

FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DE RONDÔNIA - UNIR NÚCLEO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA - NCET PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO MESTRADO E DOUTORADO EM GEOGRAFIA

CELSO JOSE ROBERTO SOARES JÚNIOR

ANÁLISE HIERÁRQUICA PROCESSUAL DOS ÍNDICES DE VULNERABILIDADE NATURAL À EROSÃO E FRAGILIDADE AMBIENTAL NA BACIA DO IGARAPÉ SÃO FRANCISCO: possibilidades para o planejamento de bacias hidrográficas.

CELSO JOSE ROBERTO SOARES JÚNIOR

ANÁLISE HIERÁRQUICA PROCESSUAL DOS ÍNDICES DE VULNERABILIDADE
NATURAL À EROSÃO E FRAGILIDADE AMBIENTAL NA BACIA DO IGARAPÉ SÃO
FRANCISCO: possibilidades para o planejamento de bacias hidrográficas.

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação Mestrado e Doutorado em Geografia, da Fundação Universidade Federal de Rondônia, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Geografia. Linha de Pesquisa: Paisagem Processo do Meio Físico e Gestão Ambiental - PMG

Orientador: Prof. Dr. Dorisvalder Dias Nunes

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação Fundação Universidade Federal de Rondônia Gerada automaticamente mediante informações fornecidas pelo(a) autor(a)

S676a Soares Junior, Celso José Roberto.

Análise hierárquica processual dos índices de vulnerabilidade natural à erosão e fragilidade ambiental na bacia do igarapé São Francisco: possibilidades para o planejamento de bacias hidrográficas. / Celso José Roberto Soares Junior. -- Porto Velho, RO, 2019.

121 f.: il.

Orientador(a): Prof. Dr. Dorisvalder Dias Nunes

Dissertação (Mestrado em Geografia) - Fundação Universidade Federal de Rondônia

1. Vulnerabilidade natural a erosão. 2. Fragilidade Ambiental. 3. Análise hierárquica processual. I. Nunes, Dorisvalder Dias. II. Título.

CDU 631.459:55(811.1)



Ministério da Educação - MEC
Universidade Federal de Rondônia - UNIR
Núcleo de Ciências Exatas e da Terra - NCET
Departamento de Geografia - DGEO/UNIR
Programa de Pós-Graduação Mestrado e Doutorado em Geografia - PPGG/UNIR



ATA DE DEFESA PÚBLICA DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Celso José Roberto Soares Júnior

A Banca de Defesa de Mestrado presidida pelo Orientador e Presidente Prof. Dr. Dorisvalder Dias Nunes e constituída pelos examinadores: Prof. Dr. Michel Watanabe - Examinador Interno/PPGG/UNIR, Profa. Dra. Adriana Cristina da Silva Nunes - Examinadora Interna/PPGG/UNIR, Dr. Luiz Cleyton Holanda Lobato - Examinador Externo/IBGE, Prof. Dr. Anderson Augusto Volpato Sccoti -Examinador Externo/Universidade Federal de Santa Maria (VIA SKYPE), reuniram-se em 02 de dezembro de 2019, às 9h, no Auditório Milton Santos/CEGEA/UNIR/Bloco 1T, para avaliar a dissertação de mestrado intitulada: "Análise Hierárquica Processual dos índices de Vulnerabilidade Natural à Erosão e Fragilidade Ambiental na bacia do Igarapé São Francisco: Possibilidades para o Planejamento de Bacias Hidrográficas" do mestrando Celso José Roberto Soares Júnior, matrícula 20171001862. Após a explanação do pós-graduando e arquição pela Banca Examinadora, a referida DISSERTAÇÃO foi avaliada e de acordo com as normas estabelecidas pelo Regimento do Programa de Pós-Graduação em Geografia foi considerada APROVADO ... O Candidato terá o prazo de até 90 dias para fazer as correções sugeridas pela banca e entregar as cópias definitivas de sua dissertação, sob pena de invalidação, pelo Colegiado, do processo de Defesa, conforme preceitua o § 3º do artigo 83 do Regimento Interno do PPGG, uma vez que o curso só finaliza com a entrega da Dissertação revisada e a comprovação do cumprimento dos demais créditos, conforme Regimento Interno. Este documento tem validade de 90 dias a contar desta data.

Porto Velho-RO, 02 de dezembro de 2019.

Prof. Dr. Dorisvalder Dias Nunes
Presidente/Orientador

Prof. Dr. Michel Watanabe Examinador Interno/PPGG/UNIR

Profa. Dra. Adriana Cristina da Silva Nunes

Examinadora Interna/PPGG/UNIR

Dr. Luiz Cleyton Holanda Lobato

Examinador Externo/IBGE

Prof. Dr. Anderson Augusto Volpato Sccoti

Examinador Externo/Universidade Federal de Santa Maria (VIA SKYPE)

AGRADECIMENTOS

Primeiramente gostaria de agradecer a Deus, pois, sem ele nada é possível.

Ao Prof. Dorisvalder Dias Nunes, pela orientação e assistência no desenvolvimento do trabalho, e pela confiança depositada em mim.

Ao Prof. Michel Watanabe, pela atenção, apoio, incentivo e disponibilidade que me ajudaram a atravessar os momentos de dificuldades

Ao Prof. Anderson Scotti pela atenção, apoio e por me auxiliar nas informações dos dados coletados.

À minha amiga Tamires Cunha de Aguiar, pelas importantes sugestões dadas ao ler este trabalho, pelo incentivo, apoio e a grande ajuda com o tratamento dos dados, análises e elaboração dos mapas.

Aos meus amigos Allan Augusto e Tirla Tavares por me guiar nos primeiros passos no Laboratório de Geografia e Planejamento Ambiental (LABOGEOPA) e me apresentar o programa. À Mariana Iara que esteve presente em todo esse processo, com conversas, sugestões críticas que foram bastante importantes na condução do meu trabalho.

À Fundação Rondônia de Amparo ao Desenvolvimento das Ações Científicas e

Tecnológicas e à Pesquisa (FAPERO) que por meio do suporte financeiro ao projeto de pesquisa Vulnerabilidade Natural à erosão aplicada ao planejamento de recursos hídricos na porção sul ocidental da Amazônia: o caso da bacia do Rio Branco /Porto Velho/RO (Chamada/FAPERO PPP - nº 02/2014 - Faixa A, Convênio FAPERO/CNPq n.o 610057/2013-8 Reg.: SICONV nº 795209/2013), o qual garantiu a logística e as expedições de campo para suporte e desenvolvimento dessa dissertação de mestrado, cuja bacia analisada (igarapé São Francisco) é parte integrante da bacia do Rio Branco.

Aos demais professores e funcionários do Programa de pós-graduação Mestrado em Geografia.

Aos meus pais que sempre me apoiaram em qualquer situação, com amor e carinho, me fazendo chegar onde cheguei hoje. E a minha irmã pelo carinho e palavras de apoio.

RESUMO

Com o avanço de novas tecnologias e com a necessidade do desenvolvimento da sociedade, os recursos minerais têm sido explorados de forma desenfreada, provocando um desequilíbrio dinâmico na natureza. Desta forma, é necessário prover de um planejamento ambiental de modo a estabelecer diretrizes e ações para uma melhor gestão de um ambiente natural. Alguns dos instrumentos que possuem o intuito de servir de suporte para estratégias e ações regionais são as cartas de Vulnerabilidade Natural a Erosão propostas por Crepani et al. (2001) e Fragilidade Ambiental desenvolvido por Ross (1994), as quais fazem análise das informações fitográficas para estipular, respectivamente, o grau de vulnerabilidade natural a erosão e o nível de fragilidade ambiental, instrumento os quais foram utilizados nesta pesquisa, aliadas à Análise Hierárquica Processual (AHP) desenvolvida por Saaty (1977), que possibilita organizar e avaliar, com base na comparação pairwise, a importância relativa entre as variáveis ambientais. A área de estudo foi delimitada a partir de uma Bacia Hidrográfica, localizada nos municípios de Buritis e Campo Novo em Rondônia, denominada como Bacia Hidrográfica do Igarapé São Francisco (BHISF), apresentando 489,87 km². Aplicando as metodologias propostas, com o cenário de Vegetação Nativa, na Vulnerabilidade sem o uso de AHP, apresentou o ambiente totalmente moderadamente estável e na utilização da AHP houve a predominância de moderadamente estável. Ao utilizar a metodologia de Ross (1994) a área se dividiu em dois níveis de fragilidade: fraca e média, tanto com utilização de AHP quanto sem o seu uso. Com o manuseio da AHP houve a predominância de nível de fragilidade média (98,45%) e pequena área de fragilidade fraca (1,55%), sem o manuseio da técnica de Saaty (1977) obteve uma diminuição da fragilidade média para 73,99% e aumento na fragilidade fraca para 26,01%. Com a inclusão das atividades antrópicas, a VNE sem a utilização da AHP apresentou dois graus de vulnerabilidade: medianamente estável/vulnerável e moderadamente estável, representando, respectivamente, 65,88% e 34,12%, com a utilização da AHP não houve aumento de grau de vulnerabilidade, porém, houve o aumento da área medianamente estável para 84,89%. Na metodologia de Ross (1994) sem a aplicação da técnica AHP a bacia apresentou dois níveis de fragilidade: fraca e baixa, com valores respectivamente de 15,10% e 84,90%, por outro lado, com a anexação da metodologia AHP não houve mudanças significativas, tendo a variação (0,12%) a mais para a fragilidade média. Percebe-se através deste estudo que a utilização das metodologias de VNE de Crepani et al. (2001) e Fragilidade ambiental de Ross (1994) apresentam um ótimo instrumento para orientar planos de zoneamento e planejamento ambiental de bacias hidrográficas, a adição da AHP complementa a eficácia dos métodos, pois, as relações de pesos entre as variáveis expressaram algumas similaridade com a realidade da bacia.

