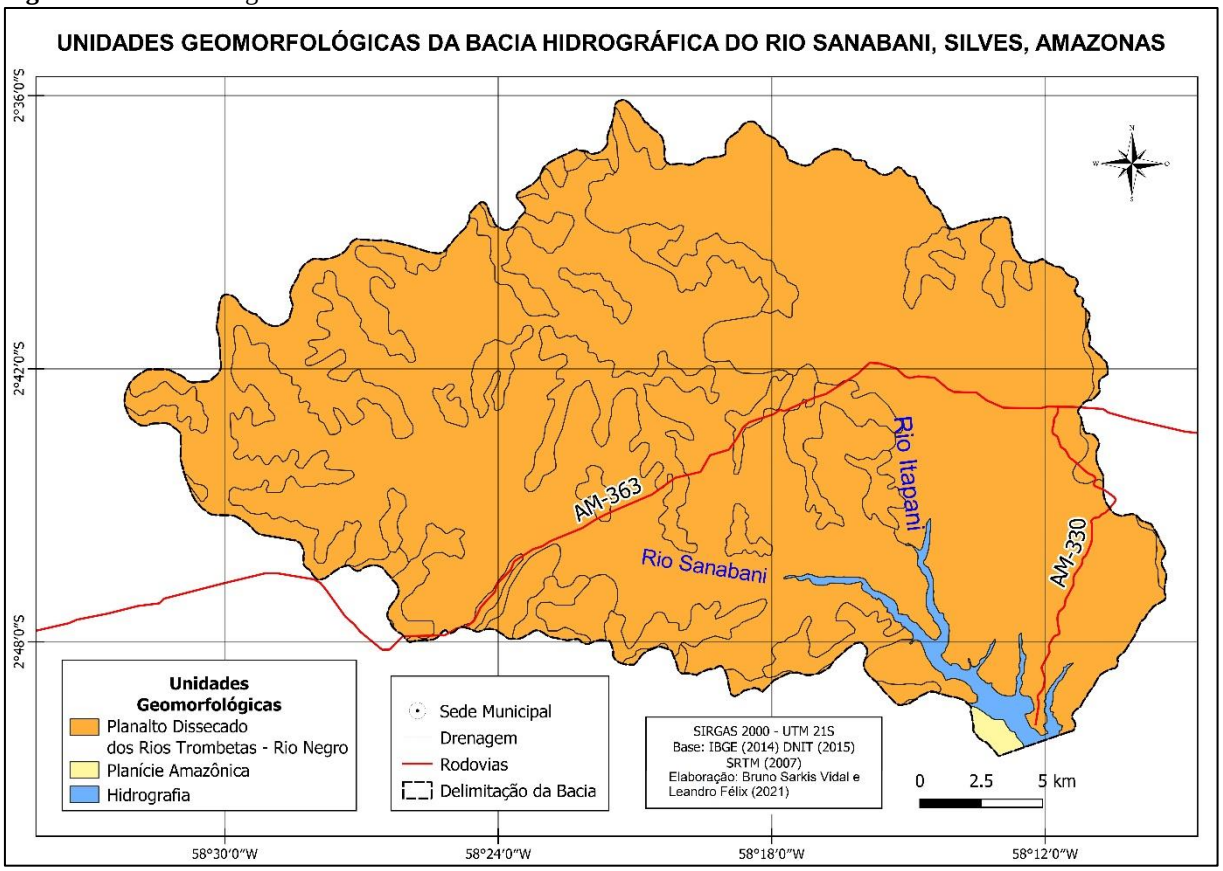
As coberturas detrito-lateríticas da bacia do rio Sanabani têm destaque no estado do Amazonas sob a forma de platôs desenvolvidos sob variado substrato rochoso, que inclui unidades ígneas máficas e félsicas, metamórficas e sedimentares, estas, recobrindo o espectro de bacias proterozóicas a fanerozóicas (REIS *et. al.* 2006).

Segundo o IBGE (2010), as coberturas detrito-lateríticas paleogênica constitui-se da base para o topo de: zona argilosa caulinítica; zona bauxítica com concreções e lentes gibsíticas; zona ferruginosa concrecionária; zona pisolítica nodular; capeamento argiloso (Latossolos) no topo.

2.3. Geomorfologia

O estudo Geomorfológico do Brasil, principalmente na região Amazônica, fundamenta-se nas pesquisas produzidas pelo Projeto Radam Brasil entre o período de 1970 a 1985, contribuindo significativamente com as pesquisas científicas (SANTOS, 2006)**.** Baseado em tais pesquisas, as unidades Geomorfológicas da bacia hidrográfica do rio Sanabani é representada pelo Planalto Dissecado Rio Trombetas-Rio Negro e pela Planície Amazônica (Figura 05).

Figura 5: Geomorfologia da bacia do rio Sanabani.



Elaboração: Leandro Felix, (2020).

O Planalto Dissecado Rio Trombetas-Rio negro apresenta formas de relevo talhadas em rochas sedimentares terciárias, com solos do tipo Latossolo Amarelo coberto por uma Floresta Densa, os rios Nhamundá, Jatapú, Uatumã e Preto da Eva atravessam o Planalto na direção NW-SE, compartimentando-o em grandes interflúvios (NASCIMENTO, *et. al.* 1976).

Segundo Nascimento *et. al.* (1976), as condições geomorfológicas deste Planalto refletem a intensa atuação dos processos erosivos, que resultaram em uma grande faixa de dissecação em interflúvios com encostas ravinadas, interflúvios tabulares, interflúvios tabulares com drenagem densa, colinas e ravinas. Ainda segundo o autor, localmente ocorrem superfícies tabulares ocupando posição altimétrica mais elevada em relação aos relevos dissecados

próximos.

De acordo com Dantas e Maia (2010), os Baixos Platôs da Amazônia centro-oriental (outrora denominados Planalto Dissecado do Rio Trombetas), recobertos por mata de Terra Firme, dominam uma significativa extensão da porção oriental do Estado do Amazonas, sendo caracterizados por terrenos baixos inferiores a 200 metros, com sua gênese iniciando efetivamente, com o fecho deposicional da Bacia Sedimentar do Amazonas. Portanto, este domínio geomorfológico ocupa toda a área de abrangência da Bacia Sedimentar do Amazonas, com amplo predomínio de ocorrência da Formação Alterdo Chão.

Os terrenos assentados nos baixos platôs da Amazônia Centro-Oriental representam uma área de notável expansão econômica do estado do Amazonas, pois são atravessados pelas rodovias BR-174 Manaus-Boa Vista, e AM-010, Manaus-Itacoatiara, além de servirem de substrato para consolidação do Distrito Agropecuário da Zona Franca de Manaus. Em seus domínios, estão localizadas, na margem esquerda do rio Amazonas, as cidades de Manaus, Presidente Figueiredo, Rio Preto da Eva, Itacoatiara e Silves. Na margem direita, a cidade de Maués (DANTAS e MAIA, 2010).

A Planície Amazônica, presente na bacia rio Sanabani, é representada por planícies de inundação e terraços fluviais muito amplos, com dezenas de quilômetros de largura, que ocorrem ao longo dos principais canais-troncos da bacia hidrográfica dos rios Negro-Solimões-Amazonas (DANTAS e MAIA, 2010).

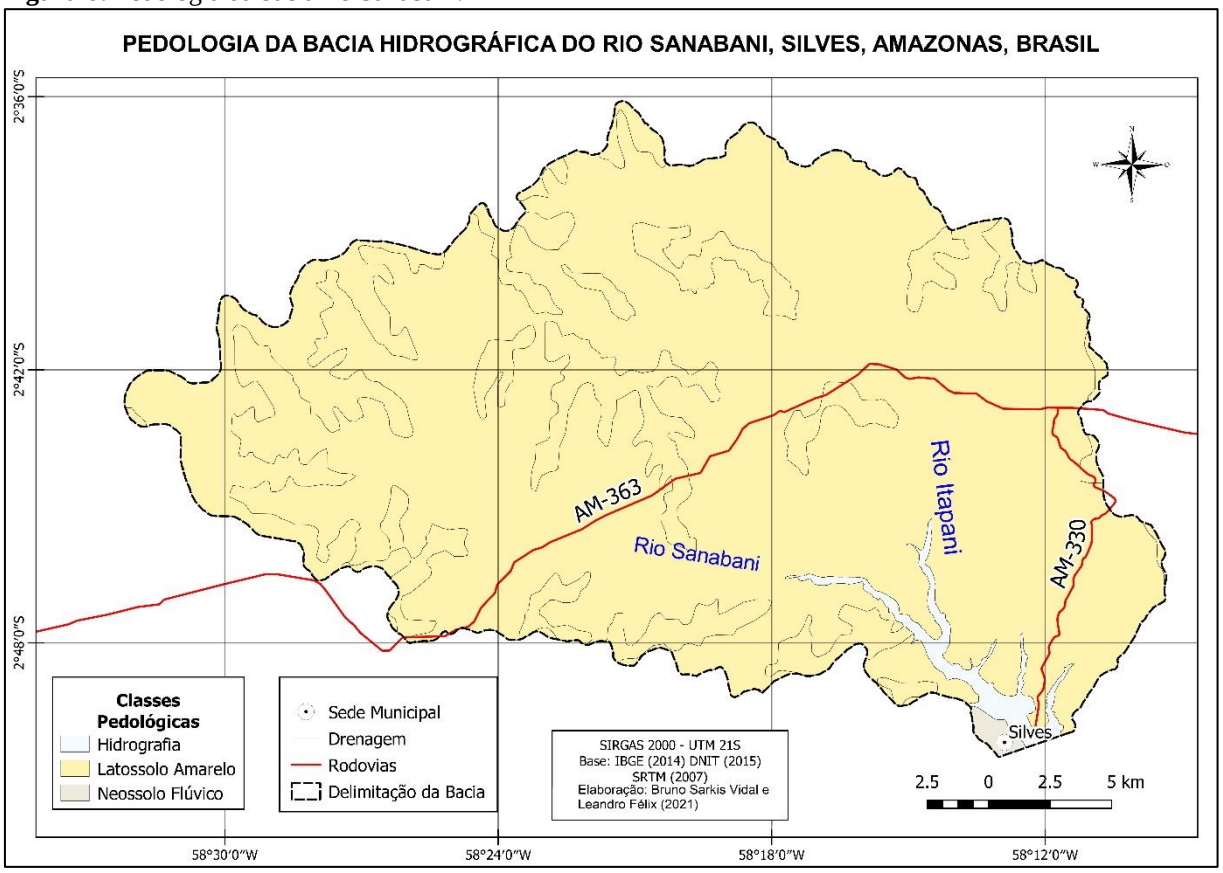
Conforme Dantas e Maia (2010), as Planícies Aluviais são constituídas por depósitos sedimentares atuais ou sub atuais. Os terraços fluviais são correlatos ao Pleistoceno Superior e as planícies de inundação, ao Holoceno.

Segundo Ross (2006), a Planície Amazônica apresenta cordões mais elevados margeando o leito do rio e formando diques fluviais recobertos por florestas aluviais, possuindo formas de relevo plano com altitudes de 0-100 (m) e solos do tipo gleissolo háplicos e neossolos flúvicos.

2.4. Pedologia

O IBGE (2010), classifica os solos na bacia hidrográfica do rio Sanabani com predominância de Latossolos amarelo, como também uma pequena porção de Neossolo Flúvico (Figura 6).

Figura 6: Pedologia da bacia rio Sanabani.



Elaboração: Leandro Felix (2020).

Os Latossolos Amarelos são solos profundos, de coloração amarelada, muito homogêneos, boa drenagem e baixa fertilidade natural em sua maioria, ocupando grandes extensões de terras no Baixo e Médio Amazonas, sendo cultivados com grande diversidadede lavouras (IBGE, 2015).

Segundos Santos *et. al.* (2018), Latossolos são solos constituídos por material mineral, apresentando horizonte B latossólico precedido de qualquer tipo de horizonte A dentro de 200 cm, a partir da superfície do solo ou dentro de 300 cm, se o horizonte A apresenta mais que 150 cm de espessura.

Os Neossolos Flúvicos são decorrentes de sedimentos aluviais com horizonte A assente sobre camada ou horizonte C, e que apresentam caráter flúvico dentro de 150 cm a partir da superfície do solo, comportam um horizonte Bi com menos de 10 cm de espessura, ausência de gleização expressiva dentro de 50 cm da superfície do solo (SANTOS, *et. al.* 2018).

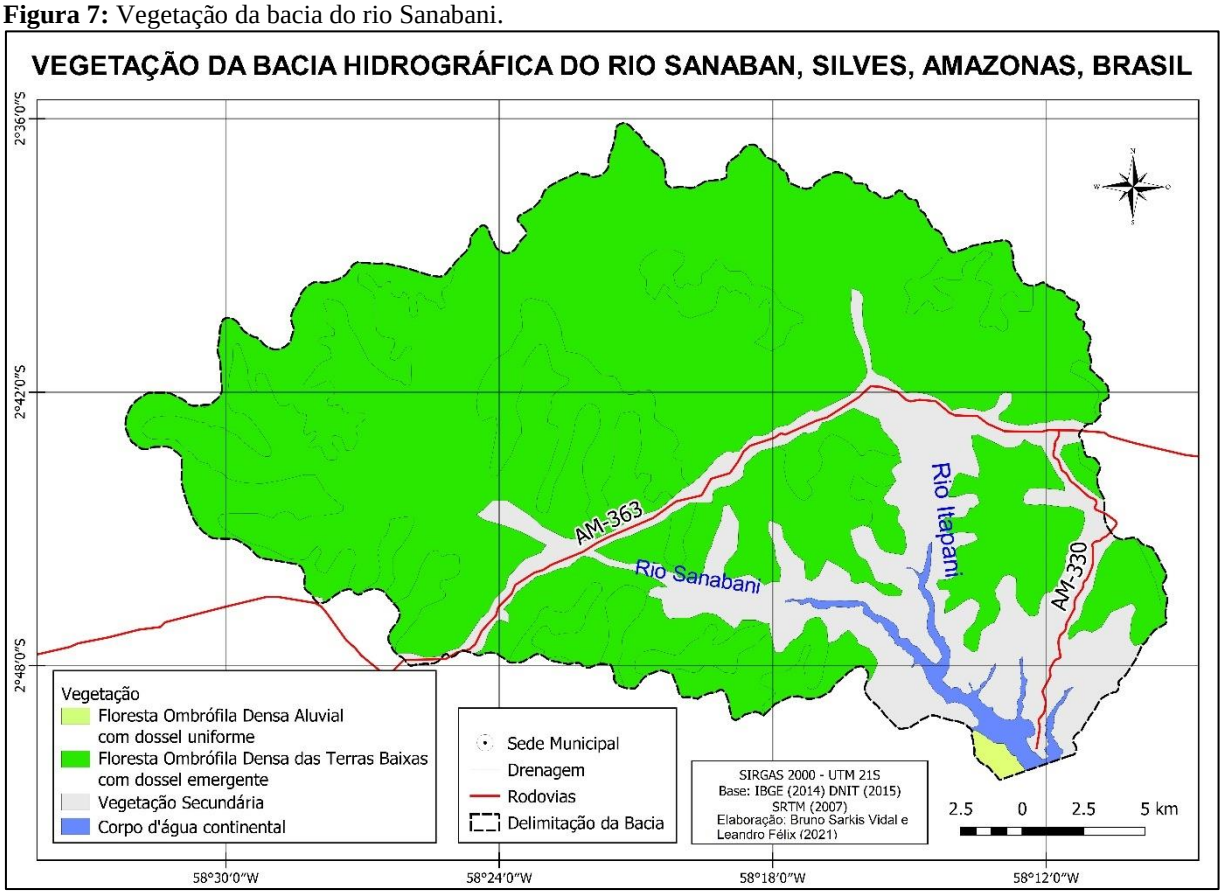
Segundo Silva e Rodrigues (2003), estes solos são de baixa fertilidade natural, possuem acidez elevada, apresentam textura bastante arenosa e a drenagem deficiente por inundações periódicas nos períodos chuvosos. Por essa razão, devido a essas características, são indicados

para preservação ambiental ou pastagem natural.

2.5. Vegetação

A vegetação da bacia do rio Sanabani é composta por uma Floresta Ombrófila Densa aluvial, Floresta Ombrófila Densa das Terras Baixas e Vegetação Secundária (Figura 07).

Figura 7: Vegetação da bacia do rio Sanabani.



Elaboração: Leandro Felix, (2020).

Segundo o Manual técnico da vegetação brasileira do IBGE (2012), a Floreta Ombrófila Densa das Terras Baixas, caracteriza-se por uma formação que, em geral, ocupa as planícies costeiras, capeadas por tabuleiros pliopleistocênicos, ocorre desde a Amazônia, estendendo-se por toda a Região Nordeste até proximidades do Rio São João, no Estado do Rio de Janeiro.

A Floresta Ombrófila Densa Aluvial é a formação ribeirinha ou "floresta ciliar" que ocorre ao longo dos cursos de água, ocupando os terraços antigos das planícies quaternárias. Sua formação é caracterizada por macro, meso e microfanerófitos de rápido crescimento, com casca lisa, tronco cônico, por vezes com a forma característica de botijae raízes tabulares, apresentando com frequência um dossel emergente uniforme, no entanto, em razão à exploração madeireira, a sua fisionomia torna-se bastante aberta (IBGE, 2012).

Segundo o IBGE (2012), em relação à Vegetação Secundária, é definida como áreas

onde houveram intervenção humana para o uso da terra, seja com finalidade mineradora, agrícola ou pecuária, descaracterizando a vegetação primária.

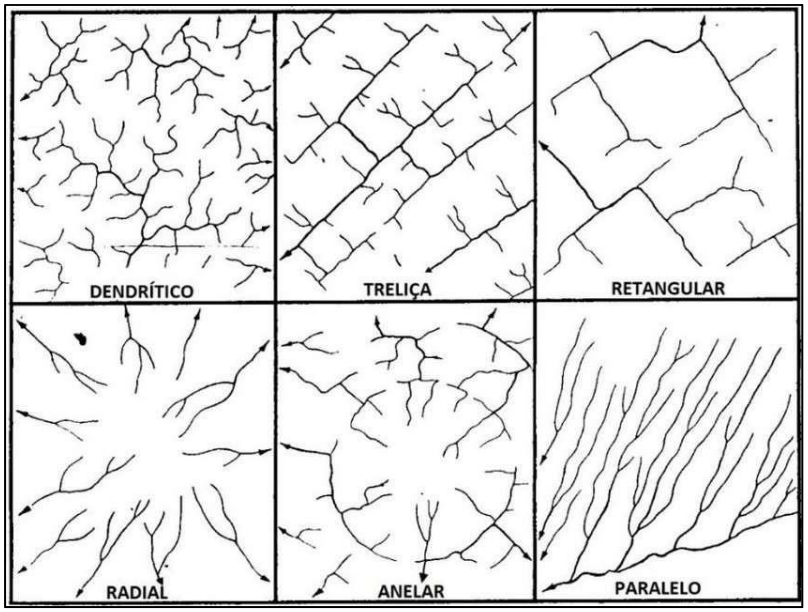
2.6. Hidrografia

A hidrografia da bacia do rio Sanabani de acordo com Faria (2010), está inserida na rede hidrográfica do município de Silves. Esta rede é constituída pelos rios Amazonas,Urubu, Anebá, Itapaní, Uatumã, Sanabaní, além dos furos Piramiru, Liberato e Maraquará.

O rio Sanabani, afluente do rio Amazonas, é um rio de águas pretas. De acordo com Sioli (1985), estas águas assemelham-se, no leito fluvial ao café preto, e no copo, chá fraco, com profundidades limites de visibilidade variando a 1,5 a 2,5 m. Os rios de águas pretas possuem as águas transparente, de coloração escura, com baixa quantidade de sedimentos e nutrientes, com pH variando de 3 a 5, suas nascentes estão nos escudos das Guianas e do Brasil Central ou nos sedimentos do terciário da bacia Amazônica, tais como os rios Negro e Urubu (FERREIRA, 2012).

A rede hidrográfica da bacia do rio Sanabani apresenta um padrão de drenagem dendrítica (Figura 8). Segundo Christofoletti (1980), o padrão de drenagem dendritíca é designado como arborescente, por assemelhar-se à configuração de uma árvore. Esta semelhança nos mostra que a corrente principal corresponde ao tronco da árvore, os tributários aos seus ramos e as correntes de menor categoria aos raminhos e folhas (CHRISTOFOLETTI, 1980).

Figura 8: Padrões de drenagem.

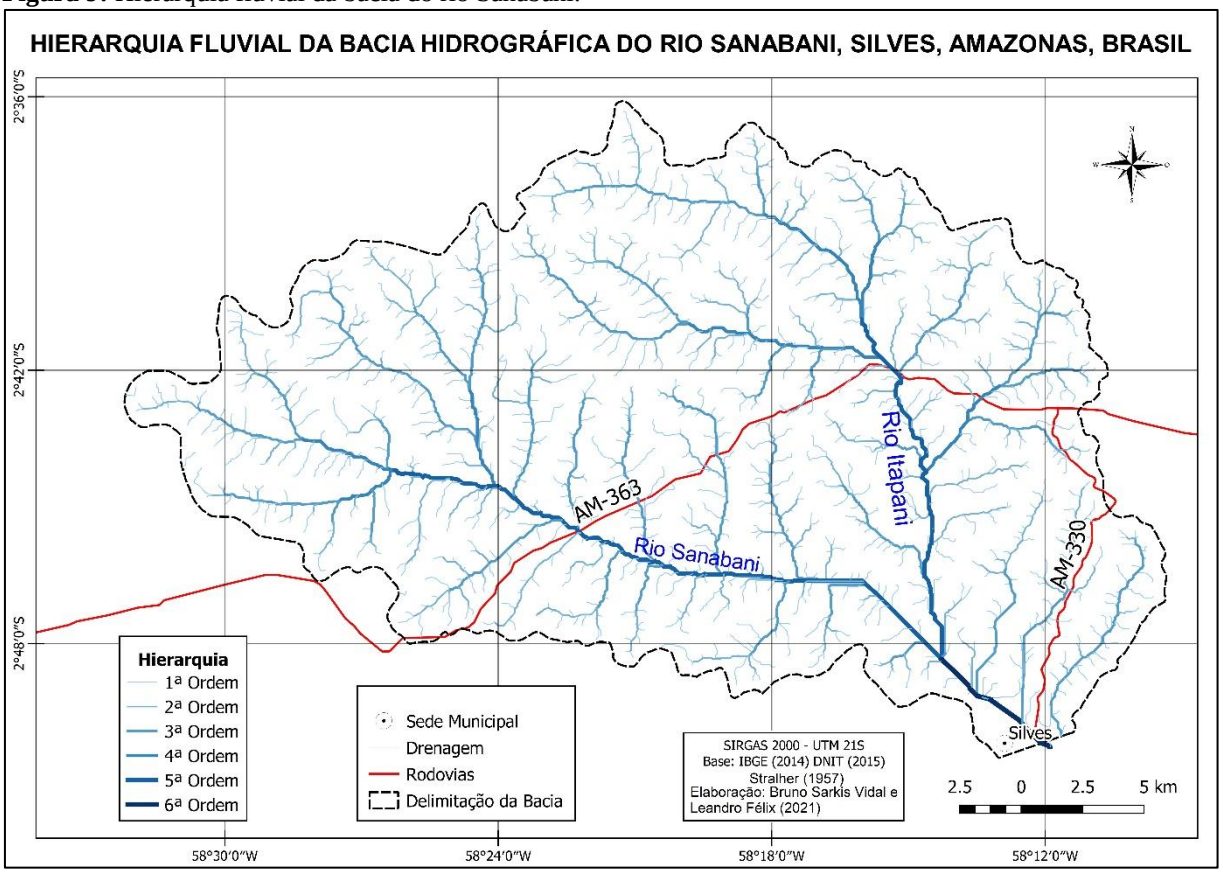


Fonte: Adaptado de Christofoletti, 1980.

A hierarquia fluvial (Figura 9), da área de estudo foi ordenada de acordo com a proposta de Strahler (1957), definindo como uma bacia de 6ª ordem.

Para Christofoletti (1980), a hierarquia fluvial estabelece a classificação de determinado curso de água no conjunto total de uma bacia na qual se encontra.

Figura 9: Hierarquia fluvial da bacia do rio Sanabani.



Elaboração: Leandro Felix, (2020).

Segundo a proposta de hierarquia fluvial de Strahler (1957), os menores canais sem tributários são classificados como de primeira ordem, abrangendo da nascente até a confluência; os canais de segunda ordem surgem a partir da confluência de dois canais deprimeira ordem, recebendo somente afluentes de primeira ordem; os canais de terceira ordem surgem da confluência de dois canais de segunda ordem; os canais de quarta ordem surgem da confluência de dois canais de terceira ordem, podendo receber tributários das ordens inferiores, e assim sucessivamente.

2.7. Clima

Segundo o IBGE (2002), o clima predominante no município de Silves é o Equatorial quente e úmido, com médias maiores que 18ºC em todos meses, e de um a dois meses secos.

De acordo com Silva e Rodrigues (2003), a precipitação média anual para o Município de Silves, é estimada em 2.249,0 mm, com um regime térmico elevado, porém homogêneo, apresentando temperatura média compensada anual em torno de 26.0 °C, com a temperatura

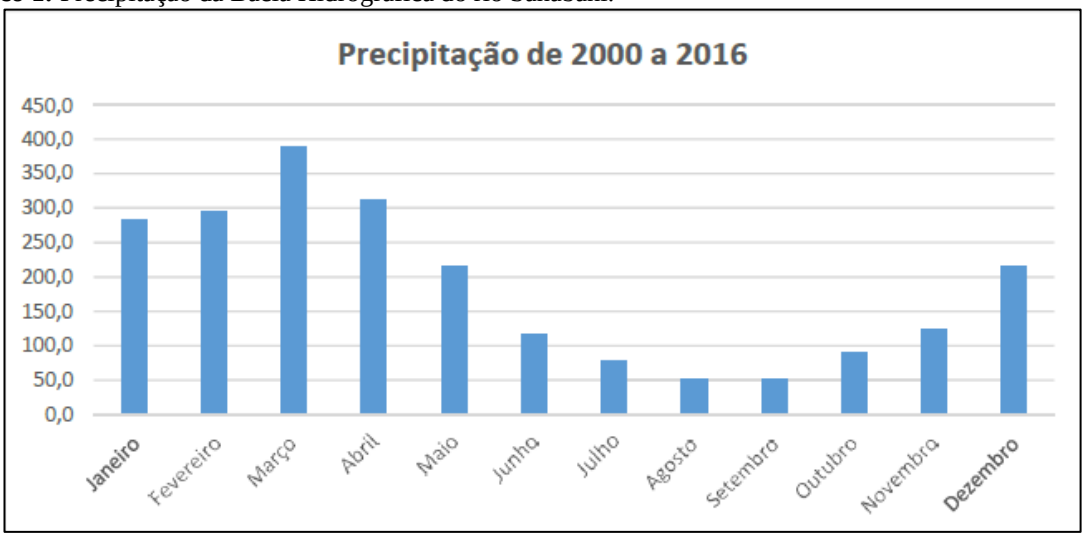
anual média das máximas variando em torno de 31.1 °C, observando-se que os meses mais quentes são os de setembro a novembro, com média estimada de 32.3 °C.

A umidade relativa do ar é bastante elevada, pois apresenta valores médios multianuais – mensais entre 79% a 88% e com média anual de 84%, a insolação, a exemplo da radiação solar, é muito intensa na região. O total anual médio de insolação (brilho solar) é da ordem de 1.532,2 horas, sendo acentuada no período menos chuvoso (semestre de junho a novembro), que corresponde, aproximadamente, a 61% do total anual, decrescendo no período mais chuvoso (semestre de dezembro a maio), no qual a nebulosidade é mais intensa na região (SILVA e RODRIGUES, 2003).

Devido à ausência de estação meteorológica no Município de Silves, foram utilizadas as séries de dados contidas no Resumo Estatístico Mensal, fornecido pelo INMET - Instituto Nacional de Meteorologia, referentes à Estação Meteorológica de Itacoatiara (1961-1990) e do Posto Pluviométrico de Balsa, do Rio Urubu (1967-2000) (SILVA e RODRIGUES, 2003).

Em relação aos dados pluviométricos na área da bacia hidrográfica do rio Sanabani, de acordo com os dados obtidos no Series View (INPE), foi possível observar no gráfico 01 abaixo, a precipitação acumulada mensal da área de estudo nos períodos entre o ano 2000 ao ano de 2016 (Gráfico 1).

Gráfico 1: Precipitação da Bacia Hidrográfica do rio Sanabani.



Fonte: Series View, 2020. Elaboração: Leandro Felix, (2020).

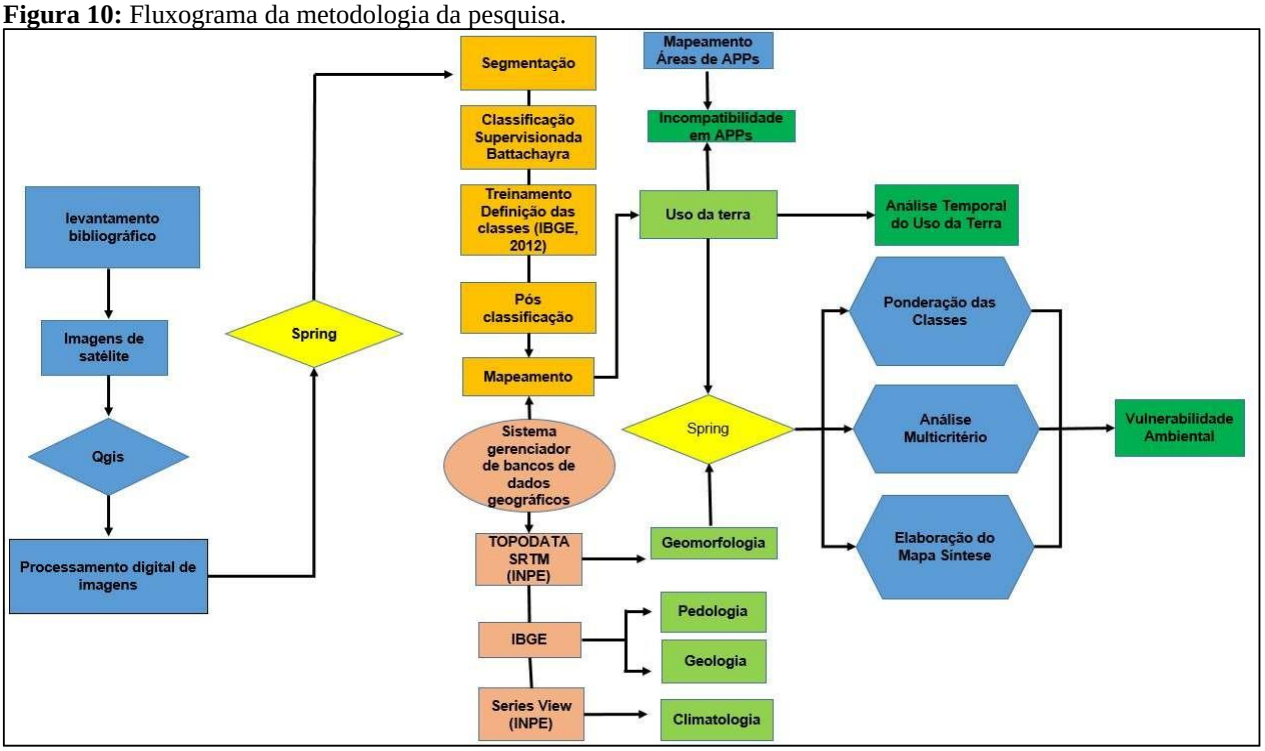
Segundo os dados do Series View (INPE), a bacia hidrográfica do rio Sanabani apresentou Precipitação média anual de 346.4 mm, entre os anos 2000 e de 2016. Os meses entre dezembro a maio formaram o período que apresentou os maiores índices pluviométricos; a partir do mês julho, observa-se uma gradativa redução na precipitação,posteriormente os meses de agosto e setembro sendo os meses mais secos, e a partir do mês de outubro voltando

a crescer.

3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Na presente pesquisa, os procedimentos metodológicos (figura 10), seguiram as seguintes etapas: um levantamento bibliográfico através de materiais disponíveis em órgãos como Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias (EMBRAPA), Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), United States Geological Survey (USGS), artigos, teses e dissertações sobre o uso e cobertura da terra, vulnerabilidade ambiental e áreas de APPs, objetivando a elaboração de uma base de dados e referências sólidas para a pesquisa.

Figura 10: Fluxograma da metodologia da pesquisa.



Elaboração: Leandro Felix, (2020).

Posteriormente, foram efetuados levantamentos de dados para caracterização dos condicionantes físico-ambientais da área de estudo e elaboração dos mapas temáticos.

Para caracterização da área de estudo e definição das variáveis, foram criados os mapas temáticos dos seguintes condicionantes ambientais: Geologia, Pedologia, Geomorfologia e Clima.

As bases cartográficas para confecção dos mapas de Geologia, Geomorfologia e Pedologia em escala 1:250.000, foram adquiridos no Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

A aquisição dos dados para a criação dos mapas temáticos, hipsometria e declividade,

foram obtidos a partir da base de dados *do Shuttle Radar Topographic Mission* (SRTM) / TOPODATA, com resolução espacial de 30 metros, disponíveis no Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE).

Os dados para a caracterização do clima da região foram obtidos a partir dos dados do Zoneamento Agroecológico do Município de Silves – AM (SILVA e RODRIGUES, 2003). Os dados de precipitação destacados no Climograma são da base de dados disponibilizadas do Series View do INPE.

Nesta pesquisa, utilizou-se o *Analytical Hierarchy Process* (AHP), ou Processo Hierárquico Analítico. O AHP é baseado em modelos matemáticos que permite organizar e avaliar a importância relativa entre critérios, bem como medir a consistência dos julgamentos (CÂMARA, *et. al.* 2001).

O AHP propõe ainda uma estruturação de um modelo hierárquico, composto por metas, critérios, subcritérios e alternativas, o mesmo é um processo de comparação pareada, por importância relativa, preferências ou probabilidade, entre dois critérios, com relação ao critério no nível superior (CÂMARA, *et. al.* 2001).

Logo, ainda segundo Câmara et. al. (2001), com base na comparação, a AHP pondera todos os subcritérios e critérios, e calcula um valor de razão de consistência entre 0 e 1, com 0 indicando a completa consistência do processo de julgamento, para pôr fim a partir do estabelecimento de critérios de comparação para cada combinação de fatores, sendo possível determinar um conjunto ótimo de pesos que podem ser utilizados para a combinação dos diferentes mapas.

Nesta pesquisa, foram executados dois trabalhos de campo, nos períodos de cheia dos rios. O primeiro foi efetuado no dia 18 de julho de 2019, e o segundo foi realizado dia 05 de agosto de 2020, para reconhecimento da área de estudo. No período da seca (vazante dos rios), não foi possível a execução do trabalho de campo, devido às restrições de circulação de pessoas, no intuito de conter a propagação do vírus da COVID-19.

3.1. Elaboração dos Mapas de Uso e Cobertura da Terra

Para a criação dos mapas de análise de uso e cobertura da terra, foram utilizadas as imagens do satélite Landsat 5 MSS para o ano de 1985, com uma resolução espacial de 80 metros, Landsat 5 TM para os anos de 1989, 1999 e 2009 e Landsat 8 OLI para o ano de 2019. Ambos possuem uma resolução espacial de 30 metros, sendo que as imagens são disponibilizadas pelo site do United States Geological Survey (USGS) (Tabela 1).

Tabela 1: Imagens de satélite utilizadas para análise temporal e mudança de uso e cobertura da terra no município de Silves.

Satélite	Sensor	Resolução	Bandas	Data de aquisição	Órbita/Ponto
Landsat - 5	MSS	80m	2, 3, 4	01/09/1985	230/62
Landsat - 5	TM	30m	3, 4, 5	12/09/1989	230/62
Landsat - 5	TM	30m	3, 4, 5	08/09/1999	230/62
Landsat - 5	TM	30m	3, 4, 5	18/08/2009	230/62
Landsat - 8	OLI	30m	4, 5, 6	30/08/2019	230/62

Fonte: INPE. Elaboração: Leandro Felix, (2020).

Os mapas de uso e cobertura da terra foram divididos em 05 classes temáticas (vegetação primária, vegetação secundária, solo exposto, pastagens e corpos d'água). Estas classes estão de acordo com o nível I do Sistema Básico de Classificação da Cobertura e do Uso da Terra (SCUT), do Manual Técnico de Uso da Terra do IBGE (2013). Segundo o IBGE (2013):

> O nível I (classes), que contém cinco (5) itens, indica as principais categorias da cobertura terrestre no planeta, que podem ser discriminadas a partir da interpretação direta dos dados dos sensores remotos. Atendem aos usuários interessados em informações nacionais ou inter-regionais (p. 10).

A etapa seguinte consistiu no processamento digital das imagens, onde foram utilizados os softwares QGIS e SPRING. Segundo Santos *et. al.* (2010), as técnicas de processamento digital de imagens podem ser divididas em três etapas: pré-processamento, realce de imagens e análise de imagens (Figura 11).

Figura 11: Etapas do processamento digital de imagens.

Fonte: Santos *et. al.* (2010).

No software QGIS, foi elaborada a composição colorida das bandas do vermelho (RED), infravermelho próximo (NIR) e infravermelho médio (IV Médio), para facilitar a interpretação de imagens, possibilitando a identificação de feições e objetos. Utilizou-se dos limites da bacia hidrográfica para realizar o recorte da área de estudo.

Após esta etapa, as imagens foram importadas para o *Spring* para então, com as imagens recortadas, iniciar a segmentação de imagens, juntamente com a classificação supervisionada por regiões utilizando o classificador *Bhattacharya*.

A primeira etapa no processo de classificação é a segmentação. Segundo Santos *et. al.* (2010), o ato de segmentar uma imagem consiste em agrupar pixels com características similares em termos tonais e texturais, formando regiões homogêneas. Para Lopes (2005), neste processo, divide-se a imagem em regiões que devem corresponder às áreas de interesse da aplicação, tais regiões são um conjunto de "pixels" contíguos, que se espalham bi-direcionalmente, apresentando uniformidade.

Após a segmentação da imagem, foi realizado o processo de treinamento, que está relacionado à aquisição de amostras na imagem dividida por regiões, onde atribui-se uma determinada classe para a amostra coletada (SANTOS, *et. al.* 2010).

No que tange à classificação supervisionada por região utiliza informação espectral de cada "pixel" e a informação espacial que envolve a relação entre os "pixels" e seus vizinhos, tais classificadores simulam o comportamento de um foto intérprete, ao reconhecer áreas homogêneas de imagens, baseado nas propriedades espectrais e espaciais de imagens (SANTOS, *et. al.* 2010).

O classificador de *Bhattacharya* é um algoritmo de classificação supervisionada, de acordo com Santos *et. al.* (2010), o mesmo requer a seleção de áreas de treinamento, podendo utilizar as regiões separadas durante o processo de segmentação ou polígonos representativos das regiões a serem classificada.

O procedimento de pós-classificação sedimenta-se no refinamento da classificação do uso da terra, compondo-se na extração de pixels isolados. No caso daqueles que não foram classificados, em função de um limiar ou um peso, fornecidos pelo usuário, utilizou-se o padrão do Spring.

Finalizou-se esta etapa de classificação com a transformação da imagem classificada (categoria Imagem) para um mapa temático raster, possibilitando que o plano de informação entre na análise multicritério (AHP) para a elaboração do mapa devulnerabilidade ambiental.

3.2. Elaboração dos mapas de Declividade e Hipsometria

Os mapas de declividade e hipsometria foram elaborados a partir dos dados altimétricos do Topotada (VALERIANO, 2008). O projeto Topodata oferece o Modelo Digital de Elevação (MDE) e suas derivações locais básicas em cobertura nacional, elaborados, em alguns casos, a partir dos dados *Shuttle Radar Topography Mission (SRTM)* disponibilizados pelo USGS. No Spring, utilizou-se o módulo MNT (Modelo Numérico de Terreno) para visualizar o arquivo em grades.

Para criação do mapa hipsométrico, primeiramente importou-se as imagens altimétricas para realizar o fatiamento da classe MNT para temática. Em seguida, criou-seuma categoria de classes temáticas hipsométricas, estabelecendo uma equidistância comvariação de 20 metros, de acordo com a EMBRAPA (2006). Após a criação das classes temáticas, realizou-se a associação de fatias, onde foram atribuídas às classes temáticas (cores) de acordo com a representação altimétrica.

Para criação do mapa de declividade, foi utilizado o mesmo dado altimétrico do SRTM-TOPODATA. O procedimento inicial foi alicerçado na importação do MDE para o banco de dado, sendo criada uma categoria do MNT. Após isso, gerou-se a grade de declividade onde o valor foi dado por porcentagens, de acordo com o que é estabelecido pela EMBRAPA (2018) (Quadro 03).

Quadro 3: Classes do relevo.

CLASSES DE RELEVO	CARACTERÍSTICAS	VARIÁVEIS
Plano	Superfície de topografia esbatida ou horizontal, onde os desnivelamentos são muito pequenos	0% a 3%.
Suave Ondulado	Superfície de topografia pouco movimentada, constituída por conjunto de colinas e/ou outeiros (elevações de altitudes relativas até 50 m e de 50 ma 100 m, respectivamente), apresentando declives suaves	3% a 8%.
Ondulado	Superfície de topografia pouco movimentada, constituída por conjunto de colinas e/ou outeiros, apresentando declivesmoderados	8% a 20%.
Forte Ondulado	Superfície de topografia movimentada, formada porouteiros e/ou morros (elevações de altitudes relativas de 50 m a 100 m ede 100 m a 200 m, respectivamente) e raramente colinas, com declives fortes	20% a 45%.
Montanhoso	Superfície de topografia vigorosa, com predomínio deformas acidentadas, usualmente constituídas por morros, montanhas, maciçosmontanhosos e alinhamentos montanhosos, apresentando desnivelamentos relativamente grandes e declives fortes e muito fortes	45% a 75%.
Escarpado	Áreas com predomínio de formas abruptas, compreendendo superfíciesmuito íngremes e escarpamentos, tais como: aparados, itaimbés, frentes de cuestas, falésias, vertentes de declives muito	Superiores a 75%.

Fonte: EMBRAPA, 2018. Elaboração: Leandro Felix, (2020).

Por fim, foram criadas as classes temáticas, para logo após realizar o fatiamento, onde foram associadas às classes temáticas (cores) com a representação de declividade.

3.3. Elaboração dos mapas de curvaturas e formas do terreno

Os mapas de curvaturas verticais e horizontais, assim como das formas de terreno, foram elaborados a partir dos dados do Topodata. Foram utilizados os dados em formato TIFF das curvaturas que continham 05 classes e das formas de terreno que originalmente contém 0 9 classes.

Os dados foram importados para o software Spring, onde foram recortados conforme o

limite da área de estudo. Neste caso, a bacia hidrográfica do rio Sanabani.

O procedimento seguinte consistiu na ordenação da paleta de cores que possuíssem brilho e matiz condizentes com as formas do terreno. Dessa forma, foram utilizados os níveis de intensidade dos canais vermelho (R), verde (G) e azul (B) definidos por Valeriano (2008), no Guia de Utilização dos Dados Geomorfológicos do Topodata (Tabela 2).

Tabela 2: Identificador da Classe no SIG.

Curv Horizontal	Curv. Vertical	[1]ID	Canais		
			R	G	B
Convergente	côncavo	5	0	0	155
	retilíneo	6	58	58	220
	convexo	7	161	181	255
Planar	côncavo	9	0	124	0
	retilíneo	10	0	205	0
	convexo	11	205	255	209
Divergente	côncavo.	13	213	0	0
	retilíneo	14	233	142	0
	convexo	15	255	240	0

(1) identificador da classe no SIG.

Fonte: Valeriano (2008).

Segundo Valeriano (2008), a adoção desta paleta se torna necessária para a melhor interpretação em detalhe e na visualização em escala generalizada.

3.4. Elaboração do Mapa de Vulnerabilidade do Relevo

O mapa de vulnerabilidade do relevo é resultado da combinação das informações resultantes dos mapas de Hipsometria, Declividade e de Formas do Terreno. Foram utilizados os dados geomorfométricos resultantes de processamentos efetuados em imagens SRTM do Projeto TOPODATA - INPE (VALERIANO, 2008a).

Para elaboração do plano de informação, utilizou-se o método AHP (Processo Analítico Hierárquico) do Spring, onde são atribuídos os pesos de acordo com a relevância de cada variável.

Ao elaborar o mapeamento, considerou-se a declividade como fator mais importante na vulnerabilidade do relevo, pois a mesma influencia diretamente na dinâmica do escoamento superficial e nos processos erosivos.

Utilizou-se da ponderação realizada por Silva Neto (2013), para atribuir os pesos para

as variáveis, o quadro 4 abaixo exemplifica os pesos adotados no suporte à decisão para a elaboração da vulnerabilidade do relevo com uma razão de consistência de 0.016.

Quadro 4: Pesos Atribuídos para Elaboração da Vulnerabilidade do Relevo.

Variável 1	Variável 2	Critério	Peso
Declividade	Formas do Terreno	3	Algo melhor
Declividade	Hipsometria	4	Moderadamente melhor
Formas do Terreno	Hipsometria	2	Um pouco melhor

Elaboração: Leandro Felix, (2020).

Após a análise multicritério, é elaborada uma grade MNT como resultado da álgebra de mapas, fatiou-se esta grade por meio de associação com a classe temática pré-estabelecida, empregou-se 5 fatias, sendo elas: muito fraca (0 - 0.2), fraca (0.2 - 0.4), moderada (0.4 - 0.6), forte (0.6 - 0.8) e muito forte (0.8 1.0).

3.5. Elaboração do Mapa de Erosividade

A elaboração do mapa de erosividade foi realizada a partir da coleta de dados pluviométricos disponíveis no site Series View do Instituto Nacional Pesquisas Espaciais (INPE), pelo fato de não haver dados pluviométricos disponíveis, relativos ao município de Silves.

A primeira etapa foi a aquisição dos dados pluviométricos, onde foram coletados dados de precipitação pluvial mensais e anuais, tendo como ponto de partida a série histórica que compreende o período de 2000 a 2016. Para isso foram espacializados 13 pontos de coletas na área de estudo que representam estações meteorológicas (Figura 12).

Figura 12: Pontos de Precipitação na Bacia Hidrográfica do rio Sanabani.

Elaboração: Leandro Felix, (2020).

Com base nas médias mensais e anuais de precipitação da série temporal citada anteriormente, os valores de erosividade para cada ponto (estação meteorológica) foram calculados pelo software Excel (Microsoft, 2016).

Para determinar do valor da média anual de precipitação do índice de erosividade da bacia do rio Sanabani, foi utilizada a equação proposta por Lombardi Neto e Moldenhauer (1992):

$$R = 68{,}730 * (\frac{M^2}{A})^{0{,}841}$$

Sendo que: **R:** índice médio de erosividade (MJ mm ha^{-1} h^{-1} ano^{-1}); **M:** precipitação mensal (mm) do mês "x"; **A:** precipitação anual (mm).

Após o tratamento estatístico dos dados de precipitação, realizou-se a interpolação dos dados utilizando-se o método da Ponderação do Inverso das Distâncias (*Inverse Distance Weighting*) no QGIS. A interpolação é necessária para espacialização dos valores da erosividade em posições não amostradas, partindo dos valores calculados e observados.

3.6. Elaboração do mapa de Áreas de Preservação Permanente e das Áreas de Incompatibilidade.

O mapeamento de Áreas de Preservação Permanente (APP), considerando a legislação vigente, foi baseada de acordo com os critérios estabelecidos na lei federal Nº12.651, DE 25 DE MAIO DE 2012 (Novo Código Florestal).

Na Seção I onde trata da Delimitação das Áreas de Preservação Permanente o Art.4º Considera-se Área de Preservação Permanente, em zonas rurais ou urbanas, para os efeitos desta Lei:

I - As faixas marginais de qualquer curso d'água natural perene e intermitente, excluídos os efêmeros, desde a borda da calha do leito regular, em largura mínima de:

a) 30 metros, para os cursos d'água de menos de 10 metros de largura;

b) 50 metros, para os cursos d'água que tenham de 10 a 50 metros de largura;

c) 100 metros, para os cursos d'água que tenham de 50 a 200 metros de largura;

d) 200 metros, para os cursos d'água que tenham de 200 a 600 metros de largura;

e) 500 metros, para os cursos d'água que tenham largura superior a 600 metros.

IV - As áreas no entorno das nascentes e dos olhos d'água perenes, qualquer queseja sua

situação topográfica, no raio mínimo de 50 (cinquenta) metros.

V - As encostas ou partes destas com declividade superior a 45°, equivalente a 100% (cem por cento) na linha de maior declive.

A primeira etapa para elaboração do mapa de APP foi a delimitação dos canais hidrográficos da área de estudo, utilizou-se o modelo digital de elevação do Topodata e imagens de satélites disponíveis no catálogo Google Satélite disponível através da extensão *QuickMapServices* no QGIS para geração das linhas de drenagem, no caso dos canais com largura igual ou inferior a 10 metros, os polígonos de massa d'água para os canais com largura superior a 10 metros, e os pontos para as nascentes hidrográficas.

Após a elaboração das camadas vetoriais (pontos, linhas e polígonos) aplicou-se o operador de distância *buffer* para criar uma zona em torno de um elemento geográfico. Neste da hidrografia, contem localizações que estão dentro de uma distância especificada pelo novo código florestal.

A etapa seguinte foi centrada na realização do procedimento de mesclagem vetorial, onde o software agrupa todos os *buffers* gerados em um único arquivo vetorial: o plano de informação de APP's.

Para elaboração do mapa de incompatibilidade de APP's, transformou-se o plano de informação vetorial para matricial. Após este procedimento, importou-se o arquivo parao Spring para ser correlacionado com o mapa de uso da terra e cobertura vegetal.

O procedimento que gerou a camada de incompatibilidade de APP, relativo ao uso da terra, pode ser definido como operação lógica entre planos de informação, foi realizada em ambiente LEGAL, onde foram definidas as classes compatíveis e incompatíveis através da sobreposição entre as duas variáveis. Houve a adoção de classes de vegetação primária e secundária e água como compatíveis, juntamente com solo exposto e pastagem como incompatíveis.

A etapa final foi o fatiamento do plano de informação gerado em MNT para temático, associando os dois valores resultantes do processamento para as classes correspondentes.

3.7. Elaboração do Mapa síntese de Vulnerabilidade Ambiental

A metodologia utilizada na elaboração da Vulnerabilidade Ambiental da bacia hidrográfica do rio Sanabani, está fundamentada na proposta de Crepani *et. al.* (2001). Esta metodologia foi desenvolvida a partir do conceito de Ecodinâmica (TRICART, 1977), e da potencialidade para estudos integrados das imagens de satélite que permitem uma visão sinótica e holística da paisagem (CREPANI, *et. al.* 2008).