Palavras-chave: Vulnerabilidade natural a erosão. Fragilidade Ambiental. Análise hierárquica processual

ABSTRACT

With the advancement of new technologies and the need for the development of society, mineral resources have been exploited in an unbridled way, causing a dynamic imbalance in nature. Thus, it is necessary to provide environmental planning in order to establish guidelines and actions for a better management of a natural environment. Some of the instruments that have the intention of serving as support for regional strategies and actions are the Natural Vulnerability to Erosion charts proposed by Crepani et al. (2001) and Environmental Fragility developed by Ross (1994), which make an analysis of phytographic information to stipulate, respectively, the degree of natural vulnerability to erosion and the level of environmental fragility, an instrument that was used in this research, allied to the Process Hierarchical Analysis (AHP) developed by Saaty (1977), which makes it possible to organize and evaluate, based on pairwise comparison, the relative importance among environmental variables. The study area was delimited from a Hydrographic Basin, located in the municipalities of Buritis and Campo Novo in Rondônia, called Igarapé São Francisco (BHISF), with 489.87 km². Applying the proposed methodologies, with the Native Vegetation scenario, in the Vulnerability without the use of AHP, it presented a totally moderately stable environment and in the use of AHP there was a predominance of moderately stable. When using the Ross methodology (1994) the area was divided into two levels of fragility: weak and medium, both with the use of AHP and without its use. With the handling of AHP there was a predominance of medium fragility level (98.45%) and small area of weak fragility (1.55%), without the handling of the Saaty technique (1977) there was a decrease of medium fragility to 73.99% and increase of weak fragility to 26.01%. With the inclusion of the anthropic activities, the LV without the use of AHP presented two degrees of vulnerability: median stable/vulnerable and moderately stable, representing, respectively, 65.88% and 34.12%, with the use of AHP there was no increase in the degree of vulnerability, however, there was an increase in the median stable area to 84.89%. In Ross methodology (1994) without the application of the AHP technique the basin presented two levels of fragility: weak and low, with values respectively of 15.10% and 84.90%, on the other hand, with the annexation of the AHP methodology there were no significant changes, with the variation (0.12%) being more for the average fragility. It can be seen from this study that the use of Crepani et al. (2001) and Ross (1994)'s Environmental Fragility methodologies present an excellent instrument to guide watershed zoning and environmental planning plans, the addition of the AHP complements the effectiveness of the methods, since the weight relationships between the variables expressed some similarity with the basin reality.

Keywords: Natural vulnerability to erosion. Environmental fragility. Analystic Hierarchy Process

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Representação de um sistema.	20
Figura 2 - Atividades principais envolvendo o geoprocessamento	
Figura 3 - Mapa de localização	36
Figura 4 - Mapa da BHISF com recorte do ZSEE-RO	37
Figura 5 - Mapa de intensidade pluviométrica da BHISF	
Figura 6 - Mapa temático de solos da BHISF	40
Figura 7 - Mapa temático geomorfológico da BHISF	44
Figura 8 - Mapa temático geológico da BHISF	
Figura 9- Mapa temático de vegetação nativa da BHISF	
Figura 10 - Fluxograma sintetizado do trabalho	
Figura 11 - Hierarquia AHP	61
Figura 12 - Projetos de assentamentos na BHISF	71
Figura 13 - Acessos e desmatamento na BHISF até 2001	
Figura 14 - Desmatamento até 2001 na BHISF	73
Figura 15 - Desmatamento até 2005 na BHISF	73
Figura 16 - Desmatamento até 2010 na BHISF	
Figura 17 - Desmatamento até 2015 na BHISF	75
Figura 18 - Vulnerabilidade: Tema Vegetação	
Figura 19 - Fragilidade: Tema Vegetação	
Figura 20 - Vulnerabilidade: tema geomorfologia	
Figura 21 - Fragilidade: tema geomorfologia	
Figura 22 - Vulnerabilidade: tema solos	
Figura 23 - Fragilidade: tema solos	81
Figura 24 - Vulnerabilidade: tema geologia	83
Figura 25 - Vulnerabilidade: tema clima	
Figura 26 - Fragilidade: tema clima	84
Figura 27 - Localização fotos da BHISF	85
Figura 28 - Ponto 01 - Atividade pecuária	86
Figura 29 - Ponto 02 - Atividade pecuário	86
Figura 30 - Ponto 03 - Atividade pecuária com relevo ondulado	87
Figura 31 - Ponto 04 - Plantio de café	87
Figura 32 - Ponto 05 - Produção bovina com relevo ondulado suave	88
Figura 33 - Vulnerabilidade: temática Uso e Cobertura	90
Figura 34 - Fragilidade: temática Uso e Cobertura da terra	90
Figura 35 - VNE - Cenário sem ação antrópica	99
Figura 36 - VNE com AHP: Cenário sem ação antrópica	101
Figura 37 - FA com uso de AHP: cenário sem ação antrópica	
Figura 38 - VNE sem AHP: Cenário com ação antrópica	104
Figura 39 - FA sem AHP: cenário com ação antrópica	105
Figura 40 - VNE com AHP: cenário com ação antrópica	106
Figura 41 - FA com uso de AHP: cenário com ação antrópica	107
Figura 42 - Comparação dos cenários de FA e VNE	108
Figura 43 - Semelhança dos cenários de FA e VNE com Uso e Cobertura da Terra	109
Figura 44 - Comparação dos cenários de FA e VNE com e sem uso da AHP	

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico	1 - Distribuição da precipitação média mensal de 1980 a 2017 na BHISF	. 38
Gráfico	2 - Porcentagem de área desmatadas por estado da AML	. 65
Gráfico	3 - Incremento anual e total antropizado de RO (1988 a 2018)	. 67
Gráfico	4 - Incremento de desmatamento da AML	. 68
Gráfico	5 - Incremento anual e total antropizado, na BHISF, de 2001 a 2018	. 69

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Escala de vulnerabilidade das Unidades Territoriais Básicas	. 51
Quadro 2 - Matriz dos Índices de Dissecação do Relevo	. 58
Quadro 3 - Valores de índice Randômico (IR) para matrizes quadradas	. 62

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Equivalência dos conceitos de Fragilidade Ambiental e Vulnerabilidade N	
Erosão	
Tabela 2 - Variáveis nas metodologias de Ross (1994) e Crepani et al. (2001)	
Tabela 3 - Critérios de avaliação dos temas	
Tabela 4 - Quantitativo dos tipos de solos da BHISF	
Tabela 5 - Dados geomorfológicos da BHISF	
Tabela 6 - Descrição das características geológicas da área de estudo	44
Tabela 7 - Categorias morfodinâmicas	50
Tabela 8 - Avaliação da estabilidade das categorias morfodinâmicas	50
Tabela 9 - Escala de vulnerabilidade das rochas mais comuns	52
Tabela 10 - Grau de vulnerabilidade dos solos	53
Tabela 11 - Valores de vulnerabilidade à perda de solos devido a chuva.	55
Tabela 12 - Composição das relações das variáveis	56
Tabela 13 - Classes de Fragilidade Ambiental	57
Tabela 14 - Classes de Fragilidade dos tipos de solos	58
Tabela 15 - Classes de hierarquia de graus de proteção ambiental	59
Tabela 16 - Hierarquia das variações pluviométricas	60
Tabela 17 - Escalas de comparação, conforme Saaty (1977)	61
Tabela 18 - Matriz de comparação ou pareadas	62
Tabela 19 - Incremento anual e total desmatado de Rondônia (1988-2018)	66
Tabela 20 - Incremento anual e total antropizado da BHISF, de 2000 a 2018	69
Tabela 21 - Porcentagem do incremento anual dos municípios da BHISF	69
Tabela 22 - Informações dos Projetos de Assentamentos na BHISF	71
Tabela 23 - Valores de VNE e FA do tema vegetação na BHISF	76
Tabela 24 - Valores de VNE e FA do tema geomorfologia na BHISF	
Tabela 25 - Valores de VNE e FA do tema solos na BHISF	80
Tabela 26 - Valores de VNE do tema geologia na BHISF	82
Tabela 27 - Valores de VNE e FA do tema clima na BHISF	83
Tabela 28 - Características das tipologias de uso e Ocupação na BHISF	88
Tabela 29 - Classificação do Uso e Cobertura da Terra da BHISF	89
Tabela 30 - Matriz com valores de importância de cada sistema componente da VNE.	
Tabela 31 - Matriz de decisão para VNE	
Tabela 32 - Matriz de decisão normalizada para VNE	93
Tabela 33 - Valores dos pesos calculados para VNE na BHISF	93
Tabela 34 - Matriz do vetor soma ponderado	
Tabela 35 - Valores dos vetores de consistência da VNE	94
Tabela 36 - Matriz com os valores de importância de cada sistema componente da FA	95
Tabela 37 - Matriz de decisão para FA	
Tabela 38 - Matriz de decisão normalizada para FA	
Tabela 39 - Valores dos pesos calculados para FA na BHISF	
Tabela 40 - Matriz do vetor soma ponderado para FA	

Tabela 41 - Valores dos vetores de consistência da FA	97
Tabela 42 - Porcentagem dos graus de VNE - Cenário sem ação antrópica	99
Tabela 43 - Área do nível de FA - Cenário sem ação antrópica	100
Tabela 44 - Pesos calculados para VNE na BHISF	100
Tabela 45 - Área dos graus de VNE - Cenário sem ação antrópica	101
Tabela 46 - Pesos da FA na BHISF	102
Tabela 47 - Área dos graus de VNE - Cenário com ação antrópica sem AHP	103
Tabela 48 - Área dos níveis de FA - Cenário com ação antrópica sem AHP	105
Tabela 49 - Área dos graus de VNE com atividade antrópica com AHP	106
Tabela 50 - Área dos níveis de FA - Cenário com ação antrópica com uso da AHP	107
Tabela 51- Par a par cenários de FA e VNE	108
Tabela 52 - Comparação dos cenários de FA e VNE com e sem uso da AHP	110

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AHP Análise Hierárquica Processual

AML Amazônia Legal

ANA Agência Nacional de Águas

Aw Tipo de clima equatorial, com transição tropical BHISF Bacia Hidrográfica do Igarapé São Francisco

EMBRAPA Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

FA Fragilidade Ambiental

Ae Fragilidade Ambiental Emergente
FAp Fragilidade Ambiental Potencial

GPS Global Positioning System

GPTI Grupo de trabalho Interministerial

IBGE Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IC Índice de Consistência