Segundo Crepani *et. al.* (2008), na metodologia para criação do mapa de vulnerabilidade ambiental, cada tema componente da paisagem (geologia, geomorfologia, clima, solo, uso da terra) é um plano de informação do banco de dados. Nas classes de cada tema que compõem a unidade de paisagem, são associados valores indicativos do grau de vulnerabilidade Ambiental.

Ainda de acordo com Crepani *et. al.* (2008), este modelo se aplica aos temas que compõem cada unidade de paisagem que recebem um valor, resultando uma média aritmética individual para cada tema conforme a equação:

$$V = \frac{G + R + S + C + Vg}{5}$$

Onde:

V = Vulnerabilidade
G = vulnerabilidade para o tema Geologia
R = vulnerabilidade para o tema Geomorfologia
S = vulnerabilidade para o tema solos
C = vulnerabilidade para o tema Clima
Vg = vulnerabilidade para o tema Vegetação

Para a elaboração do mapa de vulnerabilidade Ambiental foi utilizado o ambiente do Sistema de Informação Geográfica (SIG) através do software SPRING 5.5.5, onde foram armazenadas as informações para o tratamento dos dados, juntamente com a correlação das variáveis dos planos de informação dos mapas de Geologia, Geomorfologia, Solo, Clima e uso da terra, onde foram atribuídos pesos para cada classe de acordo com os procedimentos propostos pela metodologia *Analytic Hierarchy Process* (AHP) e por Crepani *et. al.*, (2001).

A escala de pesos utilizada foi segundo a proposta de Silva Neto (2013), que tem como base a de Crepani *et. al.*, (1996) (Quadro 05).

Quadro 5: Escala de Vulnerabilidade Ambiental

ESCALA DE VULNERABILIDADE		
Escala peso - 3 (Crepani et al.1996)	Escala peso- 1 (Silva neto 2013)	Vulnerabilidade da Paisagem à perda de solos
3.0	1.00	Muito Forte
2.9	0.95	Muito Forte
2.8	0.90	Muito Forte
2.7	0.85	Muito Forte
2.6	0.80	Forte
2.5	0.75	Forte
2.4	0.70	Forte
2.3	0.65	Forte
2.2	0.60	Moderada
2.1	0.55	Moderada
2.0	0.50	Moderada
1.9	0.45	Moderada
1.8	0.40	Moderada
1.7	0.35	Fraca
1.6	0.30	Fraca
1.5	0.25	Fraca
1.4	0.20	Fraca
1.3	0.15	Muito Fraca
1.2	0.10	Muito Fraca
1.1	0.05	Muito Fraca
1.0	0.00	Muito Fraca

Fonte: Silva Neto (2013).

Segundo Crepani (2001), a escala de vulnerabilidade das unidades territoriais básicas, a partir de sua caracterização morfodinâmica, é feita segundo critérios desenvolvidos a partir dos princípios da Ecodinâmica de Tricart (1977), que estabelece as seguintes categorias morfodinâmicas: meios estáveis, meios intergrades, meios fortemente instáveis (Quadro 06).

Quadro 6: Categoria morfodinâmica

Categoria Morfodinâmica	Relação pedogênese/morfogênese
Estável	Prevalece a Pedogênese
Intermediária (intergrades)	Equilíbrio Pedogênese/Morfogênese
Instável	Prevalece a Morfogênese

Elaboração: Leandro Felix, (2020).

A ponderação de todas as classes foi realizada em Linguagem Espacial Para Geoprocessamento Algébrico (LEGAL), com base nos critérios de cada indicador e verificando o grau de pertinência entre 0 a 1, onde zero representa a condição de não vulnerável e 1 representa o grau mais elevado de vulnerabilidade. Os valores intermediários representam as classes intermediárias.

A etapa seguinte, na metodologia AHP, após a determinação da ponderação das classes das variáveis é atribuir os pesos de cada variável, a aceitabilidade dos pesos está dentro dos padrões definidos pela Razão de Consistência de Saaty (1980). Neste caso, adotou-se o maior peso para o plano de informação do uso da terra, em seguida os planos de pedologia e vulnerabilidade do relevo receberam os mesmos pesos e, por fim, atribuiu-se os pesos da erosividade e geologia. Esta atribuição de pesos pode ser observada no quadro abaixo (Quadro 07).

Quadro 7: Pesos atribuídos para determinar a vulnerabilidade ambiental.

Variável	**Peso no Legal (Valores entre 0 e 1)**
Erosividade	0,150
Geologia	0,100
Uso da Terra	0,300
Vulnerabilidade do Relevo	0,225
Pedologia	0,225

Elaboração: Leandro Felix, (2020).

O novo plano de informação, isto é, a vulnerabilidade ambiental é gerada em grade MNT. O procedimento final para geração do mapa de vulnerabilidade é o fatiamento do dado MNT de entrada, em uma categoria temática de saída, associando assim as classes temáticas de acordo com a grade gerada pelo algoritmo escrito em LEGAL.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. Análise Temporo-espacial do Uso da Terra e Cobertura Vegetal na Bacia Hidrográfica do Rio Sanabani

Os resultados do mapeamento de uso da terra e cobertura vegetal na bacia hidrográfica do rio Sanabani fornecem informações da área estudada em busca de uma melhor compreensão da dinâmica do uso e ocupação da terra, bem como seus impactos ambientais causados na área de estudo.

Neste sentido, os alvos de interesse foram destacados em cinco classes representadas em mapas temáticos. Os mapas foram selecionados a partir das imagens de satélite referentes aos anos de 1985, 1989, 1999, 2009 e 2019. Todos foram relacionados e analisados, evidenciando as modificações ocorridas no uso e cobertura terra.

A escolha inicial a partir do ano de 1985 se dá pelo fato de na época não haver a construção das rodovias estaduais AM-363 e a AM-330. Neste período, no começo da década de 1980, a grande maioria dos habitantes de Silves (83%) ainda residia em áreas rurais (GIGLIOTTI, 2015).

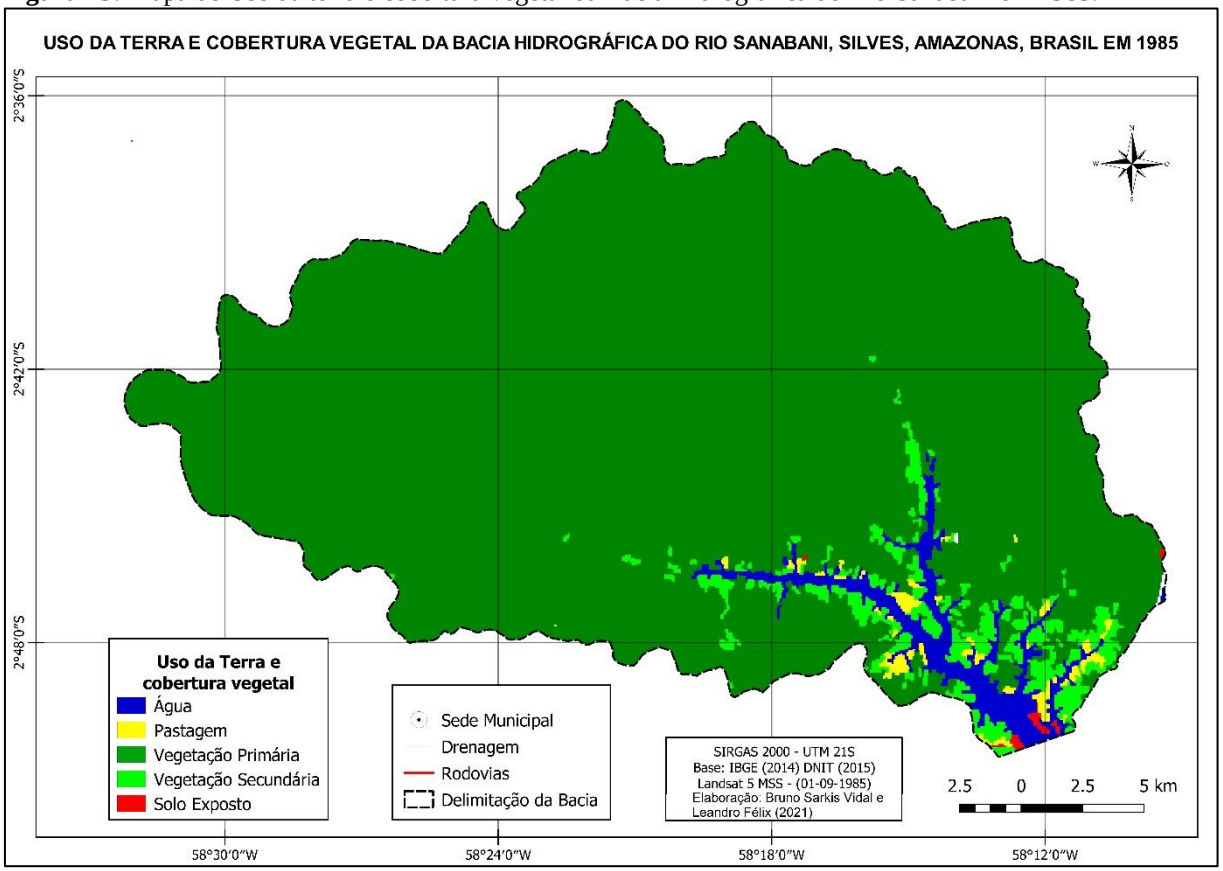
Segundo Ribeiro (1991), as rodovias AM-363 e 330 foram inauguradas somente em dezembro de 1987, tornando-se posteriormente a principal ligação via terrestre do município de Silves a capital Manaus.

Embora a estrada tenha permitido o fim do isolamento por via terrestre ao município de Silves, a mesma levantou uma série de indagações, como o porquê de, no lugar de uma estrada de difícil conservação por causa da erosão, causada pelos altos índice de pluviosidade que caem na região, não se providenciou uma frota de barcos para o transporte da produção agrícola por vias naturais que são os rios (RIBEIRO, 1991).

Ribeiro (1991), afirma ainda que a região é rica em vários tipos de minério, e questiona se a estrada teria sido construída com a finalidade de transportar minérios tal como já acontecia com a BR-174.

Em relação aos dados do mapeamento da bacia do rio Sanabani destacados nas classes referente ao ano de 1985 (Figura 13), verificou-se que a área da bacia apresentava um total de 613,14 km^2 de vegetação primaria, representando 92,28% da área total da bacia, enquanto a vegetação secundária apresentou um total de 24,78 km^2, representando3,73% da área.

Figura 13: Mapa de Uso da terra e cobertura vegetal da Bacia Hidrográfica do Rio Sanabani em 1985.



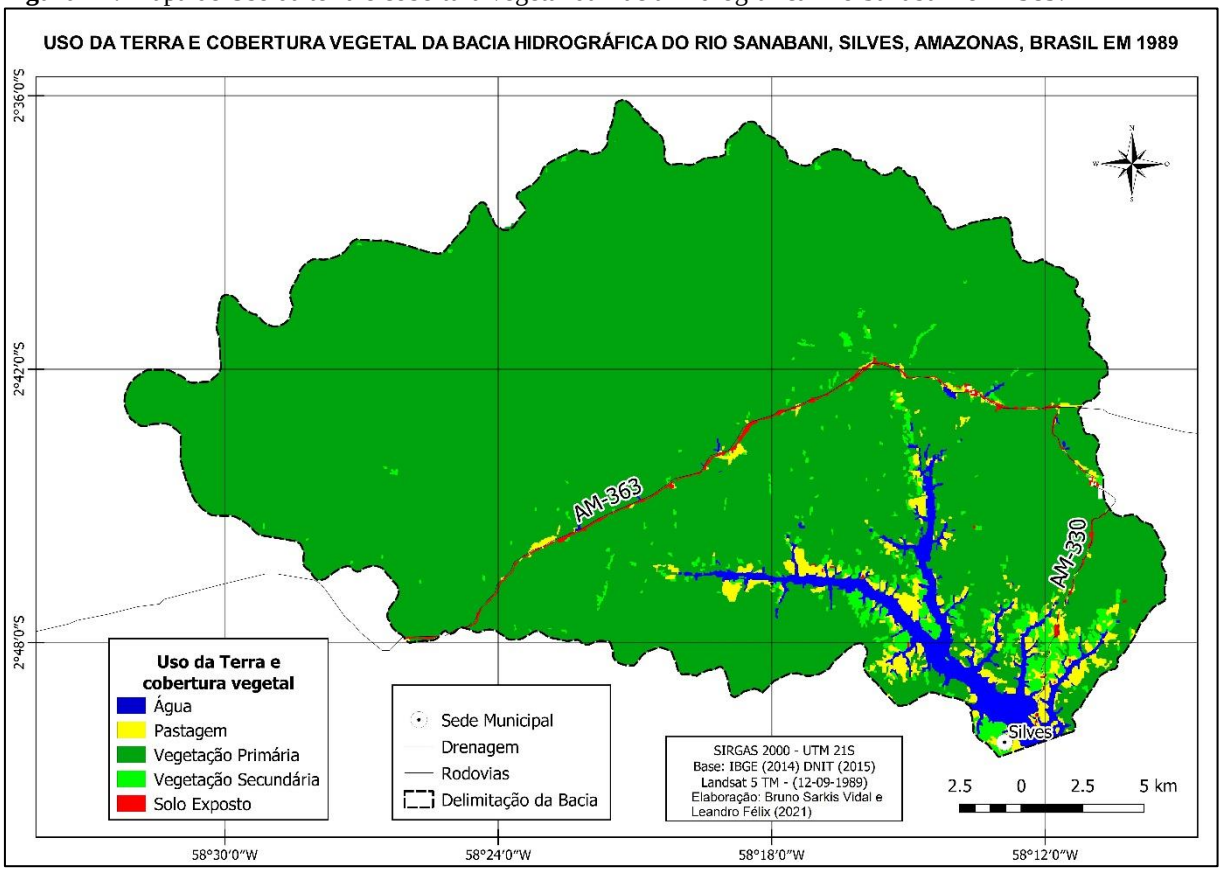
Elaboração: Leandro Felix, (2020).

Em relação às áreas de pastagem, esta classe possuía uma área total de 5,16km^2, correspondendo 0,78%, as classes de solo exposto possuíam um total de 0,85 km^2, correspondendo a 0,13% da área total.

No ano de 1989 (figura 14), após a construção das rodovias AM-363 e AM-330, a vegetação primária apresentou uma área total de 609,08 km^2, correspondendo 92% da bacia.

A vegetação secundária apresentou uma área total de 14,94 km^2, correspondendo 2% do total. No que se refere às pastagens esta classe apresentou um aumento para 16,42 km^2, correspondendo 2% do total, enquanto a classe de solo exposto apresentou 3,24 km^2, correspondendo 1% do total.

Figura 14: Mapa de Uso da terra e cobertura vegetal da Bacia Hidrográfica Rio Sanabani em 1989.



Elaboração: Leandro Felix, (2020).

Nesta primeira comparação (Tabela 03 e Gráfico 02), é possível observar a dinâmica de uso e ocupação da terra ocorridas em cada classe entre os anos de 1985 e 1989, e as variações do antes e do depois da construção das rodovias AM-330 e AM-363.

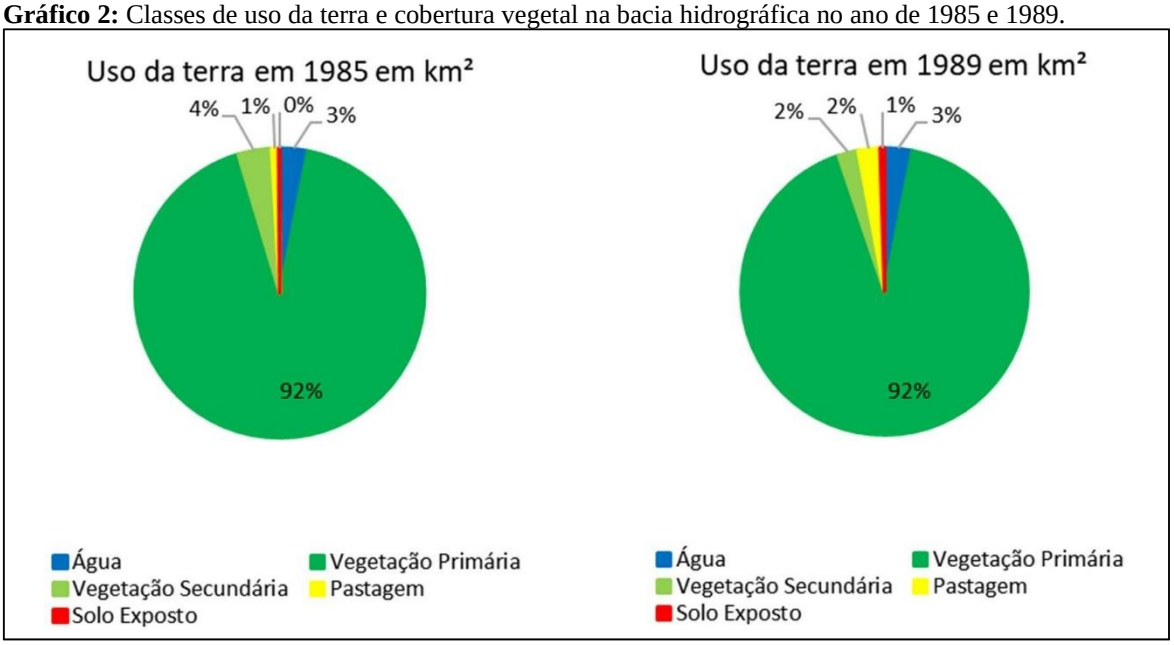
Constatou-se, ainda, que as variações das classes representadas nos mapas temáticos tiveram pouca alteração de suas áreas durante o período de quatro anos. Nesta primeira comparação, observa-se a predominância da classe vegetação primária que não apresentou alteração, ilustrando a classe com maior extensão, como também possuindo um total de 92% da bacia.

Tabela 3: Classes de uso da terra e cobertura vegetal na bacia hidrográfica do rio Sanabani em 1985 e 1989.

Classes	**1985**		**1989**	
	área em km^2	área em %	área em km^2	área em %
Água	20,53	3,09	20,70	3,12
Vegetação primária	613,14	92,28	609,08	91,68
Vegetação secundária	24,78	3,73	14,94	2,25
Pastagem	5,16	0,78	16,42	2,47
Solo exposto	0,85	0,13	3,24	0,49
Total	664,46	100	664,37	100

Elaboração: Leandro Felix, (2020).

Gráfico 2: Classes de uso da terra e cobertura vegetal na bacia hidrográfica no ano de 1985 e 1989.



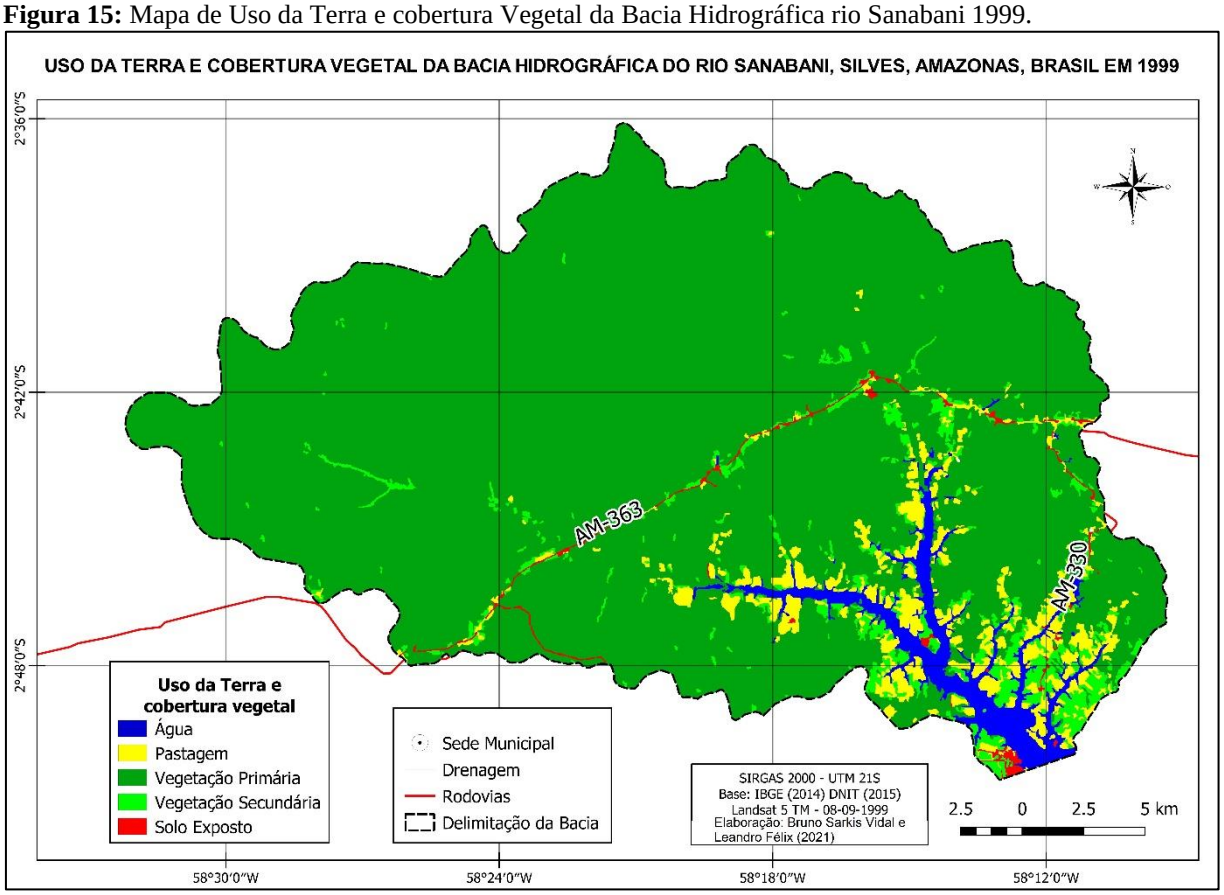
Elaboração: Leandro Felix, (2020).

O período que compreende o final dos anos 60, e as décadas de 1970 e 1980, é pautado pelo início da pesca predatória e por conflitos, concernente aos recursos pesqueiros na rede hidrográfica do município de Silves. Segundo Ribeiro (1991), a partir de 1968, com a entrada de barcospesqueiros, deu-se ao início da pesca predatória que utilizava técnicas proibidas pela SUDEPE (Superintendência de Desenvolvimento da Pesca), reduzindo a quantidade de peixes que consequentemente resultou na escassez de peixe na região.

Tais acontecimentos geraram uma reação da população em defesa dos recursos pesqueiros importantes para sobrevivência da população desta região. A partir de então, criou-se um movimento em defesa dos rios e lagos de Silves, pois os mesmos estavam sofrendo da pesca predatória por pescadores profissionais oriundos do estado do Pará e outros lugares, tal acontecimento foi destacado pela imprensa escrita em Manaus como a“A guerra do peixe” (RIBEIRO,1991; SILVA, 2018).

No ano de 1999 (Figura 15), a área de vegetação primária apresentava um total de 583,19 km^2, representando 87,76% da bacia. A vegetação secundária apresentava uma área total de 25,13 km^2, representando 4%.

Figura 15: Mapa de Uso da Terra e cobertura Vegetal da Bacia Hidrográfica rio Sanabani 1999.

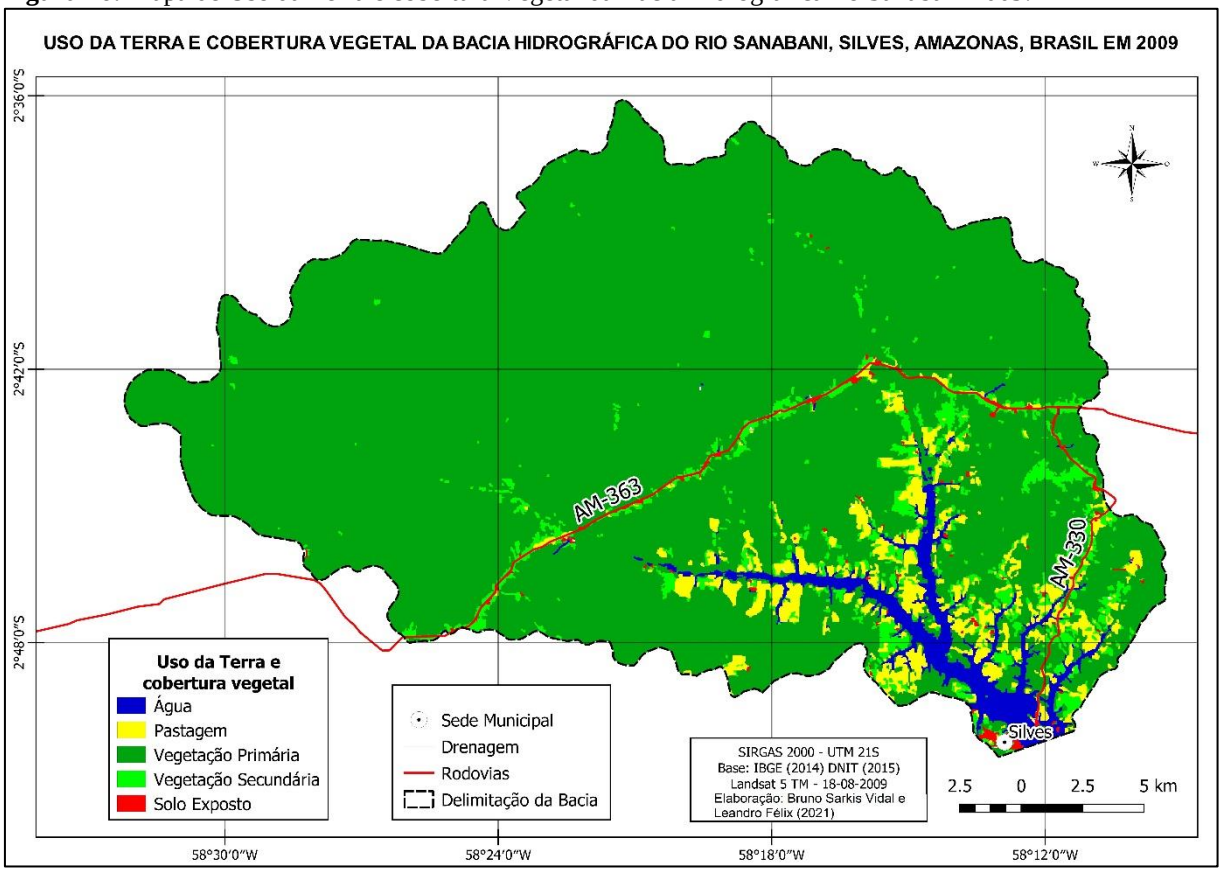


Elaboração: Leandro Felix, (2020).