INCRA Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária

INPE Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

IR Índice Randômico

Km2 Quilômetros quadrados

LABOGEOPA Laboratório de Geografia e Planejamento Ambiental

Landsat Land Remote Sensing Satellite

m Metros

MaxVer Máxima Verossimilhança

mm Milímetros

n Ordem da matriz

PA Projeto de Assentamento

PLANAFLORO Plano Agropecuário e Florestal de Rondônia

PNRH Política Nacional de Recursos Hídricos

PPCDAm Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento na

Amazônia Legal

PRODES Monitoramento da Floresta Amazônica Brasileira por satélites

RC Razão de Consistência

RO Rondônia

SEDAM Secretária de Estado do Desenvolvimento Ambiental de Rondônia

SIBICs Sistema Brasileiro de Classificação de solos

SIG Sistema de Informação Geográfica SIPAM Sistema de Proteção da Amazônia

SIRGAS2000 Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas, ano 2000

TGS Teoria Geral dos Sistemas

TM Thematic Mapper

UTB Unidades Territoriais Básicas

Va Vulnerabilidade Antrópico

Vn Vulnerabilidade Natural

VNE Vulnerabilidade Natural à Erosão

WGS World Geodetic System

ZSEE RO Zoneamento Sócio Ecológico Econômico de Rondônia

SUMÁRIO

1	INTRODUÇAO	15			
1.1	Objetivo geral	17			
1.1.1	Objetivos específicos				
2	REFERENCIAL TEÓRICO E CONCEITUAL	19			
2.1	Teoria Geral dos Sistemas (TGS)	19			
2.2	A Teoria Geral de Sistema no estudo da Paisagem na Geografia	21			
2.3	Análise integrada da Paisagem	25			
2.4	Bacia hidrográfica como unidade sistêmica de análise	26			
2.5	Geotecnologias para estudos ambientais	27			
2.6	Processo analítico hierárquico para estudos ambientais	30			
2.7	Fragilidades/Vulnerabilidades Ambientais e Intervenções Humanas	31			
2.8	Comparação dos modelos de Ross (1994) e Crepani et al. (2001)	33			
3	LOCALIZAÇÃO E CARACTERÍSTICAS FISIOGRÁFICAS DA BHI	SF. 36			
3.1	Clima: considerações sobre a precipitação	37			
3.2	Grandes grupos de solos da BHISF	39			
3.3	Modelados geomorfológicos da BHISF				
3.4	Unidades litológicas da BHISF				
3.5	Formações Vegetacionais nativa da BHISF	46			
4	METODOLOGIA	48			
4.1	Vulnerabilidade Natural a Erosão				
4.1.1	Análise da Geologia conforme VNE de Crepani et al. (2001)	51			
4.1.2	Análise da Pedologia conforme VNE de Crepani et al. (2001)	52			
4.1.3	Análise da Geomorfologia conforme VNE de Crepani et al. (2001)	53			
4.1.4	Análise da Vegetação conforme VNE de Crepani et al. (2001)	54			
4.1.5	Análise do Clima conforme VNE de Crepani et al. (2001)	55			
4.2	Fragilidade Ambiental	55			
4.2.1	Análise de Índice de Dissecação do Relevo conforme FA de Ross (1994)	57			
4.2.2	Análise de Solos conforme FA de Ross (1994)				
4.2.3	Análise da Cobertura Vegetal/Uso da Terra conforme FA de Ross (1994)	59			
4.2.4	Análise do Comportamento Pluviométrico conforme FA de Ross (1994)	59			
4.3	Técnica AHP - Analystic Hierarchy Process				
4.4	Mapeamento da Cobertura e Uso da Terra na BHISF	63			
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES				
5.1	Evolução temporal da cobertura e uso da terra	65			
5.1.1	Desmatamento do Estado de Rondônia	65			
5.1.2	Desmatamento da BHISF	68			

5.2	Análise da Vulnerabilidade natural a erosão e Fragilidade a	mbiental na
BHISF		76
5.2.1	Vegetação	76
5.2.2	Geomorfologia	78
5.2.3	Pedologia	80
5.2.4	Geologia	82
5.2.5	Clima	83
5.2.6	Principais tipologias de Uso e Ocupação da Terra	85
5.3	ATRIBUIÇÃO DA IMPORTÂNCIA RELATIVA ENTRE OS	TEMAS DA
VNE E I	FA	91
5.4	Aplicação da técnica AHP - Analystic Hierarchy process	92
5.4.1	Aplicação AHP - Vulnerabilidade Natural a Erosão	92
5.4.2	Aplicação AHP - Fragilidade Ambiental	95
5.5	Cenários	98
5.5.1	Cenário sem ação antrópica	98
5.5.1.1	Vulnerabilidade Natural a Erosão Natural da BHISF	98
5.5.1.2	Fragilidade Ambiental Potencial da BHISF	100
5.5.1.3	Vulnerabilidade Natural a Erosão com o uso de AHP	100
5.5.1.4	Fragilidade Ambiental com o uso de AHP	101
5.5.2	Cenário com ação antrópica	103
5.5.2.1	VNE com ação antrópica sem o uso da AHP	103
5.5.2.2	Fragilidade Ambiental com ação antrópica sem o uso de AHP	104
5.5.2.3	VNE com ação antrópica com o uso da AHP	105
5.5.2.4	Fragilidade Ambiental com ação antrópica com o uso da AHP	106
5.6	Discussão sobre os cenários	107
6	CONCLUSÕES	112
	REFERÊNCIAS	114

1 INTRODUÇÃO

Com a base nos fundamentos da Ecodinâmica, os estudos da Vulnerabilidade Natural a Erosão e Fragilidade Ambiental, têm como objetivo analisar o grau de resistência do sistema ambiental perante os processos naturais de evolução da paisagem e da ação antrópica. Com a intenção de suprir diversas necessidades humanas, o homem realiza a exploração dos recursos naturais, através de inúmeros meios tecnológicos, referindo-se assim a uma intervenção antropogênica no ambiente.

Nos dias atuais há um descontrole na forma de utilização dos elementos da natureza, isto devido o estabelecimento do modelo hegemônico de desenvolvimento e consumo da representação da produção capitalista, necessitando assim da grande exploração de bens da natureza cujo o objetivo é a acumulação máxima do capital, utilizado para exploração do trabalho e recursos naturais, e também para suprir as necessidades humanas.

Para o desenvolvimento das sociedades, é essencial a utilização dos recursos naturais, contudo, junto a procura desse desenvolvimento as pesquisas ambientais também são elementares, pois procuram orientar a forma mais adequada do uso dos recursos. Um instrumento que é bastante importante nesse quesito são as legislações ambientais que buscam favorecer a sustentabilidade dos bens naturais.

Quando se coloca a racionalidade econômica par a racionalidade ambiental observa-se uma divergência lógica entre as duas, pois enquanto a primeira julga apenas as vantagens econômicas da exploração dos bens da natureza, a outra não só leva em consideração as potencialidades, mas também as limitações do sistema natural para a exploração.

Em relação as questões ambientais, a contradição que surge entre proteger a natureza e utilizar os recursos naturais deve ser um dos principais problemas a serem levantados. Sendo impossível ignorar o fato de que a cada dia a ampliação do aproveitamento dos recursos naturais é necessária à humanidade, inclusive no atual estágio tecnológico, científico e econômico em que o homem do século XX chegou. Contudo, ligado a esses fatos, inúmeros problemas ainda não são facilmente solucionados pela humanidade, como exemplo de que a natureza é incapaz de integrar totalmente os desejos do homem. Considerando também que muitas modificações feitas pelo homem, que apresentavam impactos positivos, acabam por fim mostrando, após algum tempo, surpresas desagradáveis e que até o momento não existe nenhum método cientificamente fundamentado para estimar o grau plausível de intervenção do homem, em um determinado ambiente.

Cobrindo aproximadamente 60% do território nacional, a Amazônia possui expressivamente a maior parcela de florestas úmidas remanescentes do mundo, desta forma faz com que o Brasil possua o maior bioma de floresta úmida do mundo. A Amazônia Legal, abriga em torno de 21 milhões de habitantes, representando 12% da população total brasileira. A utilização dos recursos naturais de forma sustentável, de certa forma, garantiria as suas riquezas para o futuro.

As dinâmicas socioeconômicas acabam afetando os biomas, provocando profundas mudanças ambientais na Amazônia, visível pelo rápido desflorestamento e frequentes queimadas, que transformam grandes e contínuas áreas com vegetação nativa em áreas de produção. Afeiçoando-se a paisagens antropogênicas, apresentando diferentes coberturas e usos para o progresso da fronteira agropecuária, marcado por um processo de ocupação, que em proposição foi planejada, contudo apresenta consequências negativas.

Segundo o Projeto de monitoramento do Desmatamento na Amazônia legal por Satélite – PRODES que em mais de 20 anos registra os desmatamentos, aponta que as políticas públicas para a Amazônia legal, não solucionam, mas amenizam os problemas da ilegalidade de ocupação das terras da União e contínuos crimes ambientais. Na ponta do desmatamento na Amazônia Legal está o estado de Rondônia, explorado por processos de ocupação apoiadas pelo poder público, advindos desde os governos militares, a princípio concretizados pela abertura, construção e pavimentação da BR-364, como também pelas realizações de inúmeros projetos de colonização, que buscam um ordenamento para a região, referência para a ocupação agrícola, ligada à agropecuária e a intensa exploração madeireira, provocando um acentuado crescimento populacional e degradação ambiental.

A água é o recurso natural mais importante entre os recursos naturais e mesmo assim vem sendo extensivamente afetada pela ação antrópica. Para o funcionamento dos sistemas ambientais, para a sobrevivência de todos os organismos vivo a água é vital. A preocupação com a questão da água é recorrente em escala mundial assim como também no governo brasileiro e em 1997 houve a elaboração de uma Política Nacional dos Recursos Hídricos (PNRH), lei nº 9433, observando como fundamento principal o uso racional dos recursos hídricos e asseguração da sua disponibilidade. Essa Política Nacional acabou incentivando e dando mais importância aos estudos ambientais que levam em consideração, como recorte geográfico de análise, a bacia hidrográfica. Isto ocorreu devido a PNRH considerar a bacia hidrográfica como uma unidade territorial para o estabelecimento das políticas ambientais e também socioeconômicas, proporcionando possibilidades de gestão e planejamento conveniente daquela área.

Desta forma, o estudo da Vulnerabilidade Natural a Erosão e da Fragilidade Ambiental utilizado como base para o planejamento ambiental na Bacia Hidrográfica do Igarapé São Francisco, relaciona-se com a necessidade da área estudada em equacionar os problemas, uma vez que as interações entre a sociedade e ambienta natural apresentam grande grau de complexidade. Esta pesquisa está vinculada ao projeto de pesquisa "Vulnerabilidade natural à erosão aplicada ao planejamento de recursos hídricos na porção sul ocidental da Amazônia: o caso da bacia do Rio Branco/Porto Velho/RO" aprovado no Edital Programa para jovens pesquisadores/programa primeiros projetos — PPP - chamada FAPERO Nº 02/2014, da Fundação de amparo ao desenvolvimento das ações científicas e tecnológicas e à pesquisa do estado de Rondônia — FAPERO. Conforme exposto acima, as sociedades passaram a intervir de maneira intensa no apossamento dos recursos naturais, o que provoca transformações consideráveis na paisagem em um andamento mais acentuado que o estipulado pela natureza.

O planejamento, observando sempre as limitações e as fragilidades e vulnerabilidades dos ecossistemas, é um dispositivo para organizar a ocupação, redirecionando as atividades econômicas, com o intuito de servir de suporte para estratégias e ações de planos regionais. Nesse viés, o estudo da vulnerabilidade natural a erosão e a fragilidade ambiental aliado ao método multicriterial, no nosso caso a Análise Hierárquica Processual – AHP (proposta por Saaty em 1977), possui significativa importância para o planejamento ambiental, pois as ferramentas identificam e analisam os ambientes em diferentes graus de suscetibilidade, podendo instruir a melhor definição de diretrizes e ações a serem implantadas, contribuindo para melhor gestão daquela área.

1.1 Objetivo geral

A presente pesquisa tem como objetivo geral, analisar os impactos gerados na BHISF a partir do seu Uso e Cobertura da Terra, sob a ótica de dois modelos metodológicos distintos, para unificar a forma análise do ambiente em estudo, auxiliando a produção de uma proposta de planejamento da bacia.

1.1.1 Objetivos específicos

• Produzir mapa de uso e cobertura da terra da Bacia do Igarapé São Francisco.

- Analisar em relação ao estado de Rondônia a temporalidade da cobertura e uso da terra na Bacia do Igarapé São Francisco, apontando os fatores e as tendências das ações antrópicas.
- Produzir cartas sínteses de cenários analíticos prováveis de Fragilidade e Vulnerabilidade Natural a erosão com a inclusão da sexta variável: Uso e Cobertura da Terra.

2 REFERENCIAL TEÓRICO E CONCEITUAL

2.1 Teoria Geral dos Sistemas (TGS)

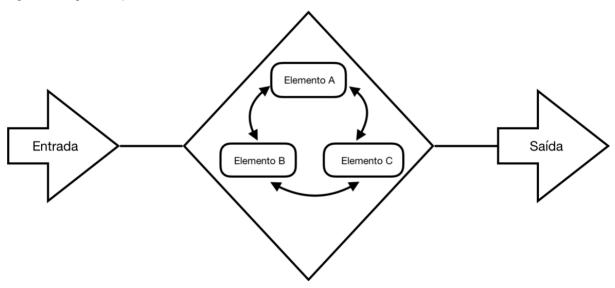
Durante o período Pós-Segunda Guerra, certas concepções metodológicas com o intuito de permitir a relação dos diversos ramos científicos foram reorientadas, desta forma a Termodinâmica, a Cibernética, o Evolucionismo dentre outros ramos científicos somou esforços na tentativa de integração. A Teoria Geral dos Sistemas, desenvolvida pelo biólogo Ludwing von Bertalanffy, foi uma das principais responsáveis para a integração do conhecimento científico, onde a teoria descrevia que os objetos foram organizados em forma de sistemas que haviam ligações únicas, ou em rede ou em influência dos subsistemas vizinhos tudo estaria conectado (SILVA, 2016). Christofoletti (1979) entendia que este novo paradigma pretendia superar, até então utilizada pela ciência clássica, a ótica reducionista. Contudo, o enfoque sistêmico passou somente a se propagar pela ciência a partir da década de 60.

O sistema é como um agrupamento de elementos e seus atributos e que entre si estabelecem relações (CHRISTOFOLETTI, 1980). Ross (2006) escreve que os sistemas são formados por seus elementos e combinações, que são expressados nas suas relações e arranjos dos seus componentes, caracterizados por fluxos de matéria e energia, constituindo partes de um todo inseparável.

O enfoque sistêmico, segundo Bertalanffy (1975), demonstra a interação de diferentes áreas do conhecimento, em que um modelo com a capacidade de analisar as interações complexas dos subsistemas e o sistema ambiental é a sustentabilidade dos recursos naturais. Quando utilizada para interpretação da natureza na teoria sistêmica há a necessidade de fugir da óptica reducionista devido requerer uma visão mais abrangente e da totalidade.

Christofoletti (1979) pondera que para serem classificados como um sistema os conjuntos devem ter: elementos, a relação entre eles, atributos (do sistema e dos elementos), entrada (*input*) e saída (*output*) de energia, matéria e informação (ALMEIDA, 2014).

Figura 1 - Representação de um sistema.



Fonte: Adaptado de Christofoletti (1979)

Christofoletti (1999) considera que quando associado à noção de natureza o termo sistema possui funcionamento orgânico, sendo que as suas funções são exercidas de maneira interdependente e integrada. Através da abordagem sistêmica e holística é possível entender o funcionamento e a estruturação das entidades físicas ambientais, abrangendo o estudo da sua complexidade.

A abordagem dos sistemas integrados e seus elementos foi instaurada devido a necessidade da ciência em superar o império do paradigma racionalista, com a proposta de uma visão sistêmica, sobressaindo a visão de natureza inanimada, de um mundo orgânico, procurando recuperar o pensamento holístico (SUERTEGARAY, 2002).

Ao observar que muitos dos questionamentos das Ciências da Terra, Ciências Sociais, entre outras, não conseguiriam ser demonstradas pelo reducionismo tradicional, Bertalanffy buscou criar uma linguagem científica única que se concretizasse pelas diversas áreas do conhecimento. Desta forma, com a necessidade de busca em uma nova linha de pensamento nas suas pesquisas, quebrando o paradigma da ciência, ou seja, sendo um paradigma alternativo, surge a Teoria Geral dos Sistemas (ALMEIDA, 2014).

Camargo (2005) entendia que a ciência clássica partia do isolamento do todo em seus métodos de investigação e explicação da realidade, enquanto a Teoria Geral dos Sistemas propõe a compreensão dos fenômenos através da interconectividade holística. Segundo Rodriguez e Silva (2009), o método sistêmico retrata uma perspectiva interdisciplinar, além de constituir uma metodologia para os estudos dos objetos integrados.

Vários segmentos da ciência, inclusive a Geografía Física, foi influenciada pela Teoria Geral dos Sistemas. Nas pesquisas geográficas o paradigma sistêmico, utilizado como pressuposto teórico-metodológico, objetiva em um sistema espacial procurar compreender a sua complexidade e explicar a sua organização, baseada nas interações que atuam entre os elementos formadores, conferindo-lhes não linearidade e dinamismo (ALMEIDA, 2014).

2.2 A Teoria Geral de Sistema no estudo da Paisagem na Geografia

Pressuposta da interação das variáveis ambientais a categoria de análise Paisagem é interpretada como uma unidade complexa com variáveis inter-relacionadas (FERREIRA, 2016). Na Geografia, Britto e Ferreira (2011), entendem que a paisagem assumiu um caráter de diversos significados, mutável entre as múltiplas abordagens geográfica, sendo dependente das influências discursivas e culturais entre os geógrafos. Desta forma, há uma complexidade do conceito, devido a forma de tratamento dado pelas diversas correntes, moldadas em determinados contextos históricos e culturais.

Meados dos anos 60, o geógrafo Sotchava empregou o conceito de *Landschaft* (paisagem natural) atribuindo-o como sinônimo da noção de geossistema, iniciando a associação da análise espacial com a análise funcional. De acordo com os seus trabalhos, o destaque é dado nas interações dos diversos componentes, pretendendo uma abordagem sistêmica, visto que a Geografia Física tem a necessidade de analisar o Meio Natural abrangendo as modificações antrópicas. Desta maneira, considerada como uma formação sistêmica, a paisagem era formada por cinco atributos sistêmicos fundamentais: estrutura, funcionamento, dinâmica, evolução e informação (BRITTO; FERREIRA, 2011).

Nesta ótica, Sotchava (1977) alega que os geossistemas são construídos perante duas classes independentes definidas como: geômeros, correspondente a estruturas homogêneas, e geócoros, referentes a estruturas heterogêneas, delimitando-se em níveis hierárquicos que a três níveis taxonômico são obedecidos: topológico, regional e planetário. Sotchava ainda referia a construção do geossistema conforme bases de ordem natural, integrada por fatores bióticos e abióticos, e ainda que considerado a dimensão antropocêntrica, os entes fundamentais para a composição de um geossistema são os atributos naturais (ALMEIDA, 2014; NETO, 2008). Para Sotchava (1977, p. 07). "As ditas paisagens antrogênicas nada mais são que estados de primitivos geossistemas naturais, podendo ser referido à esfera do estudo do problema da dinâmica da paisagem".

Em 1968, Georges Bertrand aprimora o conceito de geossistema anteriormente concebido por Sotchava, oferecendo uma conotação mais precisa à unidade geossistêmica, instituindo uma tipologia espaço-temporal compatível a escala socioeconômica, destacando os fatores socioeconômicos e biogeográficos na qualidade de seus principais conformadores, além de relacionar a evolução dos solos à cobertura vegetal, as condições de evolução e seus processos adjuntos, conforme a teoria do pedólogo alemão Erhart: bio-resistasia (NASCIMENTO; SAMPAIO, 2005).

Bertrand (1972) define que na paisagem há a integração com os fatores humanos, sendo incluído o item indispensável para o estudo das paisagens: a noção de escala. Desta forma, não se refere da paisagem "natural", e sim da paisagem total. As unidades de paisagens são definidas em função de escala, organizados em paisagens terrestres através de seis níveis espaciais e temporais, fragmentadas em unidades superiores e inferiores. As unidades superiores são compostas em a zona, domínio e região. A primeira unidade de grandeza é a zona que está relacionado ao conceito de zonealidade planetária, sendo definido primeiramente pelos seus biomas e seu clima, acessoriamente por certas megaestruturas. A segunda unidade de grandeza é o domínio, devendo sua definição ser maleável, de maneira a permitir reagrupamentos diferentes através de fatores diferentes. Situado entre a terceira e quarta grandeza, a região é relacionada dentro do domínio a individualização dos aspectos físicos (ALMEIDA, 2014).