As classes de pastagens possuíam uma área total de 30,74 km^2, representando 4,63%, enquanto as classes de solo exposto apresentaram uma área total de 4,04 km^2, representando 0,61% de área.

No ano de 2009 (Figura 16), a classes de vegetação primaria apresentaram 580 km^2 de área total, representando 87,28% da bacia. A classe vegetação secundária apresentou 30 km^2 de área total, representando 4,46%.

Figura 16: Mapa de Uso da Terra e cobertura Vegetal da Bacia Hidrográfica rio Sanabani 2009.



Elaboração: Leandro Felix, (2020).

As áreas de pastagens correspondiam uma área total 30 km^2, representando 4,54%da área. A classe de solo exposto apresentava pouca extensão sendo apenas 3 km^2, ocupando 0,49%.

A análise comparativa dos anos entre 1999 e 2009, os resultados indicam uma redução das áreas de vegetação primária, demonstrando também uma pequena redução da vegetação secundária (Tabela 04 e Gráfico 03). Outra mudança possível de ser verificada nas áreas de pastagens foi ilustrada pelo aumento de suas áreas, em relação aos anos de 85 e 89 chegando a 5% da área total da bacia.

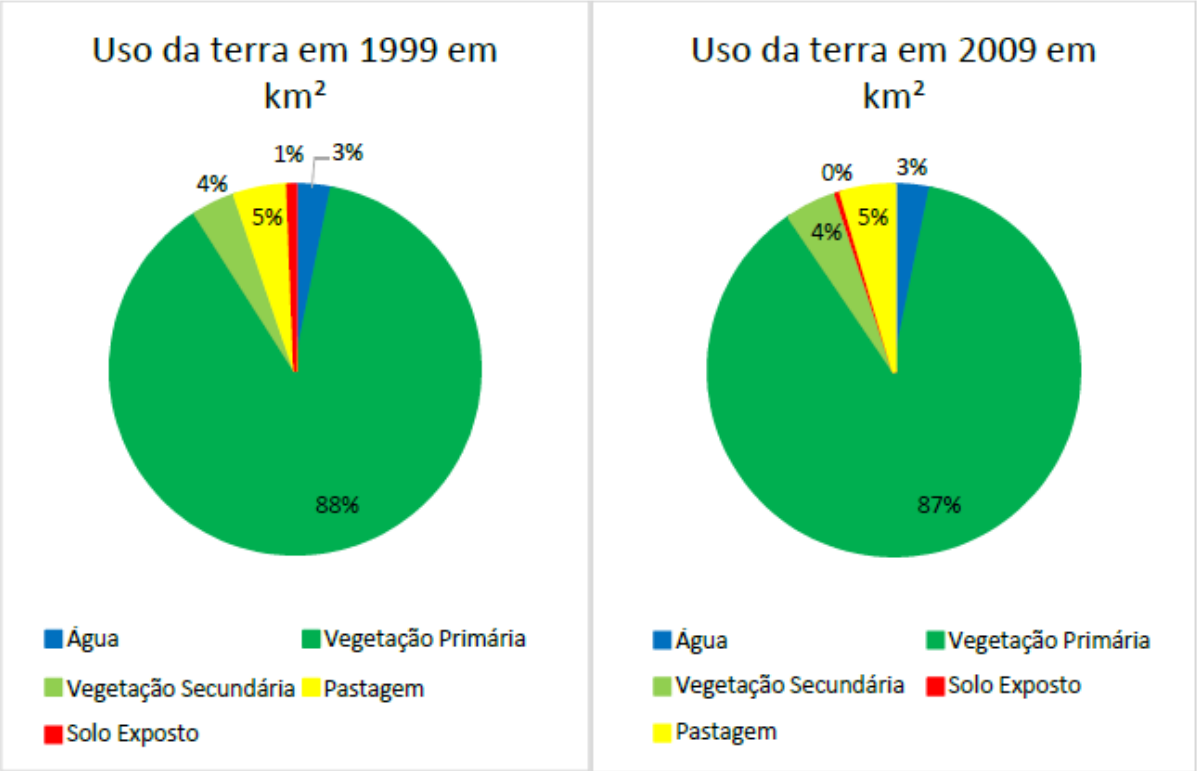
Na década de 90 e nos primeiros anos da década de 2000, verificou-se a expansão de novas áreas de uso, principalmente a partir das rodovias que, até este período, não eram pavimentadas.

Tabela 4: Classes de uso da terra e cobertura vegetal na bacia hidrográfica rio Sanabani em 1999 e 2009.

Classes	**1999**		**2009**	
	área em km²	área em %	área em km²	área em %
Água	21,04	3,22	21	3,22
Vegetação primária	583,19	87,76	580	87,28
Vegetação secundária	25,13	3,78	30	4,46
Pastagem	30,74	4,63	30	4,54
Solo exposto	4,04	0,61	3	0,49
Total	664,51	100	664	100

Elaboração: Leandro Felix, (2020).

Gráfico 3: Classes de uso da terra e cobertura vegetal na bacia hidrográfica no ano de 1999 e 2009.



Elaboração: Leandro Felix, (2020)

Em 2009 e 2010, as rodovias AM-363 e 330 receberam o seu asfaltamento completo, tornando os impactos na cobertura vegetal, ao longo do seu traçado original, muito mais evidentes (GIGLIOTTI e PINHO, 2015).

Na figura 17 observa-se que um dos impactos mais recorrentes que ocorrem nas margens das rodovias AM-363 e AM-330 é o surgimento de voçorocas.

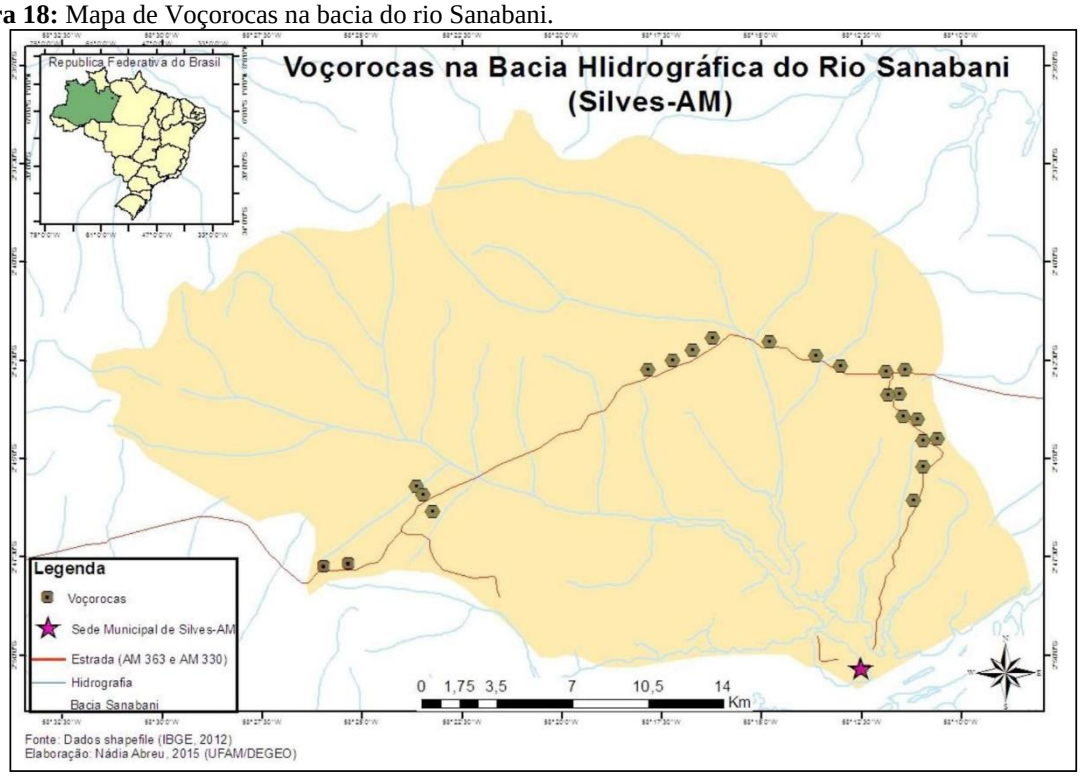
Figura 17: Voçoroca localizada na rodovia AM-363 km-76.

Foto: Leandro Felix, (2020). 05/08/2020.

As voçorocas, localizadas nas rodovias que cortam a bacia do sanabani, ocorrem em áreas de solo desprotegido e em ambientes com má drenagem, possuindo canaletas instaladas de forma incorreta, modificando a paisagem, inutilizando o solo, causando um risco à vida (ABREU, 2016).

De acordo Abreu (2016), a bacia hidrográfica necessita de uma intervenção em suas rodovias, haja vista que existem um total de 22 voçorocas cadastradas em 2013, em toda sua extensão, e todas as 22 encontram-se na bacia hidrográfica do rio Sanabani (Figura 18).

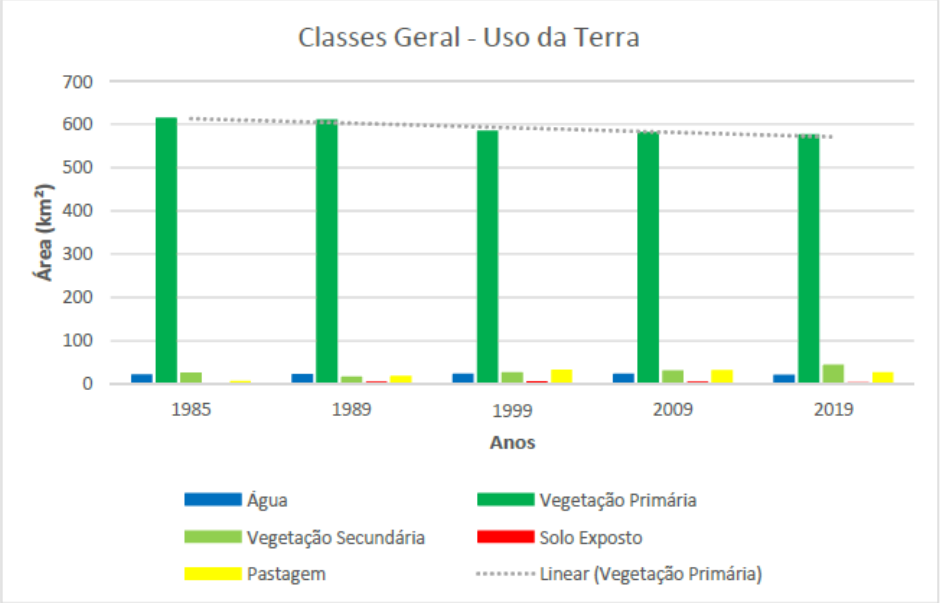
Figura 18: Mapa de Voçorocas na bacia do rio Sanabani.



Fonte: Abreu, 2016.

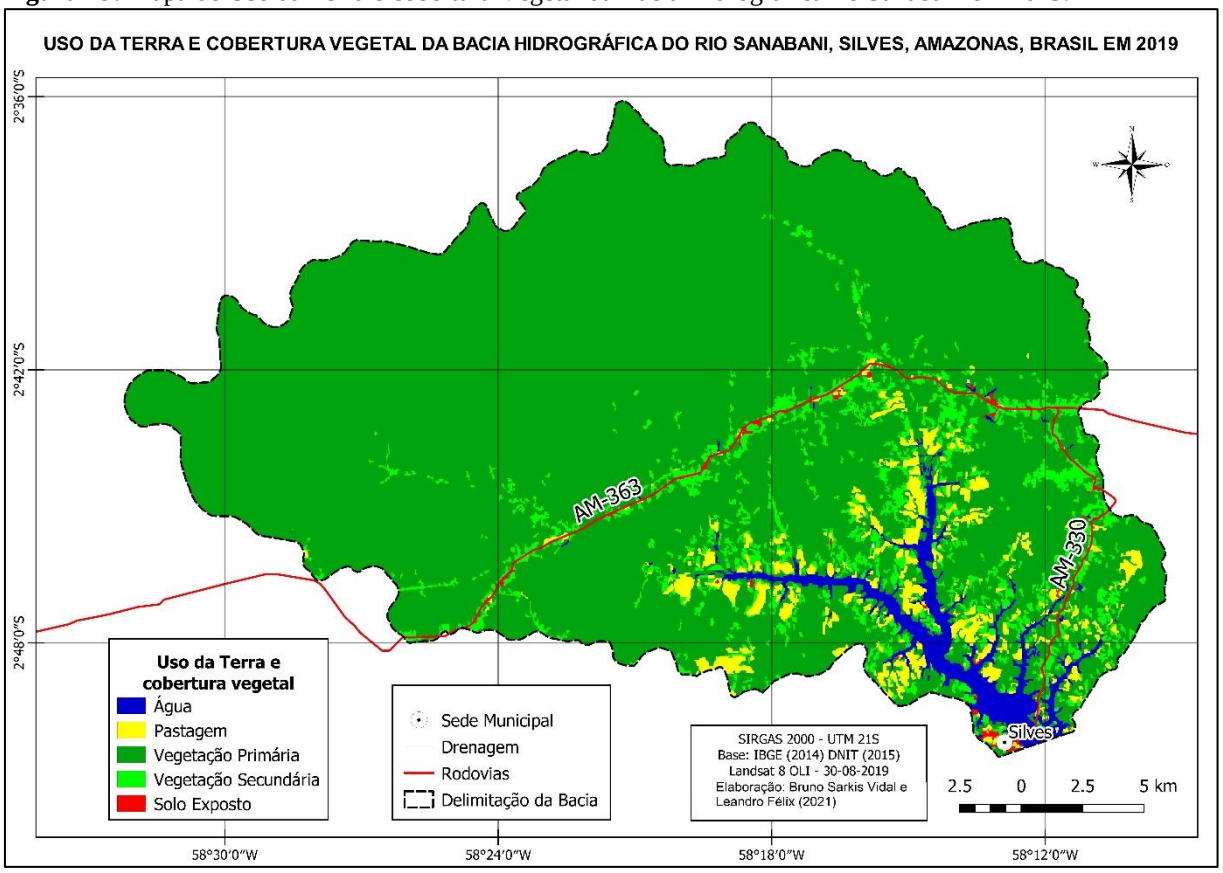
Em análise comparativa aos anos de 1985, 1989, 1999 e 2009, o mapeamento de uso e cobertura da terra da bacia referente ao ano de 2019 (Gráfico 4 e Figura 19), indica uma redução da vegetação primária, que apresenta atualmente uma área total de 575 km^2, representando uma porcentagem de 86,57%. Já a vegetação secundária apresenta um aumento 43 km^2, evidenciando atuais 6,41% (Tabela 5 e Gráfico 5).

Gráfico 4: Classificação geral da redução das classes do uso da terra.



Elaboração: Leandro Felix, (2020).

Figura 19: Mapa de Uso da Terra e cobertura Vegetal da Bacia Hidrográfica rio Sanabani em 2019.



Elaboração: Leandro Felix, (2020).

As áreas de pastagens apresentam uma área total de 25 km^2, representando atuais3,77%. Já as áreas de solo exposto possuem atuais 2 km^2, representando apenas 0,27% do total da bacia, mantendo-se como a classe que apresentou pouca representatividade em comparação com as outras classes de anos anteriores já analisados.

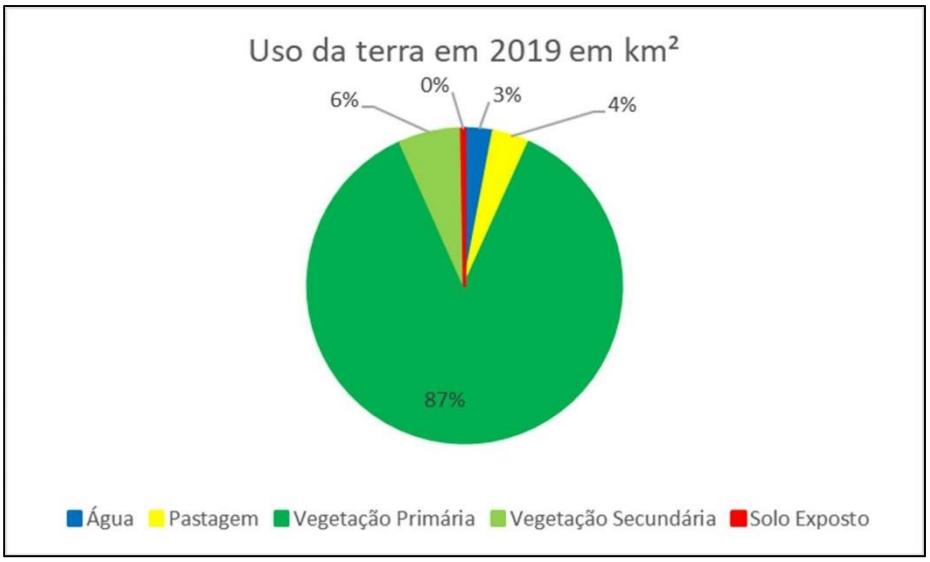
Observa-se que a intensificação da dinâmica de uso ocupação da terra da bacia ocorre principalmente nas porções sul e sudeste, a partir das margens dos rios Itapani e Sanabani para o interior da bacia, e posteriormente a partir das rodovias AM- 363 e AM-330. Gigliotti (2015), afirma que a construção da rodovia AM-363 transformou a dinâmica populacional e de ocupação humana na região, transferindo a ocorrência das principais áreas desflorestadas dos rios para as estradas.

Tabela 5: Classes de uso da terra e cobertura vegetal na bacia hidrográfica o rio Sanabani em 2019.

Uso da terra em 2019	Área em km²	Área em %
Água	20	2,97
Vegetação Primária	575	86,57
Vegetação Secundária	43	6,41
Solo Exposto	2	0,27
Pastagem	25	3,77
Total	664	100

Elaboração: Leandro Felix, (2020).

Gráfico 5: Classes de uso da terra e cobertura vegetal na bacia hidrográfica ano 2019.



Elaboração: Leandro Felix, (2020).

Constatou-se, ainda, que as margens dos rios da bacia do rio sanabani são ocupadas principalmente pelas atividades agropecuárias, com culturas principalmente da mandioca e a criação de bovinos e bubalinos, com a maior representatividade de animais de grande porte, outra ocupação que se destaca é a urbana, com casas construídas as margens dos rios Sanabani e Itapani e na sede municipal de Silves.

Atualmente as atividades de uso, ocupação e cobertura da terra da bacia hidrográfica do rio Sanabani estão historicamente baseadas na pecuária, agricultura, o extrativismo mineral e vegetal, e a pesca artesanal, todos com um importante papel no desenvolvimento econômico e social da área de estudo no decorrer das últimas décadas. Entretanto, juntamente com estas atividades ocorrem impactos ambientais como a intensificação de processos erosivos.

De acordo com Sales (2005), as principais atividades econômicas, desenvolvidas no

município Silves, são o extrativismo vegetal, a pesca, a agropecuária e a exploração mineral. A produção agrícola é baseada no cultivo de mandioca, enquanto a pecuária é representada principalmente por bovinos e suínos, com produção de carne e de leite destinada ao consumo local, em relação pesca, esta é praticada de forma artesanal, e a extração vegetal, destaca-se a castanha *(Bertholletia excelsa)* (SALES, 2005).

Malveira (2009), afirma que a criação de bovinos, suínos e búfalos são responsáveis por 77% do setor primário do município de Silves, destaca ainda a mandioca como a principal atividade da agricultura, no setor secundário a principal atividade de exploração é a madeira, no setor terciário hotéis restaurantes, e o ecoturismo.

Atualmente, segundo o censo agropecuário no ano de 2017 apontava que Silves está na 26ª colocação em Bovinos do Amazonas, por Efetivo do rebanho em cabeças.

A tabela 6 nos mostra a evolução do efetivo rebanho dos principais animais de grande (bovinos, bubalinos e equinos) e médio porte (suínos), onde a espécie bovina é a que possui maior quantitativo de rebanhos seguido com a de suínos que ocupa a segunda posição da atividade da pecuária.

Tabela 6: Evolução do efetivo da pecuária de animais de grande porte

Animais	1985	1989	1999(1997*)	2009	2019
Bovinos	7.655	13.561	17.837	14.634	11.726
Bubalinos	151	688	2.142	888	360
Equinos	192	220	86	113	525
Suínos	3.029	4.796	8.461	1.108	1.635

Fonte: IBGE - Pesquisa Pecuária Municipal. *Dados referentes ao ano de 1997.

A exploração mineral está presente às margens do rio Sanabani com extração da areia destinada a construção civil. Riker *et. al.* (2008), afirma que a areia possui uma razoável distribuição na área de estudo e em grande parte vem sendo utilizada na construção civil, e que a maior parte dos areais corresponde a produto de podzolização desenvolvido sobre rochas areníticas das formações Alter do Chão e Novo Remanso.

4.2. Áreas de Preservação Permanente

Em relação às Áreas de Preservação Permanente (APP) conforme apresentado na tabela 8, da área total de 664 km^2 da bacia hidrográfica do rio Sanabani, as APP's representam um total 149 km^2, representando 22% da área da bacia (Tabela 7).

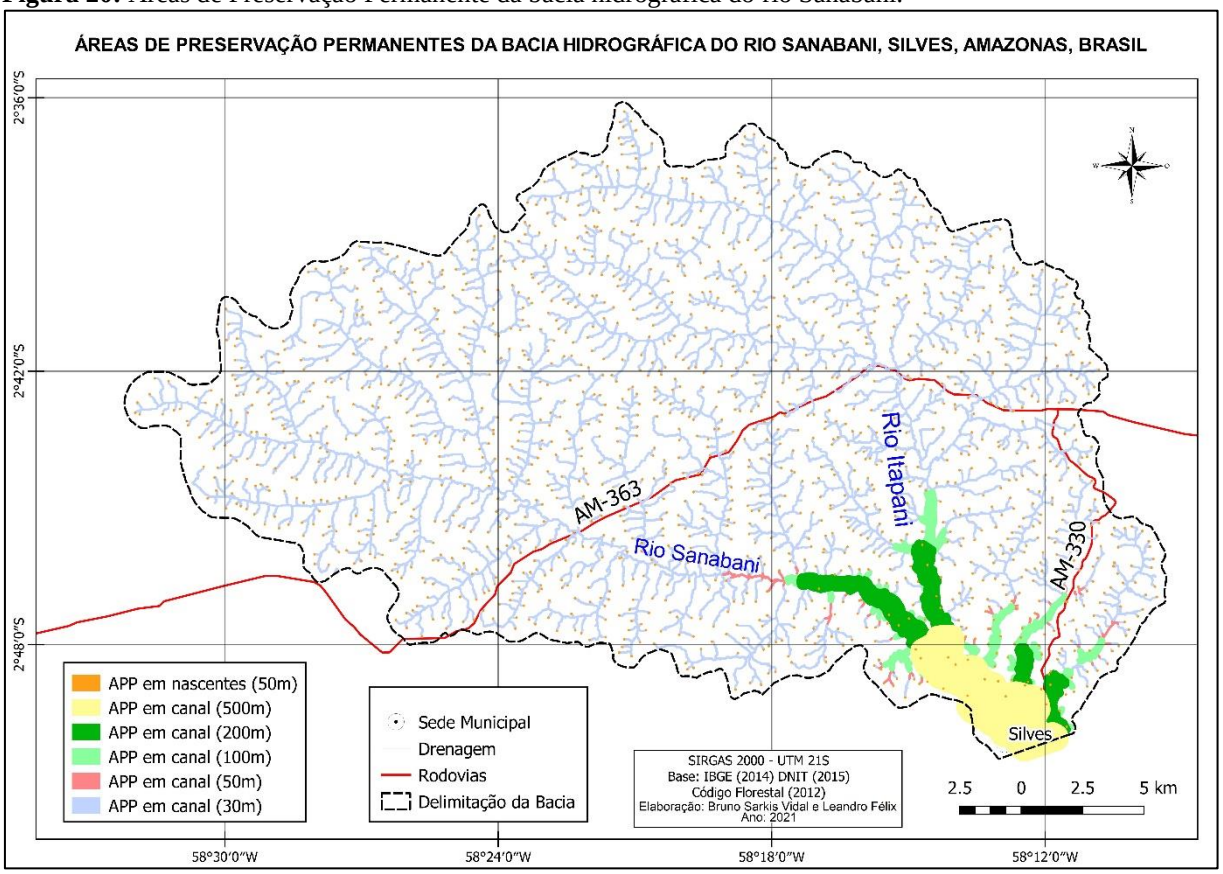
Tabela 7: Áreas com e sem APP's em km2.