Por outro lado, as unidades inferiores são divididas em geossistemas, geofáceis e geótopo. Entre a quarta e a quinta grandeza está o geossistema, esta escala apresenta conforme Bertrand (1972, p. 06) "a maior parte dos fenômenos de interferência entre os elementos da paisagem e que evoluem as combinações dialéticas mais interessante para os geógrafos.". Devido a compatibilidade com a escala humana, o geossistema constitui uma boa base para os estudos de organização do espaço. Geofácies, situado na sexta grandeza de escala temporo-espacial de A. Cailleux e J. Tricart, corresponde a um setor fisionomicamente homogêneo no geossistema. Nesta escala, a exploração biológica vem a ser determinada, repercutindo na evolução do potencial ecológico. Por fim o Geótopo, que condiz com a menor unidade homogênea discernível no terreno (ALMEIDA, 2014; BERTRAND, 1972, p. 06).

No início do século 19, a Geografia teve uma influência muito forte da Ecologia, principalmente pelos trabalhos do naturalista Alexander von Humbolt, apontado como pai da Biogeografia, além de outros estudos de Ritter e Ratzel e dos russos Dokucháev e Voiéikov (VALE, 2012).

Meados dos anos 80 do século XX, com o intuito de espacializar os ecossistemas, ultrapassando a visão funcional e verticalista da Ecologia Tradicional, a Ecologia voltou-se pelo

conceito de paisagem, originando a Ecologia das Paisagens. Na ecologia a estrutura das paisagens é vista como a estrutura biótica dos ecossistemas, isto é, a relação do espaço físico com os sistemas bióticos. Neste caso, a estruturação do geossistema é determinada como uma poliestrutura, abrangendo geoestrutura morfolitogênica, hidroclimatogênica e biopedogênica, adequadamente hierarquizados em diversos níveis e ordens. Ainda nos anos 80, a Geografía Física das Paisagens começou a ser intitulada Ecogeografía ou Geoecologia, com o seu desenvolvimento feito principalmente pela escola de Jean Tricart. Consideradas por essa linha de pensamento como sistemas ambientais de excelência, as unidades ecodinâmicas eram fundamentadas no relevo e na geomorfologia, tendo esses como a sua base essencial (RODRIGUEZ; SILVA, 2002).

Tricart na década de 70, através de sua obra Ecodinâmica, sistematizou e realizou uma análise sistêmica do meio natural, buscando contribuir com o ordenamento e planejamento desse meio, alegando uma preocupação com as demandas ambientais. Conforme Tricart, o melhor mecanismo lógico que a Geografia Física dispõe é a utilização do conceito de sistemas. O autor estabeleceu os meios ecodinâmicos através da relação morfogênese/pedogênese, com uma classificação ecodinâmica do meio ambiente, compreendendo em três tipos de meios morfodinâmicos: meios estáveis, meios *integrades* e meios fortemente instáveis (ALMEIDA, 2014).

Conforme Tricart (1977), os meios estáveis caracterizam por lento processo de evolução, não comportando manifestações catastróficas no sistema morfogenético, prevalecendo os processos pedogenéticos. As condições se assemelham àquelas que o fítoecologistas sinalizam pela expressão clímax. Em regiões que apresentam as coberturas vegetais suficientemente fechadas, dissecação moderada e ausência de manifestações vulcânicas passíveis de provocar paroxismo morfodinâmico de aspecto mais ou menos catastróficos, são classificadas como meios morfodinamicamente estáveis. Os meios *integrades* indicam uma transição, entre os meios instáveis e meios estáveis, reconhecidos por intermédio permanente de morfogênese e pedogênese, presentes de maneira concorrentes em um mesmo espaço. Os meios fortemente instáveis, a predominância é da morfogênese na dinâmica natural, sendo um fator determinante no sistema natural, enquanto os outros elementos estão subordinados a sua atuação (BRITTO; FERREIRA, 2011).

Ross (2006) considera que para os geógrafos russosoviéticos e franceses o auxílio teórico dos geossistemas está baseado na concepção de paisagem ecológica, conceito utilizado meados da década de 30 por Karl Troll. Para Monteiro (1984) a compreensão da paisagem em uma abordagem sistêmica necessita do entendimento do processo interativo dos fatores que o

moldam. Desta forma, há uma maior integração entre o ser humano e o natural quando a forma de investigação da paisagem é através de análise geossistêmica.

Para Mendonça (1996) o geossistema é onde se encontram, misturam-se e interferem litomassa, aeromassa, hidromassa e biomassa, uma conceituação de epiderme da Terra. Além de fazer a conexão da natureza com a sociedade humana, através da análise integrada do complexo físico-geográfico. Apesar dos geossistemas serem fenômenos naturais o seu estudo abrange os fatores sociais e econômicos, onde os modelos reproduzem parâmetros econômicos e sociais das paisagens alteradas pelo homem.

Oliveira (2003) descreve que no geossistema há a representação de um conjunto orgânico e dinâmico constituído por elementos bióticos, abióticos e antrópicos, suas relações e seus atributos, variantes no tempo e no espaço, entre si, na medida que a paisagem seria a materialização de um estado do geossistema.

O objeto de estudo da Geografía e da paisagem devem ser visualizados na forma que há a associação de elementos abióticos, bióticos e antrópicos, de maneira que os conjuntos possam trabalhar em modelo de sistema, ou seja, como uma realidade integrada (GUERRA; MARÇAL, 2006). De acordo com as definições, Lima e Martinelli, (2008) concluem que na paisagem os eventos naturais e sociais podem incorrer em diversas origens temporais que concorrem de forma simultânea e integrada no espaço. A abordagem sistêmica se consolida na área da Geografía teórica e aplicada com o estabelecimento dos estudos geográficos na perspectiva dos geossistemas (NETO, 2008).

Desta forma, a paisagem compõe-se como o produto do estabelecimento da inter-relação entre a esfera natural e humana, dado que a natureza é percebida e apropriada pelo homem (SILVEIRA, 2009). Conforme Almeida (2014), como maior transformador da paisagem, o homem não poderia ser descartado como agente ativo, em uma análise dessa magnitude, tornando-se mais ampla e completa.

A noção de paisagem é, tanto para cientistas de diversas áreas quanto para geógrafos, o ponto inicial para a assimilação das complexas relações entre a natureza e o homem, procurando diante dela uma compreensão global da natureza, além de possibilitar projeções de uso, gestão de espaço e planejamento territorial (SILVEIRA, 2009).

2.3 Análise integrada da Paisagem

A Análise Integrada da Paisagem está fundamentada na teoria sistêmica aplicada a Geografia Física, em que possibilita a ligação entre a complexidade das variáveis biofísicas e ambientais aos elementos antrópicos no que se refere aos estudos da paisagem, contudo na Geografia Física, em questões de estudos ambientais, eram praticados de forma setorizada (ALMEIDA, 2014). Com o objetivo de analisar os elementos constituintes da natureza, através de suas conexões, de forma integrada, os estudos integrados, por intermédio da unificação das ciências da terra, procuram uma percepção holística do meio (NASCIMENTO; SAMPAIO, 2005).

A paisagem composta na associação de aspectos físicos e sociais, constitui a natureza integrada, sendo primordial para elaboração de pesquisas aplicadas e metodologias para uma administração conveniente e sustentável dos recursos naturais (GUERRA; MARÇAL, 2006). Na Geografia, a análise integrada, através de uma realidade sistêmica, aparece com a necessidade de realizar a compreensão holística da relação sociedade/natureza. Nesta ótica da análise, para constituir um todo integrado e organizado, são considerados diversos elementos dos sistemas ambientais, como suas características, dinâmicas e evoluções. Na Geografia Física, a representação do entendimento da natureza em uma interpretação integrada ao meio ambiente é realizada através da análise da paisagem (ALMEIDA, op. cit.).

O entendimento de análise ambiental explora a maneira de como os diversos componentes geoambientais se organizam e inter-relacionam, desta forma considerando a dinâmica da inter-relação dos componentes, a visão estática dos estudos setorizados torna-se abandonada. Na análise ambiental integrada, o estudo da natureza se limita ao conhecimento isolado dos componentes do meio físico, pautando-se em uma visão integrada do meio ambiente, através da compreensão das inter-relações de seus componentes. Nesta perspectiva o intuito é obter uma noção de totalidade, desconsiderando a divisão formal definida por setores das ciências, de maneira que a natureza se estabelece como um todo e não uma somatória de suas partes (SANTOS, 2011).

A análise integrada da paisagem na Geografía auxilia os estudos ambientais interdisciplinares, para compreender e considerar a paisagem numa concepção sistêmica é imprescindível salientar a elaboração de estudos geomorfológicos, geológicos, pedológicos, climatológicos, hidrológicos, fitográficos e de uso da terra, procurando construir uma análise integrada, encaminhando a uma delimitação e caracterização das unidades geossistêmicas e das unidades de paisagem que demonstram, frente às intervenções humanas, maior ou menor

fragilidade ambiental. Estes dados podem produzir ferramentas que contribuem para o planejamento territorial por parte dos sistemas antrópicos que exploram o potencial ecológicos das diversas unidades de paisagens, procurando a sustentabilidade (FERREIRA, 2016).

2.4 Bacia hidrográfica como unidade sistêmica de análise

Com o início dos anos 90 do último século, um dos temas que passaram a ser destaque no cenário da sociedade foram as questões ambientais, visto que instaurou-se nas populações humanas a conscientização de que certas atividades ambientais podem afetar tanto a sua qualidade quanto a sua disponibilidade, uma vez que os recursos naturais são finitos. Desta maneira a não preservação compromete o futuro das próximas gerações. Nesta perspectiva, a atenção é direcionada ao recurso água, em virtude deste recurso natural ser fundamental para a manutenção do equilíbrio ecológico e da vida humana.

Em muitas pesquisas ambientais o conceito de bacia hidrográfica é profusamente utilizado, buscando contribuir na compreensão do planejamento e gestão ambiental e utilizam como unidade de análise, conforme os trabalhos de Ferreira (2011), Luiz (2008), Melo (2012), Nunes (2012, 2014), Valente (2001), Watanabe (2011), Storani (2010), Nascimento e Vilaça (2008).

Conforme Almeida (2014), a bacia hidrográfica vem sendo mais reconhecida, a datar dos anos 60 do século XX, com o intuito de ser uma estratégia holística do uso dos recursos naturais renováveis, almejando o desenvolvimento sustentável através da conservação do solo e da água. Christofoletti (1979) classifica como um sistema não isolado do tipo aberto as bacias hidrográficas, devido a troca incessantemente com outros sistemas de energia e matéria. As bacias, segundo Christofoletti (1980), retratam uma boa demarcação no espaço de um sistema natural, formadas por agrupamentos de áreas topograficamente drenadas por um sistema fluvial ou um curso d'água.