Área	Área em km²	Área em %
Área Total com APP's	149	22
Área Total da Bacia sem APP's	515	78
Área Total da Bacia	664	100

Elaboração: Leandro Felix, (2020).

Na figura 20, observa-se que as APP's são, em sua maioria, em áreasde nascentes, considerando o raio de 50 metros de vegetação em seu entorno, e em margens de canais de drenagem com faixa de 30 metros de largura. As demais APP's encontram-se nas margens de canais de drenagem, com a faixa de 50 metros a 500 metros de largura situados na região sul e sudeste, mais próximos a foz da bacia e na sede municipal de Silves.

Figura 20: Áreas de Preservação Permanente da bacia hidrográfica do rio Sanabani.



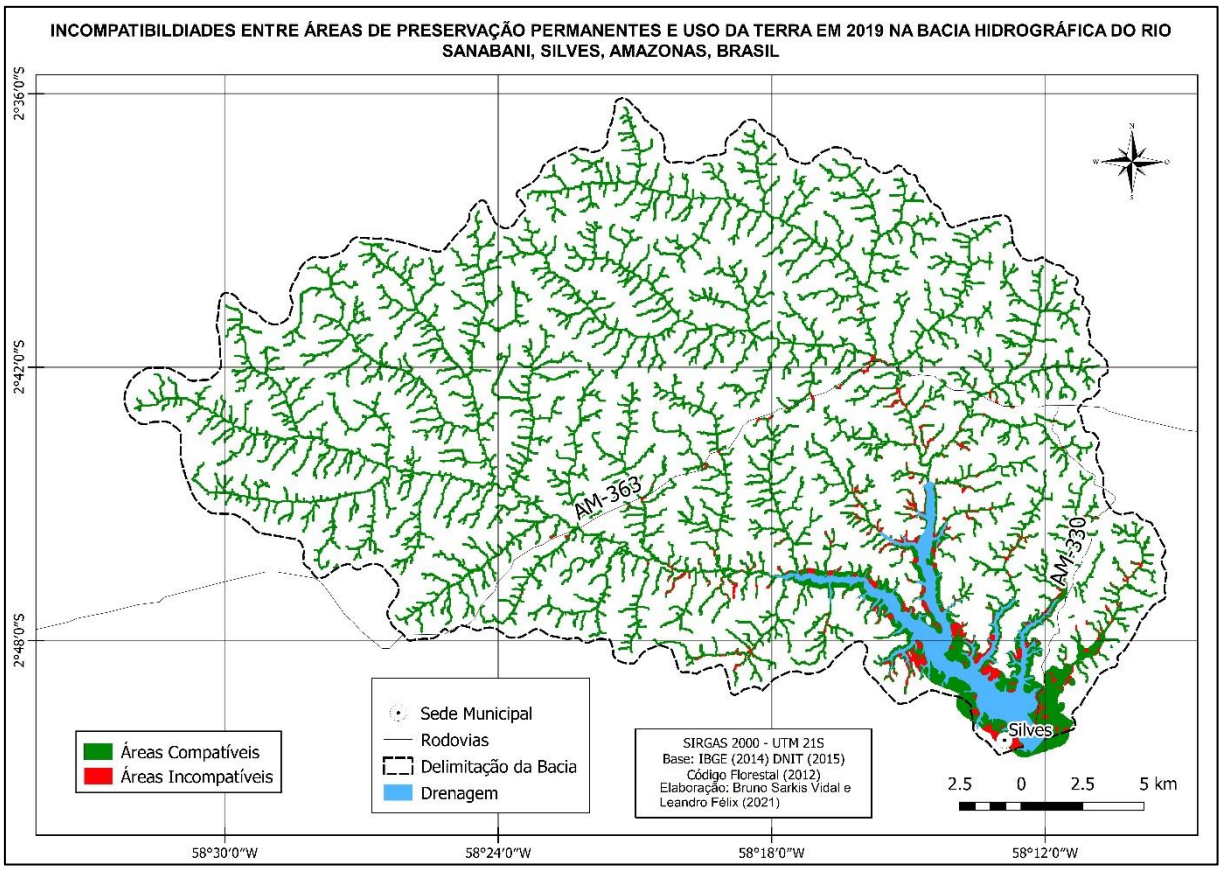
Elaboração: Leandro Felix, (2020).

A delimitação das áreas de compatibilidade e incompatibilidade em APP'S na bacia do rio Sanabani, foi realizada onde a ocupação agrícola, pecuária e urbana, apresentou-se inadequada com o que é previsto em lei (código florestal). A sobreposição de informações do uso da terra com as Áreas de Preservação Permanente possibilitou a identificação de áreas com incompatibilidades.

Na figura 21 e gráfico 06, observa-se que as áreas destinadas legalmente e identificadas como compatíveis, indicam que 99% das APP's estão preservados. Já as áreas

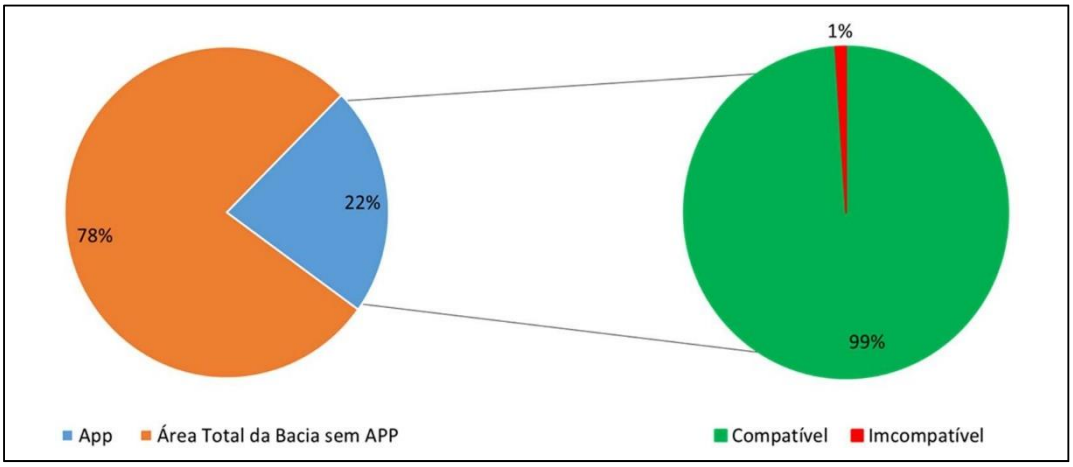
identificadas como incompatíveis são apenas 1%, estando localizadas principalmente na região sul e sudeste da bacia nas margens de rios e canais de drenagemde 50 metros a 500 metros em direção a sua foz e na sede municipal.

Figura 21: Incompatibilidade entre as Àreas de Preservação Permanentes e o uso da terra na bacia hidrográfica do rio Sanabani em 2019.



Elaboração: Leandro Felix, (2020).

Gráfico 6: Incompatibilidade de uso da terra nas Áreas Preservação Permanentes na Bacia Hidrográfica do Rio Sanabani.



Elaboração: Leandro Felix, (2020).

Os principais tipos de incompatibilidade identificadas bastante comuns na bacia do Sanabani é o desmatamento para atividades como a agricultura e a pecuária, que não respeitam o que é previsto em lei, em relação à preservação dessas áreas (Figura 22).

Figura 22: Incompatibilidade do uso da terra em APP's. Margens do rio Itapani.

Foto: Leandro Felix, (05/08/2020).

Nas áreas destinadas a agricultura, pode-se observar a prática agrícola em vertente com declividade bastante acentuada, com cultivo, e desmatamento para novas áreas de plantio (Figuras 23, **A** e **B**).

Figura 23: Incompatibilidade do uso da terra em APP's. (a) Desmatamento para cultivo da mandioca (b). Cultivo de mandioca em vertente com declividade acentuada no rio Itapani.

(a) **(B)**

Foto: Leandro Felix, (05/08/2020).

Outro problema observado nas APP's, diz respeito ao descarte de resíduos sólidos, que, segundo Alves (2020), os municípios do estado do Amazonas, em sua totalidade, não atendem o que preconiza a Política Nacional de Resíduos Sólidos através da lei nº 12.305/2010 e a Política Estadual de Resíduos Sólidos do Amazonas através da lei nº4.457/2017, quanto à disposição final de resíduos sólidos urbanos, portanto, nenhum município do estado do Amazonas possui aterro sanitário.

Diante disto, durante a pesquisa de campo, foi possível constatar que todos resíduos sólidos gerados na sede do município de Silves coletados pela prefeitura, são conduzidos e dispostos a céu aberto em uma área de preservação permanente localizada próximo a um fundo de vale com vertente acentuada, fora de qualquer norma estabelecida pela legislação vigente (Figura 24).

Figura 24: Disposição dos resíduos sólidos no lixão a céu aberto.

Foto: Leandro Felix, (05/08/2020).

No local de deposição dos resíduos sólidos, foram constatados alguns problemas ambientais, tais como: proliferação de vetores transmissores de doenças como ratos e moscas, ausência de redes de drenagem adequada para as águas pluviais, a queima e o aterro do lixo como estratégia para redução da quantidade dos resíduos contribuindo coma poluição do ar e a contaminação do subsolo. Ainda no local, observa-se que o mesmo não apresenta nenhum tipo de controle em relação quanto à entrada e saída de veículos ou de pessoas (Figura 25).

Figura 25: Local de entrada do lixão localizado na sede do município de Silves.

Foto: Leandro Felix, (05/08/2020).

Na área bacia hidrográfica do rio Sanabani, as áreas degradadas como o desmatamento e o solo exposto favorece não apenas os processos erosivos, como tambéma intensificação do escoamento superficial, aumento do transporte de sedimentos para os canais de drenagem podendo causar o assoreamento dos canais e determinadas porções da bacia. No que se refere ao lixo nas áreas de APP's, observa-se que o local não apresenta qualquer medida de controle e de proteção necessárias para tais irregularidades com intuito de zelar pelo meio ambiente e a saúde pública.

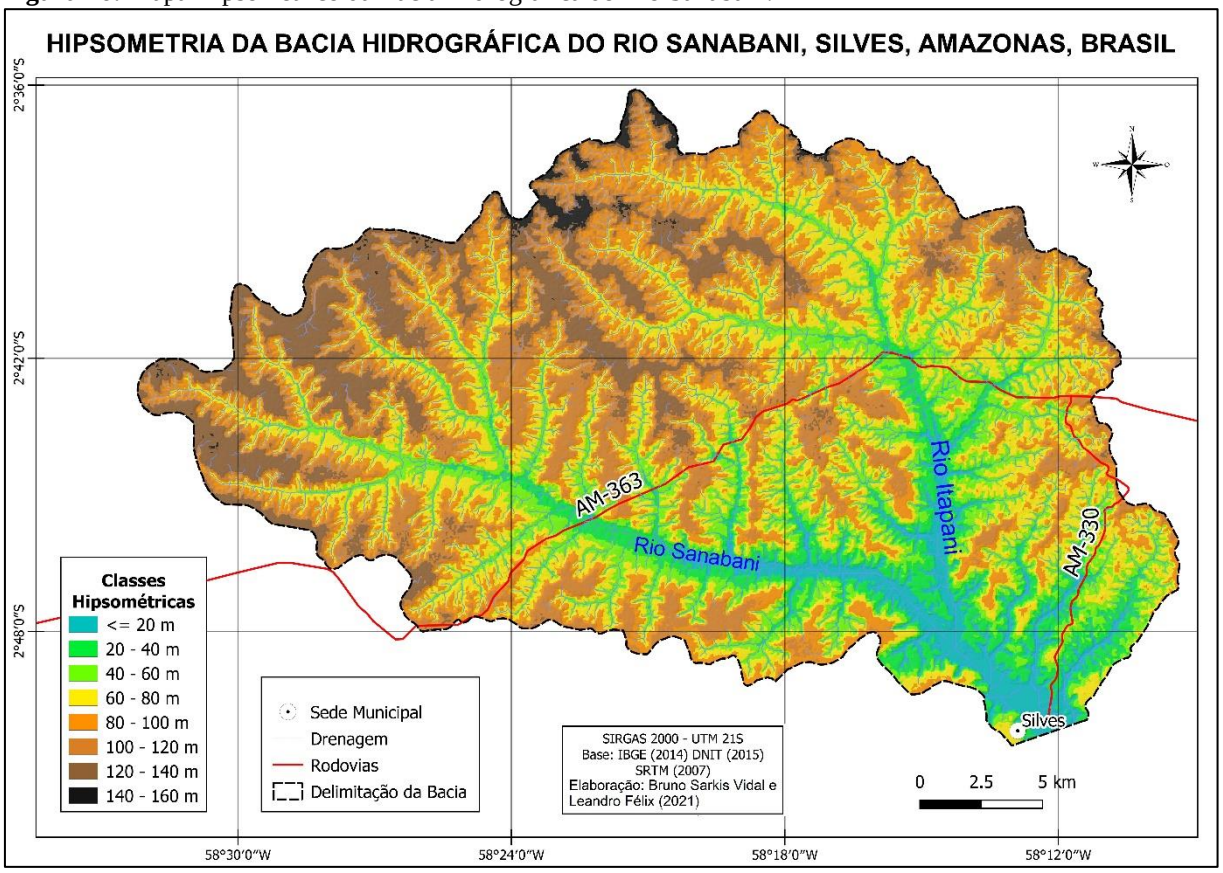
4.3. Hipsometria

A representação do relevo por meio de dados altimétricos é um importante elemento de análise, tendo em vista as informações quantitativas que representam (IBGE, 2009). Ainda segundo o IBGE, a hipsometria pode ser representada por meio de mapas temáticos como um importante instrumento para identificação de superfícies balizadas em níveis altimétricos previamente conhecidos.

A hipsometria da bacia do rio Sanabani está representada em 08 classes hipsométricas com equidistância de 20 metros, para uma análise mais detalhada do relevo, e os dados obtidos estão representados no mapa 26 e no Tabela 08, sendo dividida em classes, área (km^2) e em porcentagem (%).

Na Figura 26, está representada a Hipsometria da bacia hidrográfica do rio Sanabani, observa-se que a cotas altimétricas variam de 20 m (metros) na região sudeste onde encontra-se a foz da bacia, enquanto sua cota mais elevada observada é de 160 metros, estando a oeste e noroeste.

Figura 26: Mapa Hipsométrico da Bacia Hidrográfica do Rio Sanabani.



Elaboração: Leandro Felix, (2020).

Tabela 8: Classes Hipsométricas e seus valores em área (km2) e porcentagem (%) na bacia hidrográfica do Rio Sanabani.

Classes Hipsométricas em metros	Área em km²	Área em %
0 - 20	32	4,76
20 - 40	51	7,63
40 - 60	107	16,14
60 - 80	169	25,44
80 - 100	134	20,20
100 - 120	99	14,96
120 - 140	68	10,25
140 - 160	4	0,61

Fonte: EMBRAPA, 2006. TOPODATA, 2008. Elaboração: Leandro Felix, (2020).

Na bacia hidrográfica do Rio Sanabani, a classe hipsométrica que apresentou a maior extensão foi a de 60 a 80 metros, com uma área 169 km^2, representando 25,44% do total. A classe que apresentou a menor extensão foram as classes compreendidas entre 140 e 160 metros, localizada próxima no alto curso e das principais nascentes do rio Itapani, obtendo uma área total de 4 km^2, representando 0,61% da área total da bacia.

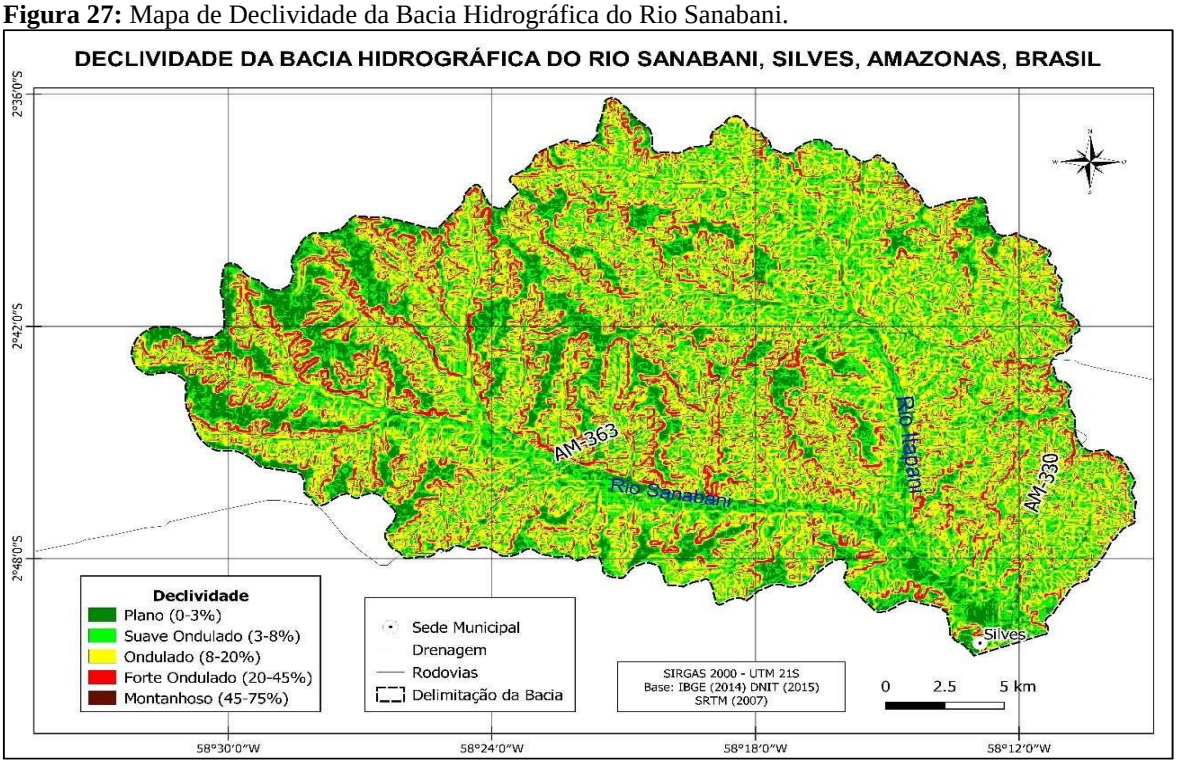
Já as áreas próximas dos leitos dos rios Sanabani e Itapani e seus afluentes, constatou-se cotasde até 20 metros com área de 32 km^2, representando 4,76% da área total da bacia. Em bacias hidrográficas as classes hipsométricas que apresentam maior altitude, tendem a apresentar maior energia e capacidade de transporte de matéria (SILVA NETO,2013).

4.4. Declividade

O termo declividade refere-se à inclinação do relevo em relação ao horizonte, a declividade possui relação direta com a velocidade de transformação da energia potencial em energia cinética, ou seja, com a velocidade das massas de água em movimento responsáveis pelo "runoff" (CREPANI *et al.* 2001).

O mapa de declividade da bacia hidrográfica do rio Sanabani encontra-se representado no mapa 27, sendo elaborado com intervalos de cinco classes representada em valores de acordo com a classificação de relevo proposta pela EMBRAPA (2006) que é de 0 a 3 % (plano), 3 a 8% (suave ondulado), 8 a 20% (ondulado), 20 a 45% (forte ondulado) e > 45% (Escarpado/Montanhoso) (Tabela 9).

Figura 27: Mapa de Declividade da Bacia Hidrográfica do Rio Sanabani.



Elaboração: Leandro Felix, (2020).

As classes com declividade de até 3% compreendem as áreas de planície com uma área total de 95,58 km^2, representando 14,52% da bacia do rio Sanabani, possuindo ainda grau de vulnerabilidade muito fraca. As declividades de 3 a 8% são a segunda classe derelevo que compreende maior representatividade, com as áreas de relevo suave ondulado (colinas), possuindo características como a de baixas elevações do terreno e topos arredondados, detém uma área total de 193,02 km^2, representando 29,33%, com grau de vulnerabilidade fraca.

Tabela 9: Classes de Declividade e Grau de Vulnerabilidade.

Declividade	Classes	Grau de Vulnerabilidade	Áreas emkm²	Área em %
0 - 3%	Plano	Muito Fraca	95,58	14,52
3 - 8%	Suave Ondulado	Fraca	193,02	29,33
8 - 20%	Ondulado	Moderada	286,39	43,52
20 - 45%	Forte Ondulado	Forte	81,77	12,43
45 - >75%	Escarpado/Montanhoso	Muito Forte	1,32	0,20
Total			658,07	100,00

Fonte: EMBRAPA, 2006. TOPODATA, 2008. Elaboração: Leandro Felix, (2020).

As áreas com declividade de 8 a 20%, com o relevo ondulado (morros e morrotes), são as classes de relevo que predominam na bacia hidrográfica do rio Sanabani, com uma área total de 286,39 km^2, representando 43,52% da bacia, normalmente correm ação generalizada do escoamento superficial dos solos.

As faixas de declividades entre 20 a 45% representam as classes de relevo forte ondulado que compreende uma área total de 81,77 km^2, representando 12,43% da bacia, com grau de vulnerabilidade forte. Segundo o IBGE (2009), nestas áreas há predomínio da morfogênese sobre a pedogênese, e são ambientes que se caracterizam como meios instáveis.

Por fim, a declividade que menos se apresentou na bacia, foi a declividade de 45 a 75%, com grau de vulnerabilidade muito forte, que foi notada apenas em uma área de 1,32 km², representando apenas 0,20%.

4.5. Formas do terreno

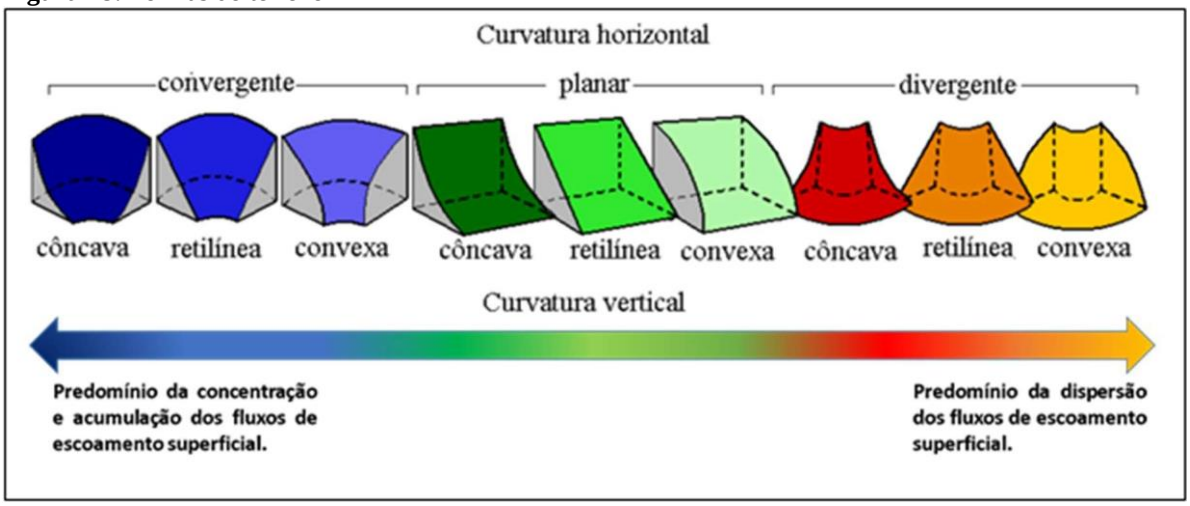
Segundo Valeriano (2008), as classes de curvaturas horizontais (convergente, planar ou divergente) e verticais (côncavo, retilíneo ou convexo) podem ser combinadas para fornecer indicação da forma do terreno.

Diante disto, a definição das formas de relevo passa pela análise das curvaturas horizontais e verticais, e em casos extremos de combinação de curvatura do terreno, os mesmos são representados pelas formas côncavo-convergente, onde apresentam máxima concentração e

acúmulo do escoamento, e pela forma convexa-divergente com máxima dispersão do escoamento (VALERIANO, 2008).

Silva Neto (2013), define que as formas mais vulneráveis a perdas de solo, são as classes com geometria que proporcionam à maior concentração e acúmulo de escoamento superficial (Figura 28).

Figura 28: Formas do terreno



Fonte: Valeriano (2008). Adaptado por: Silva Neto (2013).

Na bacia hidrográfica do rio Sanabani, a forma do terreno Côncavo-Convergente, Retilíneo-Convergente e Convexo-Convergente, representam às classes de maior vulnerabilidade aos processos erosivos mais intensos, essas classes foram verificadas em 40,8% da área estudada, com área total de 271 km^2 (Figura 29 e Quadro 8).

As formas de terreno planar-côncavo, planar-retilíneo e planar-convexo, foram observadas em 15,19% da área da estudada. Com um total de 101 km^2, essas classes intermediárias apresentam uma Vulnerabilidade Moderada.

Figura 29: Mapa de Formas do Terreno da Bacia Hidrográfica do Rio Sanabani.

Elaboração: Leandro Felix, (2020).

Quadro 8: Formas do terreno e os graus de vulnerabilidade.