Bourlon e Berthon (1998) relata que dado os problemas ambientais, houve a necessidade de buscar um modelo de desenvolvimento sustentável, a partir desta necessidade empregaram para o planejamento e gerenciamento de recursos naturais o conceito de bacia hidrográficas. As interligações entre os subsistemas econômico, social, biofísico e demográfica integram a bacia hidrográfica. Desta forma, retrata um arranjo dinâmico entre a sociedade e a natureza, em que a estrutura geoecológica sofre ação da estrutura socioeconômica para conceber a paisagem (ALMEIDA, op. cit.).

Segundo, Botelho e Silva (2004) a bacia hidrográfica é considerada, sob a ótica sistêmica e integrada do meio ambiente, uma unidade essencial da Ciências Ambientais, direcionada para a pesquisa de planejamento e conservação de recursos naturais. Pires, Santos e Del Prette (2002) consideram que, na área de planejamento ambiental, a implantação da bacia hidrográfica como uma unidade de gestão da paisagem tem sido cada vez mais utilizada. Sob a perspectiva hidrológica, a bacia hidrográfica compreende uma representação de unidade mais adequada para análise quantitativa e qualitativa do recurso água e dos fluxos de sedimentos e nutrientes.

Ao se tratar de planejamento e gerenciamento de bacias hidrográficas, conforme Lorandi e Cançado (2002), devem o planejamento:

"a) incorporar todos os recursos ambientais da área de drenagem e não apenas hídrico; b) adotar uma abordagem de integração dos aspectos ambientais, sociais, econômicos e políticos, com ênfase nos primeiros e, c) incluir os objetivos de qualidade ambiental para utilização dos recursos, procurando aumentar a produtividade dos mesmos e, ao mesmo tempo, diminuir os impactos e riscos ambientais na bacia de drenagem." (LORANDI; CANÇADO, 2002, p. 37).

A utilização do conceito de Bacia Hidrográfica quando para conservação de recursos naturais, relaciona-se a possível avaliação do potencial de desenvolvimento e produtividade biológica de uma determinada localidade geográfica, promovendo uma melhor maneira de aproveitar os mesmos, com mínimo impacto ambiental. Praticamente, o uso do conceito de bacia hidrográfica baseia-se na delimitação de um espaço fípsico funcional, em que no mesmo devem ser produzidos mecanismos de gerenciamento ambiental no ponto de vista do desenvolvimento sustentável (PIRES; SANTOS; DEL PRETTE, 2002).

2.5 Geotecnologias para estudos ambientais

Através do avanço tecnológico surgiu a geotecnologia, com o agrupamento de tecnologias ligadas a equipamentos como receptadores, *software* e *hardware* correlacionados a técnicas cujas funções são coletar, processar, analisar e representar informações com referências geográficas. O Sensoriamento Remoto, o Sistema de Informações Geográficas (SIG) e a Cartografia digital, são três elementos do Geoprocessamento, com a capacidade de integrar e relacionar variáveis sobre as diversas áreas do conhecimento, ordenado em *softwares*, *hardwares* e usuários do campo de processamento de dados (FERREIRA, 2016).

Para Rosa (2003) o geoprocessamento pode ser descrito como conjunto de tecnologias designadas a colher e tratar informações espaciais, bem como produzir novos sistemas e aplicações, com diversos níveis de sofisticação. A aplicação do geoprocessamento pode ser indicada para aqueles que exercem a profissão com cartografia digital, processamento digital de imagens e sistema de informação geográfica (SIG), apesar destas atividades serem distintas elas apresentam uma inter-relação, utilizando na maioria das vezes os mesmos atributos de *hardware*, contudo com *software* diferente.

Processamento Digital de Imagens

Sistema de Informações Geográficas

Banco de Dados

Figura 2 - Atividades principais envolvendo o geoprocessamento

Fonte: Adaptado de Rosa (2003)

Segundo Avelino (2006), dentro de um campo de conhecimento moderno, o geoprocessamento configura tecnologia da cartografía digital, sensoriamento remoto, estatística ambiental e sistemas de informações geográficas. Neste cenário, segundo Ferreira (2016), em pesquisas sobre recursos hídricos, especialmente em bacias hidrográficas, o geoprocessamento possibilita o processamento digital de dados orbitais e cartográficos, produzindo informações georreferenciadas sobre características físicas, socais e econômicas.

Rosa (2013) entende que o Sensoriamento Remoto pode ser caracterizado como uma maneira de obter informações, sem que ocorra um contato físico, de um alvo ou objeto. A obtenção das informações acontece através do uso de radiação eletromagnética produzidas tanto por fontes naturais, como a Terra e o Sol, quanto artificiais através de Radar. A definição de Sensoriamento Remoto por Florenzano (2011) é dada como uma tecnologia capaz de obter imagens e outros tipos de dados, da superfície da terra, mediante a obtenção e do registro de energia emitida ou refletida pela superfície. O termo sensoriamento é relacionado à forma de

captação de dados que ocorre através de sensores em plataformas terrestres, aéreas e orbitais. Enquanto o remoto, se relaciona a distância de obtenção dos dados, sem algum contato físico entre o sensor e os objetos terrestres.

Para Meneses e Almeida (2012)

"uma definição mais cientifica que se pode dar ao Sensoriamento Remoto seria: Sensoriamento Remoto é uma ciência que visa o desenvolvimento da obtenção de imagens da superfície terrestre por meio da detecção e medição quantitativa das respostas das interações da radiação eletromagnética com os materiais terrestres." (MENESES; ALMEIDA, 2012, p. 03)

As informações obtidas no sensoriamento remoto podem ser tratadas com o uso do Sistema de Informação Geográfica (*software*), orientados para tratamento de imagens orbitais. Possibilitando diversas ações, especialmente, processamento digital de imagens orbitais, recortes, ampliações de áreas de pesquisa, classificações temáticas de objetos, tendo o produto das classificações mapas temáticos. Em se tratando de planejamento e gerenciamento de recursos hídricos, os dados provenientes do Sensoriamento Remoto podem contribuir bastante, tendo em conta os resultados orbitais disponibilizados, derivados de diferentes características dos satélites e seus sensores remotos (FERREIRA, 2016).

Conforme Piroli (2010), os Sistemas de Informações Geográficas (SIG), são sistemas de informação designados a trabalharem com dados referenciados às coordenadas espaciais. Geralmente, formados por programas e processos de análise, cuja característica principal é relacionar um dado de interesse com sua localidade espacial. Programas esses que possibilitam o manuseio de informações geograficamente referenciadas e suas respectivas propriedades e a integração dessas informações em inúmeras operações de análise geográfica.

Em relação ao SIG, o objetivo principal é promover instrumentos para as diversas áreas do conhecimento que necessitam do uso de mapas, viabilizando uma integração das informações de vários aspectos de uma respectiva região através de uma única base de dados, possibilitando a entrada de dados, promovendo uma relação entre dados de diversas fontes, elaborando gráficos e relatórios, entre outros (ROSA; BRITO, 1996).

Câmara, Davis e Monteiro (2001) expõem que as ferramentas computacionais para Geoprocessamento (SIG) possibilitam a execução de análises complexas, integrando os dados de diversas fontes e ao produzir banco de dados geo-referenciados.

Para Sanchez (1981) a Cartografia é um dispositivo essencial para a tomada de decisão e planejamento. Conforme ocorrem algumas modificações em determinadas áreas, há a necessidade contínua de atualização cartográfica, observando a preocupação com os estudos e

operações científicas, que objetivam a obtenção de dados e informações para a produção de representações gráficas: mapas, gráficos, cartas, plantas entre outras maneiras de expressão, assim como também, da sua utilização.

Desta forma, no geoprocessamento a cartografia digital possui um papel fundamental, visto que o mapa é uma das principais formas de divulgação dos resultados. As tecnologias associadas ao geoprocessamento apresentam grande importância para os estudo sistemáticos sobre questões ambientais, descritos com meios técnicos, idiomáticos e logaritmos que compreendem base de dados sobre as particularidades territoriais. Além de que, a forma de tratamento da informação espacial nos sistemas de informações geográficas, representa a modelagem lógicas dos dados, que aborda da representação geométrica dos dados (FERREIRA, 2016).

2.6 Processo analítico hierárquico para estudos ambientais

Desenvolvido por Saaty em 1977, o processo analítico hierárquico propõe uma metodologia de assistência com multicritério para tomadas de decisão. Descreve Spörl (2007):

"Trata-se de uma técnica com base matemática que permite organizar e avaliar a importância relativa entre critérios e medir a consistência dos julgamentos. É um método de escolha baseada na lógica da comparação pareada. Neste procedimento diferentes fatores que influenciam a tomada de decisão são comparados dois-a-dois, e um critério de importância relativa é atribuído ao relacionamento entre estes fatores." (SPÖRL, 2007, p. 32).

Conforme Saaty (1980), no modelo AHP quando na organização dos dados, há uma distribuição em diferentes níveis hierárquicos das variáveis, nesta lógica, a influência maior é sempre ocasionada pelas variáveis de maior importância sobre as variáveis de menor importância, em níveis hierárquicos mais baixos. Segundo Silva e Nunes (2009), no modelo AHP a escolha é instituída na lógica de comparação par a par (*pairwise comparison*), onde há a organização hierárquica dos diferentes fatores que influenciam a tomada de decisão, e comparados entre si, obtém-se por fim um valor de importância relativa (peso) que é imposto à relação entre os respectivos fatores, em conformidade com uma escala pré-definida que indica a intensidade que um fator prevalece sobre o outro, no tocante da tomada de decisão.

A análise hierárquica processual (AHP) é descrita por Saaty (2008) como uma maneira organizada de gerar prioridades na tomada de decisão, o método, segundo o autor, é um reflexo do processo natural de funcionamento da mente humana, já que ao confrontar uma certa

quantidade de variáveis, controláveis ou não, que englobam determinada situação complexa, ela os associam em grupos, dada as propriedades comuns.

De acordo com Kiker et al. (2005) a utilização do método AHP vem se destacando em variados segmentos do saber, isto devido apresentar individualidade na capacidade de associar as informações científicas e os dados quantitativos. A combinação do uso de AHP com SIG, exibe uma maneira de progredir no sistema de avaliação de qualidade ambiental, promovendo a capacidade do SIG em análises espaciais e as possibilidades de análise das multicamadas do AHP.