Formas do Terreno	Vulnerabilidade	Área emkm²	Área em %
Convergente-Côncavo	Alta	162	24,34
Convergente-Retilíneo		53	7,97
Convergente-Convexo		56	8,49
Planar-Côncavo	Moderada	37	5,58
Planar-Retilíneo		28	4,15
Planar-Convexo		36	5,46
Divergente-Côncavo	Baixa	46	6,98
Divergente-Retilíneo		84	12,61
Divergente-Convexo		162	24,37
Total		664	100

Fonte: EMBRAPA, 2006. TOPODATA, 2008. Elaboração: Leandro Felix, (2020).

As formas de terrenos Divergente-Côncavo, Divergente-Retilíneo e Divergente Convexo, possuem uma vulnerabilidade baixa e representam 43,96% da bacia hidrográfica do rio Sanabani, com uma área total de 292 km^2. Essa classe caracteriza-se por apresentar formas do terreno onde o predomínio da dispersão dos fluxos de escoamento superficial apresenta baixa capacidade de transporte e de remoção das partículas do solo.

De acordo com Valeriano (2008a) e Silva Neto (2013), as formas de terreno constituem-se como uma variável essencialmente qualitativa e, a partir da sua geometria, são atribuídos efeitos que podem ser ordenados pela sua intensidade, em vista disso, sendo passivo de ponderação quanto aos valores de vulnerabilidade à perda de solos.

4.6. Vulnerabilidade do relevo

O mapa de Vulnerabilidade do Relevo da bacia hidrográfica do rio Sanabani foi elaborado a partir dos dados de hipsometria, declividade e formas do terreno. Assim, de acordo com Silva Neto (2013), a distinção dos parâmetros dessas variáveis nos permite uma análise associada para Vulnerabilidade do Relevo, no qual se estabelece uma escala de vulnerabilidade para perda de solos, para caracterizar os processos morfodinâmicos predominantes.

As classes de Vulnerabilidade do Relevo à perda de solos Muito Fraca e Fraca foram verificadas em 33,25%. Com 219 km^2 da área total da área estudada, esta classe é observada em classes hipsométricas entre 80 e 120 metros, com predomínio de formas do terreno convexo divergente e retilíneo divergente, apresentando ainda declividades de 3 a 8% (suave ondulado), favorecendo assim o predomínio da pedogênese. Segundo Tricart (1977), os processos mecânicos nesses meios atuam pouco e sempre de modo lento, estes ambientes são definidos como estáveis (Tabela 10).

Tabela 10: Vulnerabilidade do Relevo.

Grau de Vulnerabilidade	Processo Predominantes	Ecodinâmica (Tricart)	Área emkm²	Áreaem %
Muito Fraca	Pedogênese	Estáveis	47	7,13
Fraca			172	26,12
Moderada	Intermediário	Intergrade	221	33,59
Forte	Morfogênese	Muito Instáveis	199	30,19
Muito Forte			20	2,97

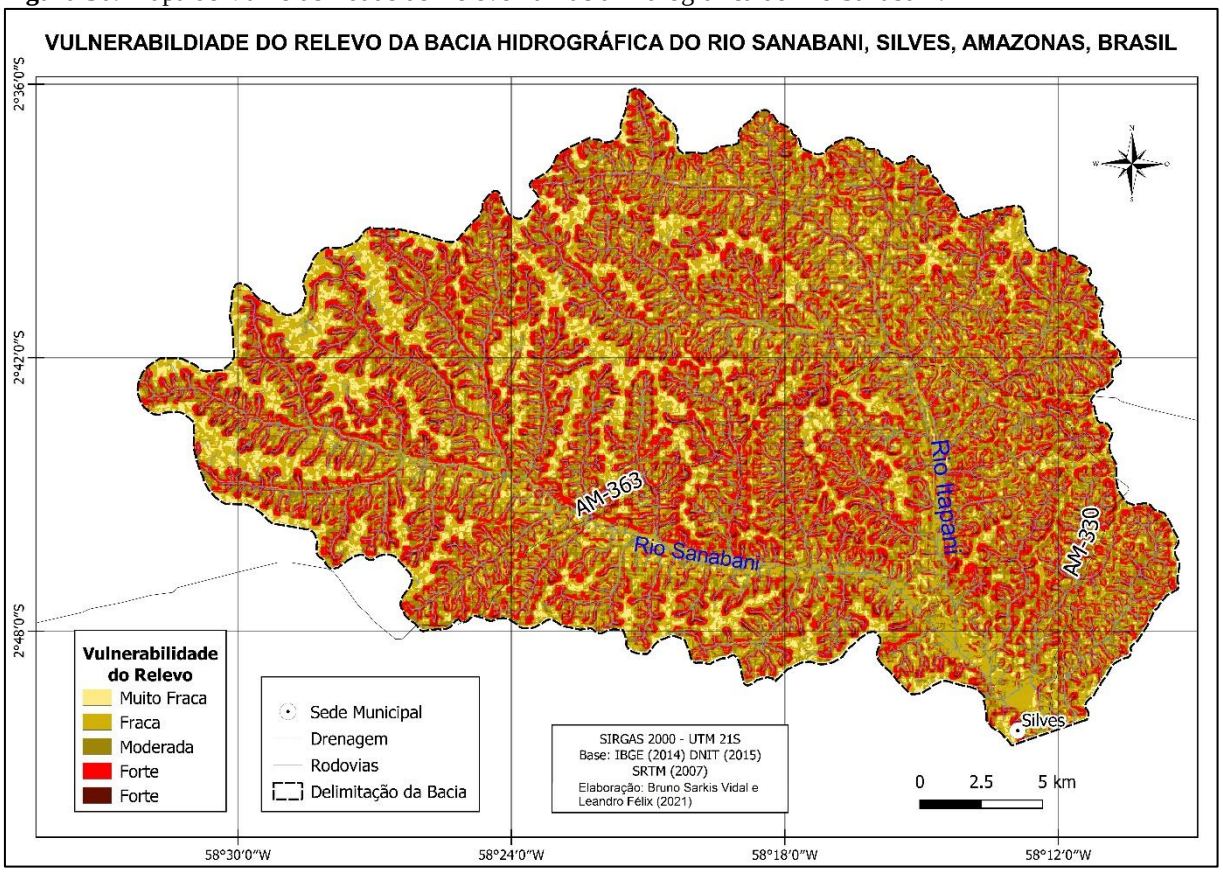
Elaboração: Leandro Felix, (2020).

O grau de vulnerabilidade moderada na bacia hidrográfica do rio Sanabani é a classe com maior proporção, sendo observado em 33,59% da área de estudo, com uma área total de 221 km^2, estando em sua maior porção em formas de terreno convexo- divergente e retilíneo-divergente (Figura 30).

Tricart (1977), define está morfodinâmica intermediária como Intergrade, transição, pois a mesma assegura a passagem gradual entre os meios estáveis e os meios fortemente instáveis. Ainda segundo o autor, o que caracteriza esses meios é a interferência permanente de morfogênese e pedogênes.

As classes Vulnerabilidade Forte e Muito Forte representaram, juntas, 33,16% da área da Bacia Hidrográfica do Rio Sanabani, observando-se formas de terreno côncavo e convergente, caracterizam-se por apresentar altitudes predominantemente acima de 120 metros, com declividade acima de 20% (forte ondulado). Estas áreas são caracterizadas como instáveis pois oferecem condições que predominam a morfogênese.

Figura 30: Mapa de Vulnerabilidade do Relevo na Bacia Hidrográfica do Rio Sanabani.



Elaboração: Leandro Felix, (2020).

4.7. Erosividade

A água da chuva gera erosão laminar por meio do impacto das gotas sobre a superfície do solo, com velocidade e energia variável e por meio da enxurrada. Esta ação erosiva depende

da distribuição pluviométrica no tempo e espaço, sendo aferida pela intensidade, portanto, o índice que expressa a capacidade de a chuva provocar erosão laminar é conhecido como erosividade (SALOMÃO, 2014).

Para estabelecer os índices de erosividade da bacia, foi seguida a proposta de Carvalho (1994), que estabeleceu as classes: Muito baixa, Baixa, Média, Alta e Muito Alta com os valores em MJ mm ha^{-1} h^{-1} ano^{-1}, e MJ mm ha^{-1} h^{-1} $mês^{-1}$, conforme a Tabela 11 a seguir.

Tabela 11: Classes de erosividade da chuva média anual e mensal.

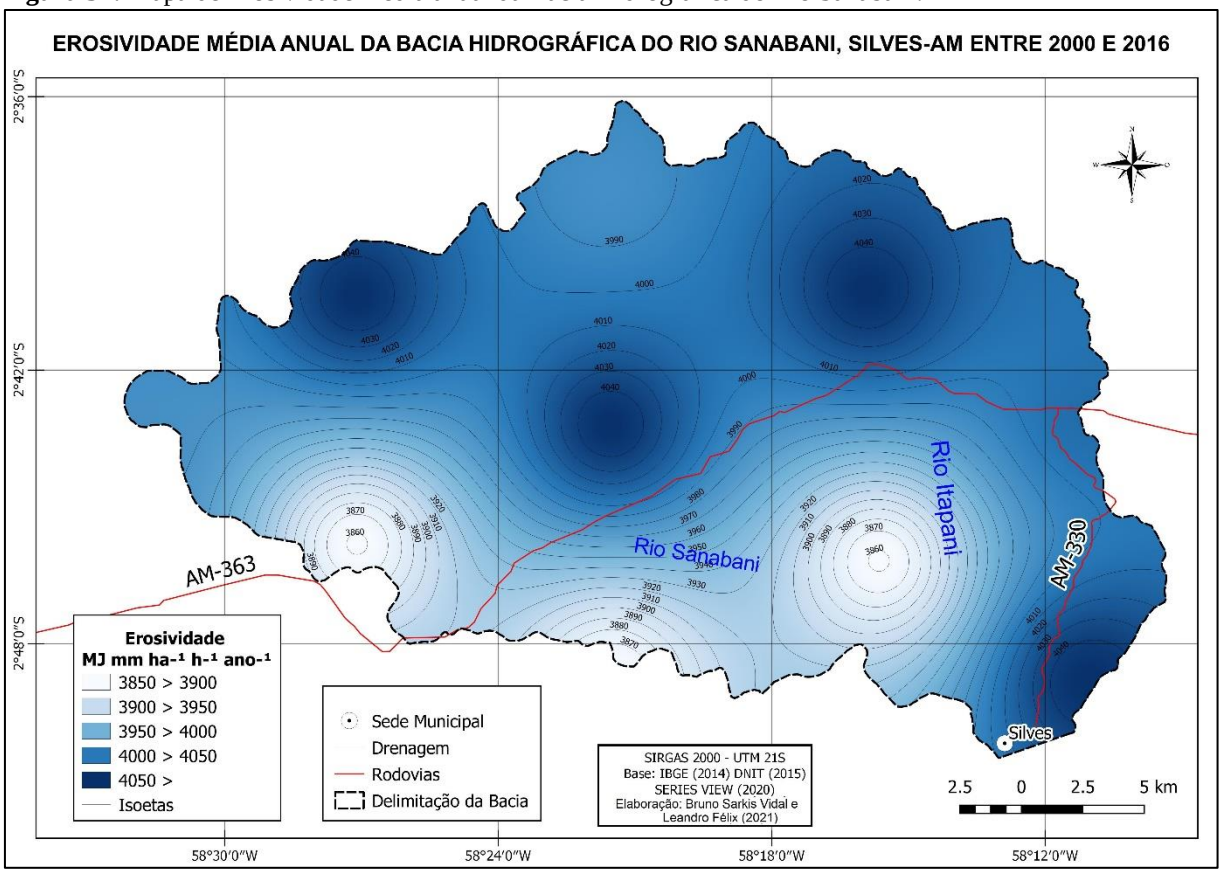
Classe de erosividade	Valores de erosividade	
	MJ mm ha^{-1} h^{-1} ano^{-1}	MJ mm ha^{-1} h^{-1} $mês^{-1}$
Muito baixa	R < 2.500	R < 250
Baixa	2.500 < R < 5.000	250 < R < 500
Média	5.000 < R < 7.000	500 < R < 700
Alta	7.000 < R < 10.000	700 < R < 1.000
Muito alta	R > 10.000	R > 1.000

Fonte: Carvalho, (1994). Adaptado de Siva Neto e Aleixo, (2020).

Os resultados da análise da erosividade das chuvas na bacia do rio Sanabani mostram que o valor anual encontrado para a área de estudo uma variação de 3.850 MJ mm ha^{-1} h^{-1} ano^{-1} a 4.050 MJ mm ha^{-1} h^{-1} ano^{-1}. Diante disto, verificou-se que a bacia possui uma classe de erosividade média (Figura 31).

No que tange à distribuição espacial da Erosividade Anual na bacia do rio Sanabani, os menores índices 3.850 a 3.900 MJ mm ha^{-1} h^{-1} ano^{-1}, foram observados ao sul e a sudoeste da bacia. As áreas com maior índice de erosividade foram observadas a norte e noroeste da bacia com valores acima de 4.050 MJ mm ha^{-1} h^{-1} ano^{-1}, (Figura 31). Segundo Crepani (2001), conclui-se que quanto maior a erosividade da chuva maior é a perda de solo das unidades de paisagem natural.

Figura 31: Mapa de Erosividade média anual da Bacia Hidrográfica do Rio Sanabani.



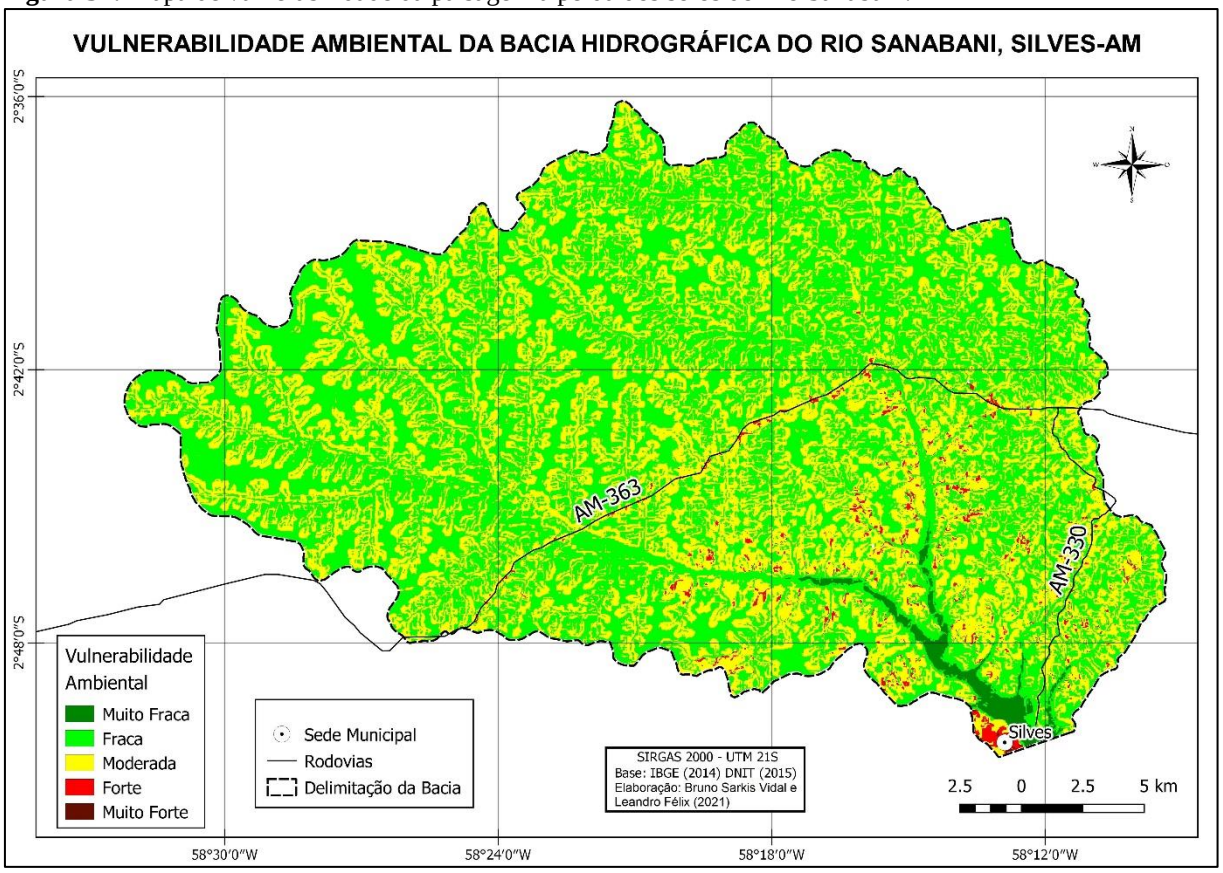
Elaboração: Leandro Felix, (2020).

4.8. Vulnerabilidade Ambiental

O mapa de Vulnerabilidade Ambiental da bacia hidrográfica do rio Sanabani (Figura 32) representa em síntese as unidades que constituem a paisagem, quantificando a vulnerabilidade à perda de solo. De acordo com análise dos resultados do mapa síntese, é possível afirmar que a área de estudo possui áreas com vulnerabilidade Muito Fraca, Fraca, Moderada, Forte e Muito Forte.

O mapeamento da Vulnerabilidade Ambiental nos permite identificar as áreas com maior possibilidade ao desencadeamento de processos erosivos, a partir de condicionantes da paisagem e suas relações, como, por exemplo, na área de estudo desta pesquisa, os tipos de Solos, a Geologia, o Clima, a Geomorfologia, o uso da terra e cobertura vegetal (SILVA NETO e ALEIXO, 2016).

Figura 32: Mapa de vulnerabilidade da paisagem à perda dos solos do Rio Sanabani.



Elaboração: Leandro Felix, (2020).

A análise das variáveis referente à vulnerabilidade Ambiental para a BaciaHidrográfica do rio Sanabani apresentou os seguintes aspectos:

- **Vulnerabilidade Muito Fraca:**

A classe de vulnerabilidade Muito Fraca, ocupa 1% da área da Bacia Hidrográficado Rio Sanabani, com cerca de 7,521 km^2 do total da bacia. Esta classe possui uma cota altimétrica de até 20 metros, estando localizada na região sul e sudeste mais próximo à foz da bacia.

Esta região caracteriza-se por áreas de planície de inundação (Figura 33), com rios e lagos, e uma cobertura vegetal primaria (densa) e secundária. Em relação aos tipos de uso nestas regiões, apesar da vulnerabilidade muito fraca, destacam-se os rios e lagos citados anteriormente, os mesmos possuem uma grande importância no fluxo de pessoas e nas atividades econômicas (pesca, fluxo de produtos de agropecuária, e extrativismo) (PETROBRAS, 2013).

Figura 33: Planície de inundação do rio Sanabani.

Foto: Leandro Felix, Em (05/08/2020).

Estas áreas possuem uma declividade com variação de 0 a 3% (plano) a 3 a 8 % (suave ondulado), com grau de vulnerabilidade natural do relevo de muito fraco a fraco, e índices de erosividade que apresentam valores que vão de 3850 a 3950 MJ mm ha-¹ ano-^{1}, possuem predominância de solos do tipo latossolo amarelo. A Litologia representada pela Formação Alter do Chão e as unidades geomorfológicas pelo Planalto Dissecado RioTrombetas-Rio Negro, talhadas em rochas sedimentares terciárias e representam praticamente todo território delimitado da bacia do rio Sanabani.

Esta classe é considerada um ambiente estável, onde prevalece a pedogênese, pois devido as suas condições naturais, cobertura vegetal densa, permanecem ainda praticamente inalteradas, apresentam um fraco risco ao desencadeamento dos processos erosivos.

- **Vulnerabilidade Fraca**

Os ambientes com vulnerabilidade Fraca representam a maior porção da área de estudo com 56% da área total da bacia, com cerca de 367,371 km^{2}. Esta classe caracteriza-se por apresentar relevo plano e suave ondulado, com declividade de 0 a 3%, e 3 a 8%, possuem ainda uma floresta ombrófila densa (vegetação primária) bastante preservada, com solos profundos, do tipo latossolos amarelos, e de boa drenagem. (Tabela 12 e Gráfico 07).

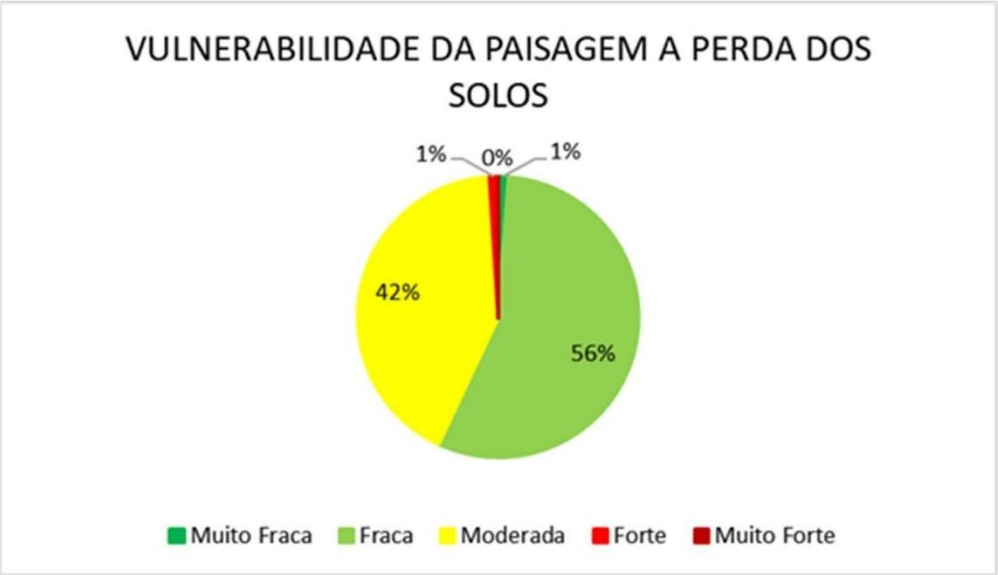
Os índices de uso da terra nestas áreas são bastante baixos, localizando-se na parte mais ao Sul da bacia. Esta área apresenta ainda um grau de Erosividade com variação de muito baixa a baixa de 3850 a 4000 MJ mm ha^{-1} h^{-1} ano^{-1}, com uma Litologia representada pela formação Alter do Chão.

Tabela 12: Vulnerabilidade da paisagem a perda dos solos.

Classes	Áreas em km	Áreas %
Muito fraca	7,521	1
Fraca	367,371	56
Moderada	276,312	42
Forte	6,514	1
Muito forte	0,12	0

Elaboração: Leandro Felix, (2020).

Gráfico 7: Vulnerabilidade da paisagem a perda dos solos.



Elaboração: Leandro Felix, (2020).

Esta classe apresenta características semelhantes à classe de Vulnerabilidade Muito Fraca, com um ambiente estável onde prevalece a pedogênese. No entanto, os processos de uso que ocorrem neste ambiente apresentam poucas alterações.

- **Vulnerabilidade Moderada:**

Verificou-se que a classe de Vulnerabilidade Moderada está presente em 42% da área total da bacia, o que equivale a 276,312 km^2, sendo a segunda classe com maior parcela da vulnerabilidade ambiental.

As principais características que explicam a ocorrência desta classe é a presença áreas onde predominam litologias relacionadas compartimentações sedimentares daFormação Alter do Chão, com superfícies tabulares e colinosas, e declividades onduladas (8-20%) a forte onduladas (20-45%), apresentando ainda um índice com baixo grau de erosividade menor que 4.000 MJ mm ha^{-1} ano $^{-1}$.

Os solos desta classe são do tipo Latossolos amarelos, caracterizados como solos profundos e de boa drenagem, com baixa fertilidade natural, com uma cobertura vegetal primária (densa) em grande parte de sua extensão, e secundária próximas as rodovias AM-363 e AM-330, e dos rios Itapani e Sanabani.

Outra característica desta classe é que a mesma está localizada, principalmente, próximo aos canais de drenagem da área de estudo. As áreas onde parte da cobertura vegetal encontra-se antropizada, se encontram na região que corresponde ao sul e sudeste da bacia, e ao longo das rodovias AM-363 e AM-330, seja por cultivo agrícola, pastagem ou pela ocupação urbana, tais fatores contribuem para uma intensificação de vulnerabilidade aos processos erosivos (Figura 34).

Figura 34: Áreas antropizadas na margem do rio Itapani.

Foto: Leandro Felix, (18/07/2019).

Esta classe de ambiente é considerada intergrade (intermediários), pois nela prevalece o equilíbrio entre a Pedogênese e a Morfogênese, já que o uso da terra se apresenta compatível com os condicionantes ambientais.

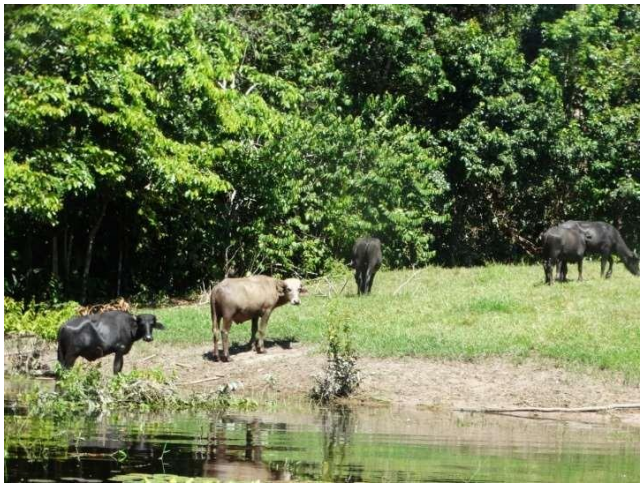
- **Vulnerabilidade forte:**

A classe com Vulnerabilidade Forte representa 1% da área da bacia do rio Sanabani, com um total de 6,514 km^2, estando localizadas principalmente na porção sul e sudeste da bacia, correspondendo a ambas as margens dos rios Itapani e Sanabani, a sede municipal de Silves, onde está concentrada a área com maior densidade demográfica, e ao longo de suas principais rodovias (AM-363 e AM-330).