Conforme a interpretação de Spörl (2007) de Câmara, Davis e Monteiro (2001), baseada na comparação pareada há a possibilidade de organizar e avaliar a importância relativa entre as variáveis ambientais e mensurar a consistências dos julgamentos. Esta metodologia tem a característica de ser um processo interativo e intuitivo, a qual permite avaliações, sejam objetivas sejam subjetivas, além de ter como característica principal uma estrutura hierárquica que subdivide o problema em níveis mais complexo ao mais simples, possibilitando um olhar mais claro e amplo, visando a avaliação de diversas linhas de ação, com a finalidade de ordenálas ao final, em conformidade ao objetivo global estabelecido.

Para Miara e Oka-Fiori (2007) o uso da metodologia AHP se revelou eficiente quando utilizada para estudos dos processos erosivos na bacia, isso porque leva em consideração as diferentes influências exercidas por cada variável física, quando se compara par a par entre as variáveis. Desta forma, por possibilitar a reunião de um grande número de variáveis em uma única avaliação, o método AHP apresenta desempenho favorável para análises de caráter ambiental.

Schmidt (1995) indica que o ingrediente essencial que fez a metodologia AHP obter sucesso em suas aplicações, é a capacidade de integrar e mensurar fatores importantes, qualitativos e/ou quantitativos, sejam eles intangíveis ou tangíveis, além da facilidade de utilização.

2.7 Fragilidades/Vulnerabilidades Ambientais e Intervenções Humanas

Segundo Almeida (2014) a abordagem ecodinâmica da paisagem sugerida por Tricart (1977), bem como a teoria geossistemica empregadas a Geografia, possibilitam a individualização de repartições da paisagem, em unidades onde as formas e os processos podem ser semelhantes. Conforme Rodrigues (2001):

"...é possível classificar essas unidades quanto a sua estabilidade (formas e processos), singularidade e grau de recorrência (diversidade ambiental), fragilidade ou vulnerabilidade, no que se refere as interferências antrópicas, entre outras discriminações úteis na esfera do planejamento e gestão territorial característicos" (RODRIGUES, 2001, p. 76).

Face às intervenções humanas, os sistemas ambientais, apontam maior ou menor fragilidade em função de suas características nativas. A mínima alteração nos diferentes elementos da natureza: relevo, vegetação, solo, clima e recursos hídricos, ocasiona o comprometimento da funcionalidade do sistema, rompendo o seu estado de equilíbrio dinâmico (SPÖRL; ROSS, 2004). Grigoriev (1968) assegura que a formação do estrato geográfico da terra é composta pela crosta terrestre, a hidrosfera e a cobertura vegetal, além de outros, significando que há um conjunto de fatores que indica o ambiente em que o ser humano vive, sendo que esses conjuntos são interligados, desta forma, o estudo deles deve ser feito de forma integrada e não isoladamente. Seguindo este raciocínio, Sotchava (1977) diz que as problemáticas centrais da Geografia Física não são simples, e que os estudos das componentes da natureza não devem ser somente feitos de forma isolada, visto que há as conexões entre elas, desta forma, os estudos não devem se limitar a morfologia da paisagem e suas subdivisões, mas encaminhar para o estudo da sua dinâmica, o qual leva em consideração a conexão entre o homem e a natureza.

Um conceito importante na geografia é desenvolvido por Tricart (1977) que trata o ambiente sob a ótica da teoria dos sistemas, partindo da conjectura de que a natureza, as forças de energia e matérias se processam através de relações de equilíbrio dinâmico. A teoria de Tricart (op. cit.) considera que o homem atua efetivamente nos ecossistemas onde reside, alterando-os para atender suas necessidades e anseios, sendo que as alterações de determinada sociedade variam de acordo com os graus de desenvolvimento tecnológico e de seus movimentos históricos e sociais, provocando adequações no meio ambiente para que possa adaptar-se a essas modificações (PINTO, 2016).

Os pesquisadores Ross (1994) e Crepani et al. (2001) produziram a partir do conceito de unidades ecodinâmicas suas metodologias. Ross (1994) emprega o conceito, implementando unidades de instabilidade em potencial e unidades de instabilidade emergente. Enquanto Crepani et al. (2001), no entendimento do conceito a ecodinâmica, junto ao INPE, utiliza a expressão Unidades Territoriais Básicas, onde são definidos graus de vulnerabilidades para os temas geologia, geomorfologia, solos, vegetação e clima, podendo ser compreendido como "unidades de paisagem natural". Mais tarde, houve a inclusão do uso e ocupação da terra

denominado "polígonos de intervenção antrópica". O propósito do método, era subsidiar a proposta metodológica para o Zoneamento Econômico e Ecológico da Amazônia Legal. Posteriormente, com a intenção de confrontar ao método proposto por Crepani et al. (2001), Spörl e Ross (2004) fizeram uma comparação da fragilidade ambiental a partir dos três métodos, consistindo no resultado de três cartas de fragilidade.

O primeiro foi método baseado nos Índices de Dissecação do Relevo proposto por Ross (1994), o qual as unidades de fragilidades são produtos dos levantamentos de relevo, solo, cobertura vegetal, uso do solo e clima. As variáveis levantadas são hierarquizadas em classes, representadas através de dígitos de 1 a 5, em que o valor 5 indica grau de fragilidade muito forte, enquanto o valor 1 índica o grau de fragilidade muito fraco.

O segundo método, preconizado por Ross (1992), tem como base as classes de declividade, em que os elementos físicos levantados são os mesmos proposto no primeiro método, contudo, os índices de dissecação do relevo não empregados como apoio para produção da carta síntese de fragilidade, mas por outro lado as classes de declividades são empregadas, que vão de muito fraca (< 6%) a muito forte (> 30%).

Feita a comparação dos métodos, Spörl e Ross (op. cit.) por não ter estabelecido uma comparação dos modelos empíricos com a realidade de campo, não obtiveram um apontamento para o qual é mais adequado.

2.8 Comparação dos modelos de Ross (1994) e Crepani et al. (2001)

Conforme Bastos (2016), as diferenças observadas no procedimento de aplicação da compreensão de unidades ecodinâmicas em cada método estão diretamente relacionadas aos conceitos de paisagem e análise integrada.

De acordo com Fagundes (2013) a Fragilidade Ambiental de Ross (1994) segue a relação entre o equilíbrio dinâmico na condição natural de uma área, com os ambientes naturais que foram alterados por atividade antrópica, como desmatamento, agriculturas, urbanização, considerados ambientes antropizados, por outro lado, a proposta de Vulnerabilidade Natural a Erosão de Crepani et al. (2001) obedece a relação entre os processos relacionados à pedogênese (formadores do solo) e à morfogênese (modificadores das formas de relevo).

Em relação a escala, Fagundes (2013) descreve: para Ross a metodologia é desempenhada sobre a compartimentação de área de estudo com base na matriz de dissecação de relevo, tornando mais aplicável em escalas regionais. Ao passo que na metodologia de

Crepani et al. (2001) é desempenhada sobre a compartimentação da área de estudo através de imagem de satélite, permitindo o trabalho em várias escalas.

Há a possibilidade de estabelecer uma correlação terminológica, permitindo um enquadramento dos graus de instabilidade potencial de Ross (1994) na matriz numérica de Crepani et al. (2001), procurando estabelecer certo grau de equivalência.

Tabela 1 - Equivalência dos conceitos de Fragilidade Ambiental e Vulnerabilidade Natural a Erosão

Classe de Fragilidade Ambiental	Grau de Fragilidade	Classes de Vulnerabilidade a Erosão	Valor médio do grau de vulnerabilidade	Relação Pedogênese/Morfogênese
Muito fraca	1111	Estável	1 - 1,3	Prevalece a pedogênese
Fraca	Valores intermediários específicos em cada áreas	Moderadamente estável	1,4 - 1,6	Prevalece a pedogênese com aumento da morfogênese
Média	Valores intermediários específicos em cada área	Medianamente Estável	1,7 - 2,0	Equilíbrio pedogênese/morfogênese
Forte	Valores intermediários específicos em cada área	Moderadamente vulnerável	2,1 - 2,4	Prevalece a morfogênese com a redução da pedogênese
Muito forte	5555	Vulnerável	2,5 - 3,0	Prevalece a morfogênese

Fonte: Ross (1994) e Crepani et al. (2001); org. Fagundes (2013)

A variável Geologia não é aplicada diretamente na análise de ROSS, op. cit., pois, a metodologia já o incorpora na variável Geomorfologia, as características morfogenéticas do relevo e dos solos. A tabela abaixo sintetiza os critérios para avaliar as variáveis determinando assim o grau de fragilidade ambiental e vulnerabilidade natural a erosão do solo.

Tabela 2 - Variáveis nas metodologias de Ross (1994) e Crepani et al. (2001)

Variável	Ross (1994)	Crepani et al. (2001)
Geologia	-	x
Geomorfologia	х	X
Pedologia	х	X
Vegetação e Uso da Terra	х	X
Clima	х	X

Fonte: Ross (1994) e Crepani et al. (2001); org. Fagundes (2013)

A variável Geologia não é aplicada diretamente na análise de Ross (1994), pois a metodologia já o incorpora na variável Geomorfologia, as características morfogenéticas do relevo e dos solos.

A tabela abaixo sintetiza os critérios para avaliar as variáveis determinando assim o grau de fragilidade ambiental e vulnerabilidade natural a erosão do solo.