Esta classe apresenta características similares à classe de Vulnerabilidade Muito Forte. As regiões com vulnerabilidade forte na bacia do rio Sanabani caracterizam-se por uma vegetação secundaria, onde há atividades da agricultura, extração de areia destina para área da construção civil, e principalmente para pastagens relacionas atividades da pecuária como a criação de gados (figura 35 a e b).

Figura 35: Margens do rio Sanabani. (a) Animais de grande porte (b) Extração mineral as margens do rio Sanabani.

(a) **(b)**



Fotos: Leandro Felix, (18/07/2019).

A classe forte de vulnerabilidade possui uma hipsometria com variações que vão de 20 até 120 metros, apresenta um baixo grau de erosividade com até 4.000 MJ mm ha^{-1} ano $^{-1}$, possui um relevo com classes de declividades planas, suave ondulado, ondulado e forte ondulado. Sua litologia é representada pela formação Alter do Chão que possui grande variedade de arenitos e argilitos (incluindo caulins) (Figura 36).

As margens dos rios Itapani e Sanabani apresentam áreas inaptas ao uso da terra, pois apresentam relevo forte ondulado e declividade acima de 20%. Segundo Silva e Rodrigues (2003), através do Zoneamento Agroecológico do Município de Silves, confirma que tais características limitam o seu aproveitamento agropecuário, portanto, há a necessidade dessas áreas serem devidamente preservadas.

Figura 36: Áreas de pastagens com solo exposto e Declividades acentuadas.

Foto: Leandro Felix, (05/08/2020).

Esta classe de vulnerabilidade ambiental é definida como um ambiente Instável, prevalecendo a morfogênese, pois representa as áreas que estão mais vulneráveis a provocar os processos erosivos, com menor intensidade quando comparada a classe de vulnerabilidade muito forte, potencializados por usos inadequados da terra.

- **Vulnerabilidade Muito Forte:**

A classe com Vulnerabilidade muito Forte apresentou uma área quase inexpressiva, porém, muito importante a ser destacada, nesta pesquisa. Esta classe representa 0,12 km^2 de área total da bacia, e está localizada em área urbana, local da sedemunicipal de Silves, onde há maior densidade demográfica do município (Figura 37).

Figura 37: Sede Municipal de Silves

Foto: Leandro Felix, (05/08/2020).

A classe, de Vulnerabilidade Muito forte, apresenta uma classe hipsométrica de 20 a 60 metros, sua unidade Geomorfológica é representada pela Planície Amazônica, constituída por depósitos sedimentares atuais ou sub atuais. Possui um relevo que apresenta formas talhadas em rochas sedimentares terciárias, juntamente com uma declividade suave ondulado a forte ondulado.

Apresenta um grau de erosividade maior que 4.000MJ mm ha-^{1} ano -^{1}, os solos desta classe são do tipo Neossolos Flúvicos, como já caracterizado anteriormente por Silva e Rodrigues (2003), estes solos são de baixa fertilidade natural, acidez elevada, apresentam textura bastante arenosa e a drenagem deficiente por inundações periódicas nos períodos chuvosos, sendo indicados para preservação ambiental ou pastagem natural.

Em relação à Litologia desta área, as mesmas são caracterizadas por Aluviões Holocênicas fazendo parte da Planície Amazônica, sendo que estes constituem conglomerados, arenitos e argilitos. As dinâmicas de uso e cobertura nestas áreas são mais intensas, apresentando regiões com solo exposto.

A área com Vulnerabilidade Muito forte caracteriza-se ainda por áreas onde há incompatibilidade com áreas de preservação permanente, onde foi verificado o descarte inadequado de resíduos sólidos, solo exposto, queimadas e expansão urbana em áreas de Preservação Permanente.

Tais fatores acabam levando as áreas de Preservação Permanente a perdas significativas, evidenciando assim um grau de vulnerabilidade muito forte, tornando ainda mais estas áreas protegidas por Lei, suscetíveis ao desenvolvimento de processos erosivos mais intensos (Figura 38).

Figura 38: Área suscetível a processos erosivos.

Foto: Leandro Felix, (Em 05/08/2020).

Por fim, os resultados caracterizados nesta classe de Vulnerabilidade Muito Forte são definidos como meios fortemente instáveis, prevalecendo a morfogênese, pois representa as áreas que estão mais vulneráveis a provocar os processos erosivos potencializados por ações antrópicas e usos inadequados da terra.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise dos processos de apropriação da natureza que, manifestados por meio dos diferentes tipos de uso da terra, identificados por meio do sensoriamento remoto, Sistemasde Informações Geográficas (SIG) e trabalhos de campo, permitiram a classificação, quantificação dos graus de vulnerabilidade ambiental, assim como as alterações causadas nas paisagens da bacia hidrográfica do rio Sanabani.

A análise temporo-espacial do uso da terra e cobertura vegetal da bacia hidrográfica do rio Sanabani, possibilitou a identificação da redução de vegetação primária que em 1985 era de 92%, para atuais 87% em 2019. Em comparação ao tempo de análise (1985 a 2019), a bacia do rio Sanabani vem apresentando, mesmo não sendo muito expressiva, uma redução de sua vegetação primária, concentrada principalmente às margens de suas rodovias e dos rios Itapani e Sanabani.

Na contemporaneidade, os tipos de uso na bacia são representados principalmente por atividades econômicas do setor primário, onde se destacam a agricultura com o cultivo da mandioca e a pecuária com a criação do gado, onde o município de Silves se destacacom a 26ª colocação em Bovinos do Amazonas por Efetivo do rebanho em cabeças.

Foram verificados, ainda, ocupação agrícola em áreas mais vulneráveis do relevo, e áreas de preservação permanente como encostas bastante íngremes. Já nas margens dos principais rios da bacia, o Itapani e Sanabani, há um intenso cultivo de pastagens destinadas à prática da pecuária.

As Áreas de Preservação Permanente compreendem 22% da área total da bacia, estes espaços estão destinados legalmente à proteção ambiental. Nestas áreas, observou-se apenas 1% de incompatibilidade, não estando assim de acordo com o Código Florestal de 2012. No entanto, apesar de ser quase inexpressivo, o mesmo evidencia áreas que são ocupadas principalmente por pastagens e pela agricultura, localizadas nas margens dos rios com declividades acentuadas e áreas urbanas.

Outro um ponto bastante crítico em relação à incompatibilidade em APPs, está atrelado ao destino ou à disposição inadequada dos resíduos sólidos. Tal situação não atende o que preconiza a Política Nacional de Resíduos Sólidos através da lei nº 12.305/2010 e a Política Estadualde Resíduos Sólidos do Amazonas através da lei nº4.457/2017, quanto à disposição finalde resíduos sólidos urbanos.

Esta disposição inadequada do lixo representa uma perda ambiental significativa, devido ao local não apresentar quaisquer medidas de controle e de proteção (solo, ar, água,vegetação) necessárias no combate há tais irregularidades. Assim, recomenda-se que poder público e órgãos competentes, tomem providencias a fim de minimizar a degradação das APPs, visando à qualidade ambiental, e a qualidade de vida de seus habitantes.

Os graus de Vulnerabilidade ambiental alcançados demonstram que as classes de Vulnerabilidade Muito Fraca e Fraca representam, juntos, um total de 57% do da bacia, ou seja, uma maior parte da área da bacia, estando, assim, em uma categoria morfodinâmica de estável.

A classe de vulnerabilidade Moderada, intermediária (intergrades), é observada em 42% da bacia, essa classe requer cuidado do ponto de vista da conservação e preservação ambiental, pois qualquer intensificação no uso da terra pode alterar os grausde Vulnerabilidade para um grau de maior instabilidade ou vulnerabilidade Forte e MuitoForte.

A classe de vulnerabilidade Muito Forte foi observada em 1% da área de estudo, porém muito importante para ser destacado nesta pesquisa, a fim de possam ser tomadas medidas para o controle ou a contenção aos processos de degradação destes ambientes.

A utilização da metodologia proposta por Crepani *et. al.* (2001), para determinar a vulnerabilidade da Ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Sanabani, possibilitou representar por meio de uma escala de Vulnerabilidade ambiental as inter-relações dos atributos físicos-ambientais e uso da terra.

Desta forma, considera-se que a inter-relação dos condicionantes, no que é relativo a definição da vulnerabilidade ambiental da bacia hidrográfica do rio Sanabani, possibilitou apontar que o fator uso da terra é uma variável relevante, por tratar da interação e apropriação da sociedade na natureza, evidenciada nos diferentes tipos de uso e ocupação da terra que, como consequência disto, podem levar a processos de degradação ambiental.

6. REFERÊNCIAS

ABREU, N.R.P. **Classificação de Unidades Ambientais na paisagem da Bacia Hidrográfica do Rio Sanabani, em Silves-Amazonas**. Orientador. Vieira, Antônio Fábio Sabbá Guimarães. 2016. 106 f.. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federaldo Amazonas, 2016.

AGRICULTURA. **Água: o recurso mais básico e ao mesmo tempo o maisindispensável.** 2014. Disponível em: <http://www.fao.org/zhc/detail- events/es/c/231226/>. Acesso em: 04 set. 2019.

ALBUQUERQUE, Albertina. **Amazônia Brasileira Ocidental: aspectos geográficos e históricos**. Manaus: Editora da *Universidade Federal* do *Amazonas* - EDUA, 1999, 132 p.

ALVES, Rodrigo Couto. **A (in)viabilidade de consórcios públicos intermunicipais para a gestão de resíduos sólidos no Amazonas**. Orientador Silva, Neliton Marques da. 2020. 102 f. Dissertação (Mestrado em Ciências do Ambiente e Sustentabilidade na Amazônia)- Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2020.

AQUINO, Afonso Rodrigues. **Vulnerabilidade ambiental**. São Paulo: Ed. Blucher, 2017. 112 p.

ARAÚJO, E.; Martins, H.; Barreto, P.; Lima, A. C. **Áreas protegidas da Amazônia legalcom mais alertas de desmatamento em 2012-2013**. Belém. Ed. IMAZON, 2013. p. 32.

BECKER, Fernando Gertum. **Aplicações de Sistemas de Informação Geográfica em Ecologia e Manejo de Bacias Hidrográficas**. In: Schiavetti, Alexandre; Camargo, Antônio F. M. (Org.). Conceitos de bacias hidrográficas: Teorias e Aplicações. Ilhéus: Editus, 2002. Cap. 4. p. 91-110.

BENINI, Sandra. **Bacias hidrográficas: Teorias e Aplicações**. Tupã Ed. Anap, 2018. Cap. 3. p. 73-86.

BERNARDES, Julia Adão; FERREIRA, Francisco Pontes de Miranda**. Sociedade e Natureza**. In: Cunha, Sandra Baptista da; Guerra, Antônio José Teixeira (Org.). A questão ambiental: Diferentes Abordagens. 8. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2012. Cap. 01. p. 17-42.

BERTRAND, G. 1972. **Paisagem e geografia física global.** Esboço Metodológico. *Série Caderno de Ciências da Terra*, nº 13, IG-USP.

BIOLAT, G. **Marxismo e meio ambiente**. Col. Ecologia e Sociedade. Lisboa, Ed. Seara Nova,1977. p. 82-92.

BOTELHO, R.G.M. **Planejamento ambiental em microbacia hidrográfica**. In: BRASIL. Agencia Nacional de Águas. Ministério do Desenvolvimento Regional (Org.). Água no mundo: Situação da Água no Mundo. Disponível em: <https://www.ana.gov.br/panorama-das-aguas/agua-no-mundo>. Acesso em: 04 out. 2019.

BRASIL**. Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012.** Novo Código Florestal. Brasília, DF: Senado, 2012. Disponível em:< http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm>. Acesso em 18 jun 2020.

BRAZ, Adalto Moreira. **Geotecnologias Aplicadas na Análise das Implicações entre o Uso,**

cobertura e manejo da terra e a qualidade das águas superficiais: Bacias Hidrográficas dos Córregos Lajeado Amarelo e Ribeirãozinho, Três Lagoas/MS. 2017. 292 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Geografia, Universidade Federal de MatoGrosso do Sul, Três Lagoas, 2017.

BRUNO, Ana Carla; Menezes, Thereza. A floresta e sociedade: tradição e cultura. In: HIGUCHI, Maria Inês Gasparetto; HIGUCHI, Niro (Ed.). **A floresta amazônica e suas múltiplas dimensões**: **Uma proposta de educação ambiental**. 2. ed. Manaus: Rev. e Amplitude 2012. Cap. 10. p. 287-310.

CÂMARA, G. **Anatomia de sistemas de informações geográficas: visão atual eperspectivas de evolução.** In: ASSAD, E., SANO, E., ed. Sistema de informações geográficas: aplicações na agricultura. Brasília, DF: Embrapa, 1993.

CÂMARA, G. et al. **Geoprocessamento: Teoria e Aplicações**. São José dos Campos: INPE, 2007.

CÂMARA, G.; Davis, C. E Monteiro, A. M. V. **Introdução à Ciência da Geoinformação**. São José dos Campos. INPE, 2001. 7- 41 P. Disponível em:< inpe.br/col/sid.inpe.br/sergio/2004/04.22.07.43/doc/publicacao.pdf>. Acesso em: 22 Jun 2019.

CAMPOS, D. C. **Dinâmica de uso e ocupação da terra na bacia hidrográfica do Arroio dos Pereiras em Irati – PR e sua influência na qualidade das águas superficiais**. 2008. 110 f. Dissertação (Mestrado em Gestão do Território) – UniversidadeEstadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2008.

CAMPOS, H. L. **Gestão de bacia hidrográfica: pressupostos básicos**. In: SÁ, A. J.; CORRÊA, A. C. B. Regionalização e analise regional: perspectivas e abordagens contemporâneas. Recife: Editora Universitária, 2006. p. 91-111.

CARVALHO, N. O. **Hidrossedimentologia Prática**. Rio de Janeiro: CPRM–Companhiade Pesquisa em Recursos Minerais. 1994.

CASSETI, V. **Ambiente e apropriação do relevo**. 2ª Ed. São Paulo: Contexto, 1995.

CAVALCANTI, A. Viadana, A. G. **Mapeamento da fragilidade ambiental são carlos/sp - utilizando ferramentas de geoprocessamento do monjolinho na bacia doribeirão**. 2006. 112 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Urbana, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2007.

CHISTOFOLLETI, A**. Modelagem de sistemas ambientais**. São Paulo: Edgard BlucherLtda, 1999.

CHORLEY, R. J. **Geomorphology and the general systems theory U.S**. Geol. Survey Prof. Paper, 500-B: 10p., 1962.

CHRISTOFOLETTI, A**. Geomorfologia**. S. Paulo: Editora Edgard Blucher Ltda, 1980.

CIDREIRA-NETO, Ivo Raposo Gonçalves; RODRIGUES, Gilberto Gonçalves. **Relação homem-natureza e os limites para o desenvolvimento sustentável. Movimentos sociais e dinâmicas espaciais**. Recife, v. 6, n. 2, p.142-156, dez. 2017.

COELHO. Netto, A. L. **Hidrologia na Interface com a Geomorfologia**. In Guerra, A.

COSTA, Franklin Roberto da. **Análise da Vulnerabilidade Ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Doce (RN)**. Natal, 2018. 244 f.: il. Tese (Doutorado) - UniversidadeFederal do Rio Grande do Norte. Centro de Biociências. Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente/PRODEMA.

COUTINHO, Alexandre Camargo et al. **Uso e cobertura da terra nas áreas desflorestadas da Amazônia Legal.** Belém: Embrapa: Inpe, 2013.

CREPANI, E. et al., **Sensoriamento remoto e geoprocessamento Aplicados ao zoneamento ecológico-econômico e ao ordenamento territorial.** São José dos Campos, INPE-8454-RPQ/722. 2001.

CREPANI, E.; Medeiros, J. S. De.; Azevedo, L. G.; Hernandez, P.; Florenzano, T. G.; Duarte, V. **Curso de Sensoriamento Remoto Aplicado ao Zoneamento Ecológico- Econômico**. São José dos Campos. INPE. 1996. . 19 p. Disponivel em:< http://sap.ccst.inpe.br/artigos/CrepaneEtAl.pdf> . Acesso em: 12 Mai 2019.

CREPANI, E; et al. **Zoneamento Ecológico-econômico**. In: FLORENZANO, Teresa G. (Org.) Geomorfologia: Conceitos e tecnologias atuais. São Paulo, Oficina de Textos, 2008. p. 285 – 318.

CREPANI, Edison; MEDEIROS, José Simeão; HERNANDEZ FILHO, Pedro; FLORENZANO, Teresa Galloti; DUARTE, Valdete; BARBOSA, Cláudio Clemente Faria. **Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento Aplicados ao Zoneamento Ecológico-Econômico e ao Ordenamento Territorial**. INPE, 8454-RPQ/722, São José dos Campos, junho de 2001.

CUNHA, Sandra Baptista da; GUERRA, Antônio José Teixeira. **Degradação Ambienta**l. In: CUNHA, Sandra Baptista da; GUERRA, Antônio José Teixeira (Org.). 7.Ed. Rio de janeiro: Bertrand Brasil, 2009. Cap. 7. P. 337-379.

DANTAS, Marcelo Eduardo; MAIA, Maria Adelaide Mansini. **Compartimentação Geomorfológica**. Geodiversidade do Estado do Amazonas. CPRM – Serviço Geológico do Brasil. Manaus, 2010. cap. 3, p. 27-44. Disponível em:< http://rigeo.cprm.gov.br/xmlui/handle/doc/16624>. Acesso em: 18 Jun /2020.

de Uso da Terra. Rio de Janeiro: IBGE. Manuais Técnicos em Geociências, 2ª Edição, número 7, 2006.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação dos solos**. 2ª Ed. Rio de Janeiro:EMBRAPA, 2006.

ESTEVES, F. A. **Fundamentos de limnologia**. 3. Ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2011.

Estudos Ambientais, 2016. p. 1 - 9.

FARIA, Ivani Ferreira de. **Gestão territorial e Mapeamento participativo na Reserva de Desenvolvimento Sustentável (RDS) de Saracá Piranga/Silves-AM.** In: vi seminário latino-

americano de geografia física II seminário ibero-americano de geografia física, 6., 2010, Coimbra. Expansão e democratização das novas tecnologias em Geografia Física: aplicações emergentes. Coimbra: Universidade de Coimbra, 2010.

FEARNSIDE, P. M. **Desmatamento na Amazônia brasileira: história, índices e conseqüências**. *Megadi- versidad* 3, 2005. 15 p.

FELDES, Leopoldo p**. O homem, a agricultura e a história / Lajeado**: Ed. Univates, 2018.

FERREIRA, Sávio José Figueiras, Higuchi, Maria Inês gasparetto. **A floresta amazônicae suas múltiplas dimensões: Uma proposta de educação ambiental**. 2. ed. Manaus: Fapeam, 2012. Cap. 5. p. 123-151.

FITZ, Paulo Roberto. **Geoprocessamento sem complicação.** São Paulo: Oficina deTextos, 2008.

FLORENZANO, Teresa Gallotti (Org.). **Geomorfologia: conceitos e tecnologiasatuais**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008. Cap. 10. p. 285-318.

FLORENZANO, Teresa Gallotti. **Iniciação em Sensoriamento Remoto**. 3. ed. SãoPaulo: Oficina de Textos, 2011.

FONSECA, E. **Meio ambiente e contas nacionais: a experiência internacional. Contabilização econômica do meio ambiente**. São Paulo: Governo do Estado de São Paulo, 1992.

GIGLIOTTI Eduardo; Pinho Patrícia. **Dos rios para as estradas: uma análise da mudança de uso e cobertura da terra num contexto amazônico rural**. Espaço & Geografia,Vol.18, 2015. Disponivel em:< http://www.lsie.unb.br/espacoegeografia/index.php/espacoegeografia/article/download/ 348/228>. Acesso em 27 Mai 2019.

GIGLIOTTI, Eduardo da Silva**. Explorando a gestão compartilhada dos recursos naturais: O caso dos acordos de pesca de Silves-AM**. São José dos Campos: INPE, 2015. Tese (Doutorado em Ciência do Sistema Terrestre) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2015.

GOMES, Horieste. **A Questão Ambiental: Idealismo e Realismo Ecológico**. In: VESENTINI, José William (Ed.). Geografia e Questão ambiental. São Paulo: Marco Zero, 1988. Cap. 3. p. 33-54.

GUERRA, A. J. T. ; **Erosão e Conservação dos Solos: conceitos, temas e aplicações**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999. Cap. 08, p. 269-300.

GUERRA, A. J. T. **O início do processo erosivo**. In: GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S.; BOTELHO, R. G. M. (Org.). Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas eaplicações. Ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2010. p. 15-55.

GUERRA, A. T. **Dicionário Geológico-Geomorfológico**. Rio de Janeiro: IBGE, 1980.

GUERRA, Antônio J. T. et al. **Geomorfologia ambiental**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2006. 192 p.

HAMMES, Valéria Sucena. **Efeitos da diversidade e da complexidade de uso eocupação do espaço geográfico.** In: HAMMES, Valéria Sucena. Julgar - percepção do impacto ambiental. 4. ed. São Paulo: Globo, 2004. p. 35-39.

HIGUCHI, Maria Inês Gasparetto; HIGUCHI, Niro. **A floresta amazônica e suas múltiplas dimensões**: **uma proposta de educação ambiental**. 2. ed. Manaus, 2012. 424p.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2010. **Estado Do Amazonas Pedologia**: Mapa Exploratório dos Solos. 1: 1.800.000. Brasil: IBGE.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual técnico de geomorfologia. Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais**. – 2. ed. - Rio de Janeiro: IBGE, 2009. 175 p.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual técnico de uso da terra. Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais**. – 3. ed. - Rio de Janeiro: IBGE, 2013. 171 p.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual técnico de Pedologia. Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais**. – 3. ed. - Rio de Janeiro: IBGE, 2015. 430 p.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual técnico de vegetação brasileira. Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais**. – 2. ed. - Rio de Janeiro: IBGE, 2012. 271 p.

J. T. e Cunha, S. B. Editora Bertrand, Rio de Janeiro, 1995. 2. Edição. p. 93-148.

JOÃO Silva, Tarcísio Rodrigues. **Zoneamento agroecológico do Município de Silves –AM**. - Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2003. 39p.

LEFF, E**. Epistemologia ambiental**. Tradução: Sandra Valenzuela. Revisão técnica: Paulo Freire Vieira. 4. ed. São Paulo: Cortez, 2007.

LEOPOLDO, P.R.; Chaves, J.G.; Franken, W.K. 1993. **Orçamentos de energia solar em ecossistemas da Amazônia Central: uma comparação entre florestas naturais acabar com áreas de solo descoberto**. Ecologia e Manejo Florestal. 59: 313-328.

LIMA, Geisiane Aparecida de et al. **Bacia hidrográfica como unidade de planejamento e gestão: estudo de caso ribeirão Isidoro. In: VII congresso brasileiro de gestão ambiental**, 7., 2016, Campina Grande. Anais Campina Grande: Instituto Brasileiro de

LOLLO, José Augusto de et al. **Mudanças de uso e cobertura da terra e degradação ambiental em bacias hidrográficas**. In: Américo-pinheiro, Juliana Heloisa Pinê;

LOMBARDI Neto, F.; Moldenhauer, W. C. **Erosividade da chuva: sua distribuição e relação com perdas de solo em Campinas, SP**. Bragantia, Campinas, v.51, n.2, p. 189-196, 1992. Disponivel em:< https://doi.org/10.1590/S0006-87051992000200009>. Acesso em:12 Fev 2020.

LOPES, D. **O Desenvolvimento Insustentável: Capitalismo e Natureza**. III Simpósio Mineiro de Assistentes Sociais, 2011.

LOPES, EYMAR. **Spring básico**: Tutorial 10 aulas -Spring 4.2 (Versão Windows). Revisão: Hilcéa Santos Ferreira. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - , Setembro de 2005.

LOUREIRO, Hugo Alves Soares; Ferreira, Stella Mendes. **O papel das geotecnologias no estudo de feições erosivas e de movimentos de massa no Brasil**. In: GUERRA, ANTÔNIO José Teixeira; JORGE, Maria do Carmo Oliveira. **Processos erosivos e recuperação de áreas degradadas**. São Paulo: Oficina de Textos, 2013. Cap. 4. p. 95-122.

MACHADO, Pedro Jose de Oliveira; Torres, Fillipe Tamiozzo Pereira. **Introdução à Hidrogeografia**. São Paulo: Cengage Learning, 2012. (Textos básicos de geografia).

MALVEIRA, willian. **Economia & Horizontes da Amazônia**. Manaus: editora: valer. 2009. 114p.

MANOELA, Sacchis Lopes; DEJANIRA, Luderitz Saldanha. **Análise de vulnerabilidade natural à erosão como Subsídio ao planejamento ambiental do oesteda bacia Hidrográfica do Camaquã – rs**. Revista Brasileira de Cartografia, Rio de Janeiro, N° 68/9, p. 1689-1708, Out/2016.

MARIA Cléa Brito de Figueiredo et al. **Análise da vulnerabilidade ambiental Fortaleza**: Embrapa Agroindústria Tropical, 2010. 47 p. Documentos Embrapa Agroindústria Tropical.

MARIANO, Z.F.; Scopel, I.; Peixinho, D.M.; Souza, M.B. **A Relação Homem-Naturezae os Discursos Ambientais.** Revista do Departamento de Geografia, v.22, p.158-170, 2011. Considerações sobre o conceito de paisagem. Raega: o espaço geográfico em análise, Curitiba, n. 8, p.83-91, jun. 2004.

MAXIMIANO, Liz Abad. **Considerações sobre o conceito de paisagem**. R. RA´E GA, Curitiba, n. 8, p. 83-91, 2004. Editora UFPR.

MEDEIROS, J. S. **Bancos de Dados Geográficos e Redes Neurais Artificiais: Tecnologias de Apoio à Gestão de Território**. Tese de Doutoramento em ComputaçãoAplicada. USP - Geografia, 1999.

MEDEIROS, José Simeão De; CÂMARA, Gilberto. **Geoprocessamento para projetos ambientais**. In: CÂMARA, Gilberto; DAVIS, Clodoveu; MONTEIRO, Antônio MiguelVieira (Org.). Introdução à Ciência da Geoinformação. São Jose dos Campos: Inpe, 2001.p. 289-320.

MELLO FILHO, J. A. de. **Qualidade de vida na região da Tijuca, RJ, por geoprocessamento**. 288 f. 2003. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade Federaldo Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

MENDONÇA, F. **Geografia socioambiental.** In*:* revista terra livre, n 16, p. 113-132, 1º semestre, 2001.

MENDONÇA, Francisco de Assis. **Geografia e meio ambiente**. 9. ed. São Paulo:Editora Contexto, 2014.

MENDONÇA, Ricardo Abad Meireles de et al. **Uso das geotecnologias para gestão ambiental: Experiências na Amazônia Meridional.** Cuiabá: Instituto Centro de Vida, 2011.

MIGUEL, A. E. et al. **Análise do uso da terra e cobertura vegetal na bacia do Ribeirãodo**

Meio, Brasilândia/MS. Revista Brasileira de Geografia Física, v. 5, n. 5, p. 1088- 1098, 2012.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). **Caderno da Região Hidrográfica Amazônica**. Secretaria de Recursos Hídricos. – Brasília, 2006.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). **Caderno setorial de recursos hídricos**: agropecuária. Brasília, DF: SRH/MMA, 2006.

MORAES, Maria Eugênia Bruck de. **Por que estudar bacias hidrográficas**. In: MORAES, Maria Eugênia Bruck de; LORANDI, Reinaldo. Métodos e técnicas depesquisa em bacias hidrográficas. Ilhéus, Bahia: Editus, 2016. p. 9-14.

MORAES, Maria Eugênia Bruck de; LORANDI, Reinaldo. **Métodos e técnicas de pesquisa em bacias hidrográficas**. Ilhéus: Editus, 2016.

MOREIRA, A. M. **Estudo comparativo do uso da terra em unidades de produção familiar no Nordeste**. 2008. 87 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) – Universidade Federal do Pará, Belém, 2008.

MOREIRA, F. M. S.; CARES, J. E.; ZANETTI, R.; STUMER, S. L. (Ed). **O ecossistema solo: componentes, relações ecológicas e efeitos na produção vegetal**. Lavras: UFLA,2013. Cap. 2, p. 32-43.

NASCIMENTO Dilermando Alves do; MAURO Claudio Antônio de; GARCIA Maria das Graças Lobato. **Geomorfologia da Folha SA.21-Santarém**. Departamento Nacional da Produção Mineral. Projeto Radambrasil. Folha SA.21-Santarém. Geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. Levantamento de Recursos Naturais. Rio de Janeiro: MME/DNPM, 1978. cap. 2, p. 131-198. Disponivel em:< https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv24027.pdf>. Acesso em 12 Jun 2019.

NAVEH, Z.; LIEBERMAN, A. S. Ecologia de Landscap: **Teoria e Aplicação**. NovaYork, Spring Verlag 1989. 356 p. Série Gestão Ambiental.

NAVES, J.G.P. & BERNARDES, M.B.J**. A formação histórica homem/ natureza e sua importância no enfrentamento da questão ambiental**. Geosul, Florianópolis, v. 29, n.57, p 7-26, jan./jun. 2014.

NELSON, REIS. **Geologia e Recursos Minerais do Estado do Amazonas**. Manaus:CPRM – Serviço Geológico do Brasil, 2006.125p.

OKAWA, Cristhiane Michiko Passos; POLETO, Cristiano (Org.). **Gerenciamento de recursos hídricos**. In: POLETO, Cristiano (Org.). Bacias hidrográficas e recursos hídricos. Rio de janeiro: interciência, 2014. Cap. 1. p. 1-25.

PETROBRAS (BRASIL). **Usina Termelétrica. Azulão Silves/AM. RIMA**: Relatório de Impacto Ambiental. Petrobras, 2013. 104 p.

PIRES, José Salatiel Rodrigues et al. **A Utilização do Conceito de Bacia Hidrográficapara a Conservação dos Recursos Naturais**. In: Schiavetti, Alexandre; Camargo, Antônio Fernando Monteiro. Conceitos de bacias hidrográficas: Teorias e Aplicações. Ilhéus, Bahia: Editus, 2002. p. 17-36.

PONS, N. A. D.; PEJON, O. J. **Aplicação do SIG em estudos de degradação ambiental: o caso de São Carlos (SP)**. *Revista Brasileira de Geociências*, São Paulo, v.38, n.2, p. 295-302, 2008.

RAPP LUCIA; PY-DANIEL . **Biodiversidade do médio Madeira: bases científicas para propostas de conservação**. Manaus: INPA; [Brasília]: MMA: MCT, 2007. 244 p. Série Biodiversidade ; n. 29. Disponivel em:< https://docplayer.com.br/9765893-Biodiversidade-do-medio-madeira-bases-cientificas-para-propostas-de- conservacao.html>. Acesso em 04 Dez 2020.

REBELLO, Adoréa. **A Erosão no Contexto das Bacias Hidrográficas**. In: REBELLO,Adoréa (Org.). Contribuições teórico-metodológicas da Geografia Física. Manaus: Editora da Universidade Federal do Amazonas, 2010. p. 9-39.

REIS, Nelson Joaquim; ALMEIDA, Marcelo Esteves**. Arcabouço Geológico. Arcabouço Geológico.** In: MAIA, Maria Adelaide Mansini; MARMOS, José Luiz. Geodiversidade do Estado do Amazonas. CPRM – Serviço Geológico do Brasil. Manaus,2010. cap. 2, p. 15-26.

REIS, Nelson Joaquim; ALMEIDA, Marcelo Esteves; RIKER, Silvio Lopes; FERREIRA, Amaro Luiz. **Geologia e recursos minerais do Estado do Amazonas**. CPRM – Serviço Geológico do Brasil. Manaus, 2006. 153 p.

RIBEIRO, Sylvia Aranha de Oliveira. **Vida e Morte no Amazonas**. São Paulo: editora Loyola, 1991.

RODRIGUEZ, José Manuel Mateo; SILVA, Edson Vicente da; LEAL, Antônio Cezar. **Planejamento ambiental em bacias hidrográficas**. In: SILVA, Edson Vicente da; RODRIGUEZ, José Manuel Mateo; MEIRELES, Antonio Jeovah de Andrade (Org.). PLANEJAMENTO AMBIENTAL E BACIAS HIDROGRÁFICAS. Fortaleza: Ufc, 2011. p. 29-42.

ROSA, Roberto. **Introdução ao Sensoriamento Remoto**. 7. ed. Uberlândia: Edufu,2009. 260 p.

ROSENDAHL, Z.; CORRÊA, R. (org). **Paisagem, Imaginário e Espaço**. Rio de Janeiro: Universidade Estadual do Rio de Janeiro, 2001.

ROSS, J. L. S. **Análises e Sínteses na Abordagem Geográfica do Planejamento Ambiental** . Revista do Departamento de Geografia (USP), São Paulo, v. 09, 1995.

ROSS, J. L. S. **Ecogeografia do Brasil: Subsídios para planejamento ambiental**. SãoPaulo: Oficina de Textos. 2006. 208 p.

ROSS, J. L. S. **Recursos Hídricos e as Bacias Hidrográficas : Ancoras do Planejamento e Gestão Ambiental** . Revista do Departamento de Geografia (USP), SãoPaulo, v. 12, 1998.

ROSS, Jurandir Luciano Sanches**.** Ecogeografia do Brasil: **Subsídios Para Planejamento Ambiental**. São Paulo: Oficina de Textos, 2006.

ROSS, Jurandyr Luciano Sanches. **Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados**. Revista do Departamento de Geografia (USP), São Paulo, v. 08,1994. Disponível em:<http://www.revistas.usp.br/rdg/article/viewFile/47327/51063>. Acesso

em: 1 Mai 2021.

ROSS, Jurandyr Luciano Sanches. **Geomorfologia: Ambiente e Planejamento**. 9. ed. São Paulo: Editora Contexto, 2017.

SÁBER, Aziz Nacib Ab'**. Os Domínios de Natureza no Brasil**: **Potencialidades paisagísticas**. 7. ed. São Paulo: Ateliê Editorial, 2003.

SALES, Janaína Paolucci**. Agricultura Familiar de Várzea: Componentes do Sistemade Produção Pecuária**. 2005. 139 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciências Biológicas, Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2005.

SALES, Janaína Paolucci. **Agricultura familiar de várzea: componentes do sistema de produção pecuária**. Janaína Paolucci Sales. – Manaus, 2005. 139p.: il. Dissertação– INPA/UFAM.

SALOMÃO, Fernando Ximenes de Tavares. **Controle e prevenção dos processoserosivos**. In: GUERRA, Antônio José Teixeira; SILVA, A. S. S.; BOTELHO, R. G. M. (Orgs). Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações. 9ª ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999. p. 229-267.

SANTANA, Rafaela Ferreira de. **Geoarqueologia dos sítios pontão e Santa Helena naregião de Silves-am.** 2018. Dissertação de mestrado em Geociências geologia ambiental(Universidade Federal do Amazonas). 113f.

SANTOS, Alexandre, PELUZIO Telma; SAITO Nathália . **SPRING 5.1.2 : passo a passo : aplicações práticas** /. – Alegre, ES : CAUFES, 2010. 153 p.

SANTOS, Boaventura de Sousa. **Ciência e Senso comum. Introdução a uma ciência Pós-moderna**. Porto: Litografia. Brito, 1989.

SANTOS, D. B. O. **Aplicação da Rusle a uma pequena bacia hidrográfica daAmazônia**. 2013. 82 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Pará, Belém, 2013.

SANTOS, Humberto Gonçalves dos et al. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília, DF: Embrapa, 2018.

SANTOS, Joaquim dos et al. **Amazônia: características e potencialidades**. In: HIGUCHI, Maria Inês Gasparetto; HIGUCHI, Niro (Org.). A floresta amazônica e suas múltiplas dimensões: Uma proposta de educação ambiental. 2. ed. Manaus: Fapeam, 2012. Cap. 1. p. 13-39.

SANTOS, M. A **Natureza do Espaço. Técnica e Tempo. Razão e Emoção**. 2º Edição.São Paulo: Editora Hucitec, 1997, 308p.

SANTOS, M. M. C. **Análise geomorfológica da região entre os municípios deItacoatiara, Silves e Itapiranga, nordeste do Estado do Amazonas**. Dissertação (Mestrado em Geociências) Instituto de Ciências Exatas, Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2006.

SANTOS, Milton. **Metamorfoses do espaço habitado**. São Paulo: Hucitec, 1998. p.61.

SCHIAVETTI, Alexandre; CAMARGO, Antônio Fernando Monteiro. **Conceitos debacias hidrográficas**: Teorias e Aplicações. Ilhéus, Bahia: Editus, 2002. 293 p.

SENHORAS, Elói Martins; MOREIRA, Fabiano; VITTE, Claudete de Castro Silva. **A agenda exploratória de recursos naturais na América do Sul: da empiria à teorização geoestratégica de assimetrias nas relações internacionais**. 2009. Disponível em: http://works.bepress.com/cgi/viewcontent.cgi?article=1122&context=eloi. Acesso em:04 out. 2019.

SILVA NETO J. C. A.; ALEIXO N. C. **Análise temporal da vulnerabilidade da paisagem à perda dos solos na bacia hidrográfica do rio salobra-serra da bodoquena, mato grosso do sul**. Revista Formação. v. 2, n. 23, p.252-270, 2016.

SILVA NETO João Cândido André da; ALEIXO Natacha Cíntia Regina. **Erosividade da chuva na região do médio solimões, amazonas, Brasil**. REVISTA CAMINHOS DE GEOGRAFIA. Uberlândia-MG v. 21, n. 77 Out/2020 p. 01–17.

SILVA NETO, J. C. A. **Zoneamento ambiental como subsídio para o ordenamento do território da bacia hidrográfica do rio Salobra, Serra da Bodoquena – MS**. 2013.291f. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2013.

SILVA NETO, J. C. **Avaliação da Vulnerabilidade à Perda de Solos na Bacia do Rio Salobra, MS, com base nas Formas do Terreno**. Revista Geografia, Londrina, v. 22, n.1, p. 05-25, 2013.

SILVA, Francisco. **Cronologia Eclesiástica de Itacoatiara**. Silva. – Manaus: GráficaZiló, 2018.324 p.

SILVA, J. M. L. ; RODRIGUES, T. E. **Zoneamento agroecológico do Município de Silves – AM**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2003. 39p.; 21cm. - (Embrapa Amazônia Oriental. Documentos, 174).

SILVA, Vicente de Paulo da**. Paisagem: concepções, aspectos morfológicos e significados**. Sociedade & Natureza, Uberlândia, v. 19, n. 1, p.199-215, jun. 2007.

SILVEIRA, A. L. L.1993. **Ciclo hidrológico e Bacia Hidrográfica**. p. 35-51. In: Tucci,

SILVIO Roberto Lopes Riker, Nelson Joaquim Reis, Raimundo de Jesus Gato D`Antona,Ivens de Araújo Brito. **Projeto Materiais de construção no domínio médio Amazonas._** Manaus: CPRM – Serviço Geológico do Brasil, 2008. 168p.

SIOLI, Harald. **Amazônia: Fundamentos da Ecologia da Maior Região de Floresta Tropica**l. Petrópolis: Vozes, 1985. 73 p.

SOUZA, A. C. M.; SILVA, M. R.F. da; DIAS, N.S. **Gestão de recursos hídricos: o casoda bacia hidrográfica Apodi/Mossoró (RN)**. Revista Irriga, Edição Especial. Faculdade de Ciências Agronômicas/FCA.UNESP. Botucatu-SP. p. 280 - 296, 2012.

THOPMSON, D. **Vulnerabilidade dos solos à erosão: estimativa da perda de solos naBacia Hidrográfica do Rio Guapi-Macacu – RJ**. Dayse Thomposon; Elaine Cristina Cardoso Fidalgo. – Rio de Janeiro, RJ: Embrapa Solos, 2013.

TRICART, JEAN. **Ecodinâmica.** Rio de Janeiro: IBGE, 1977.

TRICART, JEAN. **Paisagem e Ecologia**. Revista Inter-Facies: escritos e documentos. Nº76. P. 1-54. São José do Rio Preto: Unesp, 1982.

TURETTA, Ana Paula Dias. **Mudanças de Uso da Terra em Bacias Hidrográficas**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. 18 p.

VALERIANO, M. M. **Topodata: Guia para utilização de dados geomorfológicos locais**. Do projeto de Produtividade em Pesquisa "Modelagem de dados topográficos SRTM". CNPq. Instituto Nacional de Pesquisa Espacial, São José dos Campos, INPE- 15318-RPQ/818. 2008a. 75p.Disponivel em:< http://mtc-m16c.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc-m18@80/2008/07.11.19.24/doc/publicacao.pdf>. Acesso em: 15 Ago 2020.

VENTURIERI, Adriano et al. Uso da Terra. In: VENTURIERI, Adriano; MONTEIRO, Marcílio de Abreu; MENEZES, Carmen Roseli Caldas (Org.). **Zoneamento ecológico-econômico da Zona Oeste do Estado do Pará.** Belém: Embrapa Amazônia.

7. ANEXOS

ANEXO 1: PROGRAMAÇÃO EM LEGAL UTILIZANDO SUPORTE DE DECISÃO AHP PARA GERAÇÃO DO PLANO DE INFORMAÇÕES DE VULNERABILIDADE AMBIENTAL EM 2019.

```
{// Pesos a ser aplicados
// EROSIVIDADE = 0.200
// GEOLOGIA_T = 0.200
// PEDOLOGIA = 0.200
// USO_2019 = 0.200
// VULNERABILIDADE_RELEVO = 0.200

// Razao de consistência
// CR = 0.000
// Programa em LEGAL
// Este programa deve ser completado
// pelo usuario para incluir os dados
// apresentados entre os sinais de <>
// Definicao dos dados de entrada

Tematico var1 ("EROSIVIDADE");Tematico var2 ("GEOLOGIA_T"); Tematico var3
("PEDOLOGIA"); Tematico  var4 ("USO_2019");
Tematico  var5  ("VULNERABILIDADE_RELEVO");

Tabela tab1  (Ponderacao);
tab1 = Novo (CategoriaIni = "EROSIVIDADE" ,"MUITO_BAIXA":0.2,
"BAIXA":0.4,
"MEDIA":0.6,
"ALTA":0.8,
"MUITO_ALTA":1.0);

Tabela tab2  (Ponderacao);
tab2 = Novo (CategoriaIni = "GEOLOGIA_T" ,"AGUA":0.0, "ALTER_DO_CHAO":0.8,
"COBERTURA_DETRITO_LATERITICA":0.9);

Tabela tab3  (Ponderacao);
tab3 = Novo (CategoriaIni = "PEDOLOGIA" ,"AGUA":0.0,
"LATOSSOLO":0.33,"NEOSSOLO":1.0);

Tabela tab4  (Ponderacao);
tab4 = Novo (CategoriaIni = "USO_2019" ,"AGUA":0.0,
"PASTAGEM":0.8, "VEGETACAO_PRIMARIA":0.2,
"VEGETACAO_SECUNDARIA":0.4,"SOLO_EXPOSTO":1.0);

Tabela tab5  (Ponderacao);
tab5 = Novo (CategoriaIni = "VULNERABILIDADE_RELEVO" ,"Muito_Fraca":0.2,
"Fraca":0.4,
```

```
"Moderada":0.6,
"Forte":0.8,
"Muito_Forte":1.0);


// Definicao do dado de saida
Numerico  var6  ("VULNERABILIDADE_AMBIENTAL_MNT");

// Recuperacao dos dados de entrada
var1 = Recupere (Nome="EROSIVIDADE");var2 = Recupere (Nome="GEOLOGIA_T");
var3 = Recupere (Nome="PEDOLOGIA"); var4 = Recupere (Nome="2019SILVES");
var5 = Recupere (Nome="VULNERABILIDADE_RELEVO");

// Criacao do dado de saida
var6 = Novo (Nome="PESO1", ResX=30, ResY=30, Escala=60000,Min=0, Max=1);

// Geracao da media ponderada

var6 = 0.200*(Pondere(var1, tab1)) + 0.200*(Pondere(var2, tab2))+ 0.200*(Pondere(var3,
tab3))+ 0.200*(Pondere(var4, tab4))+ 0.200*(Pondere(var5, tab5));}
```

ANEXO 2: PROGRAMAÇÃO EM LEGAL UTILIZANDO SUPORTE DE DECISÃO AHP PARA GERAÇÃO DO PLANO DE INFORMAÇÕES DE VULNERABILIDADE AMBIENTAL EM 2019.

```
{// Pesos a ser aplicados
// EROSIVIDADE = 0.154
// GEOLOGIA_T = 0.055
// PEDOLOGIA = 0.253
// USO_2019 = 0.447
// VULNERABILIDADE_DO_RELEVO = 0.090

// Razao de consistência
// CR = 0.008
// Programa em LEGAL
// Este programa deve ser completado
// pelo usuario para incluir os dados
// apresentados entre os sinais de <>
// Definicao dos dados de entrada

Tematico var1 ("EROSIVIDADE");Tematico var2 ("GEOLOGIA_T"); Tematico var3
("PEDOLOGIA"); Tematico  var4 ("USO_2019");
Numerico  var5  ("VULNERABILIDADE_DO_RELEVO");

Tabela tab1  (Ponderacao);
tab1 = Novo (CategoriaIni = "EROSIVIDADE" ,"MUITO_BAIXA":0.2,
"BAIXA":0.4,
"MEDIA":0.6,
"ALTA":0.8,
```

```
"MUITO_ALTA":1.0);

Tabela tab2  (Ponderacao);
tab2 = Novo (CategoriaIni = "GEOLOGIA_T" ,"AGUA":0.0, "ALTER_DO_CHAO":0.8,
"COBERTURA_DETRITO_LATERITICA":0.9);

Tabela tab3  (Ponderacao);
tab3 = Novo (CategoriaIni = "PEDOLOGIA" ,"AGUA":0.0,
"LATOSSOLO":0.33,"NEOSSOLO":1.0);

Tabela tab4  (Ponderacao);
tab4 = Novo (CategoriaIni = "USO_2019" ,"AGUA":0.0,
"PASTAGEM":0.8, "VEGETACAO_PRIMARIA":0.2,
"VEGETACAO_SECUNDARIA":0.4,"SOLO_EXPOSTO":1.0);

Tabela tab5  (Ponderacao);
tab5 = Novo (CategoriaIni = "VULNERABILIDADE_RELEVO" ,"Muito_Fraca":0.2,
"Fraca":0.4,
"Moderada":0.6,
"Forte":0.8,
"Muito_Forte":1.0);
// Definicao do dado de saida

Numerico  var6  ("VULNERABILIDADE_AMBIENTAL_MNT");

// Recuperacao dos dados de entrada
var1 = Recupere (Nome="EROSIVIDADE");var2 = Recupere (Nome="GEOLOGIA_T");
var3 = Recupere (Nome="PEDOLOGIA"); var4 = Recupere (Nome="2019SILVES");
var5 = Recupere (Nome="VULNERABILIDADE_RELEVO");

// Criacao do dado de saida
var6 = Novo (Nome="VUL_05_01", ResX=30, ResY=30, Escala=60000,Min=0, Max=1);

// Geracao da media ponderada
var6    =    0.154*(Pondere(var1, tab1))  +    0.055*(Pondere(var2, tab2))+
0.253*(Pondere(var3, tab3))+ 0.447*(Pondere(var4, tab4))+ 0.090*var5;}
```

ANEXO 3: PROGRAMAÇÃO EM LEGAL UTILIZANDO SUPORTE DE DECISÃO AHP PARA GERAÇÃO DO PLANO DE INFORMAÇÕES DE VULNERABILIDADE AMBIENTAL EM 2019.

```
{// Pesos a ser aplicados
// EROSIVIDADE = 0.150
// GEOLOGIA_T = 0.100
// PEDOLOGIA = 0.225
// USO_2019 = 0.300
// VULNERABILIDADE_DO_RELEVO = 0.225
// Razao de consistência
// CR = A verificar
// Programa em LEGAL
```

```
// Este programa deve ser completado
// pelo usuario para incluir os dados
// apresentados entre os sinais de <>
// Definicao dos dados de entrada

Tematico var1 ("EROSIVIDADE");Tematico var2 ("GEOLOGIA_T"); Tematico var3
("PEDOLOGIA"); Tematico  var4 ("USO_2019");
Numerico  var5  ("VULNERABILIDADE_DO_RELEVO");

Tabela tab1  (Ponderacao);
tab1 = Novo (CategoriaIni = "EROSIVIDADE" ,"MUITO_BAIXA":0.2,
"BAIXA":0.4,
"MEDIA":0.6,
"ALTA":0.8,
"MUITO_ALTA":1.0);

Tabela tab2  (Ponderacao);
tab2 = Novo (CategoriaIni = "GEOLOGIA_T" ,"AGUA":0.0, "ALTER_DO_CHAO":0.8,
"COBERTURA_DETRITO_LATERITICA":0.9);

Tabela tab3  (Ponderacao);
tab3 = Novo (CategoriaIni = "PEDOLOGIA" ,"AGUA":0.0,
"LATOSSOLO":0.33,"NEOSSOLO":1.0);

Tabela tab4  (Ponderacao);
tab4 = Novo (CategoriaIni = "USO_2019" ,"AGUA":0.0,
"PASTAGEM":0.8, "VEGETACAO_PRIMARIA":0.2, "VEGETACAO_SECUNDARIA":0.4,
"SOLO_EXPOSTO":1.0);

Tabela tab5  (Ponderacao);
tab5 = Novo (CategoriaIni = "VULNERABILIDADE_RELEVO" ,"Muito_Fraca":0.2,
"Fraca":0.4,
"Moderada":0.6,
"Forte":0.8,
"Muito_Forte":1.0);

// Definicao do dado de saida
Numerico  var6  ("VULNERABILIDADE_AMBIENTAL_MNT");

// Recuperacao dos dados de entrada
var1 = Recupere (Nome="EROSIVIDADE");var2 = Recupere (Nome="GEOLOGIA_T"); var3 =
Recupere (Nome="PEDOLOGIA"); var4 = Recupere (Nome="2019SILVES");
var5 = Recupere (Nome="VULNERABILIDADE_RELEVO");

// Criacao do dado de saida
var6 = Novo (Nome="VUL_03_02", ResX=30, ResY=30, Escala=60000,Min=0, Max=1);
// Geracao da media ponderada
var6 = 0.150*(Pondere(var1, tab1)) + 0.100*(Pondere(var2, tab2))+
0.225*(Pondere(var3, tab3))+ 0.300*(Pondere(var4, tab4))+ 0.225*var5;}
```