Tabela 3 - Critérios de avaliação dos temas

Tema	Critério de Avaliação	Escala de Valor	
Geologia	Dureza e porosidade da rocha	Rocha muito coesa – Estável Rocha pouco coesa – Instável	
Geomorfologia (Dissecação do relevo pela drenagem) Porosidade e permeabilidade do solo e da rocha		Maiores interflúvios (menor dissecação) – Estáve Menores interflúvios (maior dissecação) – Instáve	
Geomorfologia (Amplitude altimétrica)	Superficie exposta à ação da energia cinética	Menor amplitude – Estável Maior Amplitude – Instável	
Geomorfologia (Declividade) Grau de inclinação das vertentes		Menor declividade – Estável Maior declividade – Instável	
Pedologia Estrutura, permeabilidade, profundidade e manejo do solo		Solos desenvolvidos, intemperizados – Estável Solos rasos, pouco desenvolvidos – Instável	
Vegetação Densidade da cobertura		Altas densidades – Estável Baixas densidades – Instável	
Clima	Intensidade pluviométrica e distribuição sazonal	Menores índices pluviométricos e maior duração para o período chuvoso – Estável Maiores índices pluviométricos e menor duração para o período chuvoso – Estável	

Fonte: Ross (1994) e Crepani et al. (2001); org. Fagundes (2013)

Conforme Fagundes (2013), na metodologia de Crepani et al. (2001) o estabelecimento do grau de vulnerabilidade nas UTBs é calculado através da média aritmética entre as variáveis, pressupondo o peso igualitário a todos os temas, o que pode ocasionar a atenuação de fragilidades extremas para algumas variáveis por variáveis de baixa vulnerabilidade de outros temas. Enquanto na metodologia de Ross (1994) a variável mais expressiva para a determinação do grau de fragilidade é a dissecação do relevo, e as demais variáveis a hierarquizam, ou seja, a dissecação do relevo é o balizamento do resultado da fragilidade, porém pode não refletir as características da área, visto que nem sempre o relevo mais dissecado é o mais frágil, pois, depende também das outras variáveis.

3 LOCALIZAÇÃO E CARACTERÍSTICAS FISIOGRÁFICAS DA BHISF

Conforme Ab'Saber (2003) o domínio morfoclimático no qual a Bacia Hidrográfica do Igarapé São Francisco (BHISF) está inserida é o Morfoclimático Amazônico, localizando-se na porção Noroeste do estado de Rondônia, entre os paralelos (Latitude) 10°00'00'' S e 10°30'00'' S e os meridianos (Longitude) 64°10'00'' W e 63°90'00'' W, Datum WGS 1984. Possui uma área de 489,87 km2, que primariamente, eram cobertos por Floresta Ombrófila Aberta e suas faciações.

BURITIS

BUR

Figura 3 - Mapa de localização

Fonte: O autor (2019)

Conforme as divisões do estado, através do Zoneamento Sócio Ecológico Econômico (ZSEE RO), em zonas que regulamenta determinadas tipologias de uso, a bacia em estudo se encontra em duas subzonas: 1,2 e 1,3. A primeira é representada por área de uso agropecuário e floresta, com avançado processo de ocupação, enquanto a subzona 1,3 procura restringir a sua expansão, priorizando aproveitamento dos recursos naturais.

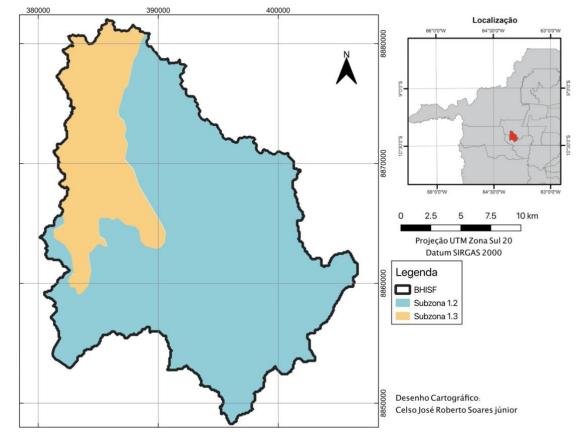


Figura 4 - Mapa da BHISF com recorte do ZSEE-RO

Fonte: Base de dados PLANAFLORO Rondônia (2001)

3.1 Clima: considerações sobre a precipitação

A classificação do clima do estado de Rondônia apresenta as características correspondentes ao tipo Aw da classificação de Köppen, ou seja, é equatorial de transição tropical, úmido, com forte diminuição de precipitação no inverno; nos meses de junho, julho e agosto ocorre o período seco, sendo a média anual de três meses secos, passíveis a fortes desvio pluviométricos estacionais durante os anos. Possui temperatura quente durante todo o ano, tendo insignificância na sua amplitude térmica anual, enquanto a amplitude térmica diária é elevada, particularmente no inverno, com frequência, abaixo de 18°C nas planícies e nos altiplanos das chapadas menores que 9° C, temperaturas médias mensais superiores a 18°C e estação seca bem intensa (RODRIGUES, 2015; THÉRY, 2012; DA SILVA, 2010).

Para a BHISF temos os dados, desde meados de 1970, da estação pluviométrica de código 1063000 instalada no município de Ariquemes, na escola Caramurú, com a distância de 56,4 km até a bacia.

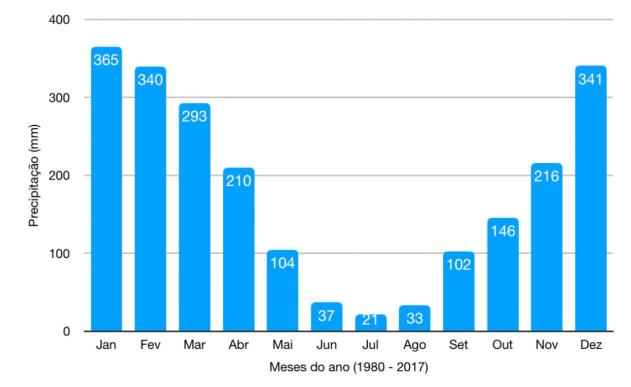


Gráfico 1 - Distribuição da precipitação média mensal de 1980 a 2017 na BHISF

Fonte: Base de dados ANA (2018)

Segundo os dados coletados da AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA (2018), o gráfico apresenta a precipitação dos anos de 1980 a 2017 completos (janeiro a dezembro), observa-se que na bacia há três meses secos: junho, julho e agosto, com precipitação abaixo dos 40 mm/mês, por outro lado, os meses mais chuvosos são de novembro a abril, com precipitações médias superiores a 200 mm/mês.

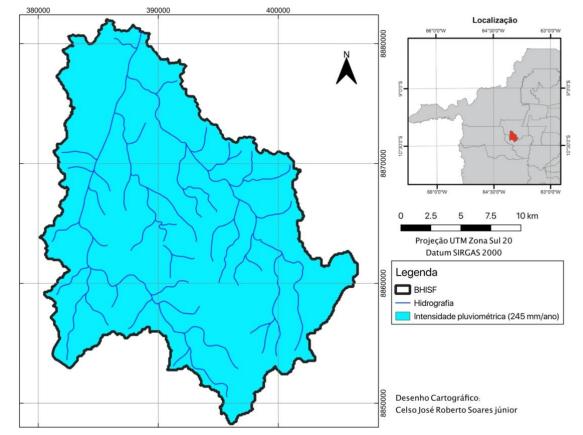


Figura 5 - Mapa de intensidade pluviométrica da BHISF

Fonte: ANA (2018)

3.2 Grandes grupos de solos da BHISF

Para análise dos dados pedológicos da Bacia Hidrográfica do Igarapé São Francisco foi utilizado como base de dados o PLANAFLORO (RONDÔNIA, 2001) e adaptados conforme o Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos – SIBICs. Seis tipos de solos caracterizam a BHISF.

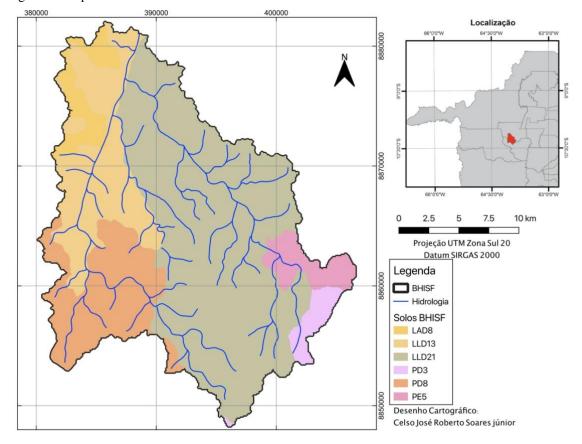
Tabela 4 - Quantitativo dos tipos de solos da BHISF

Tipo de Solos (Sigla)	Caracterização e Descrição	Área (km2)	% em relação a área
PD8	Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico + Latossolo Amarelo Distrófico textura argilosa e pedregoso	78,38	16%
LLD21	Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico + Neossolo Litólico Eutrófico textura arenosa	274,32	56%
PD3	Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico textura argilosa pedregoso relevo ondulado	9,80	2%

PE5	Argissolo Vermelho-Amarelo Eutrófico + Latossolo Vermelho-Escuro Eutrófico textura argilosa	19,59	4%
LAD8	Latossolo Amarelo Distrófico textura argilosa relevo ondulado	19,59	4%
LLD13	Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico + Latossolo Amarelo Distrófico textura argilosa relevo suave ondulado	88,18	18%

Fonte: Adaptado de PLANAFLORO Rondônia (2001)

Figura 6 - Mapa temático de solos da BHISF



Fonte: Base de dados PLANAFLORO Rondônia (2001)

Os Argissolos representam aproximadamente 40% da área do estado de Rondônia e, depois dos Latossolos, os argissolos possuem a ordem mais importante e mais extensa entre os solos brasileiros, além de ter como característica principal a presença do horizonte B textural imediatamente abaixo do horizonte A. Na bacia do Igarapé São Francisco encontra-se Argissolos Vermelho Amarelo caracterizados por serem composto de argila com baixa atividade, com horizonte A do tipo moderado e texturas média/argilosa e arenosa/média. Nos Argissolos com a textura cascalhenta, apresentada pela coloração vermelha-amarelada, propendendo ao vermelho à medida que se aproxima do horizonte C, possui boa capacidade de drenagem. Contudo, devido a elevada relação silte/argila, assim como também pela pequena coesão e adesão das partículas, são muito suscetíveis a processos erosivos, principalmente

quando expostos ou sem cobertura vegetal (SHINZADO; TEXEIRA; MENDES, 2010; BRASIL, 2015; SANTOS et al., 2018).

Os Argissolos, normalmente, são solos distróficos, com saturação por base inferior a 50%, onde é coberto por vegetação de floresta. Em comparação com os eutróficos, os quais possuem saturação por base superior a 50%, apresentam melhor estruturação do horizonte B textural (SHINZADO; TEXEIRA; MENDES, 2010).

Os Latossolos, possuem grande expressão geográfica no estado de Rondônia, totalizando, aproximadamente, 37% do total da área de Rondônia, como resultado de enérgicas transformações do material constitutivo, os Latossolos estão em avançado estágio de intemperização, bem evoluídos. Geralmente, esses tipos de solos são muito profundos, tendo raramente a espessura do *solum* inferior a 1 metro, e são gerados a partir de diversas espécies de rochas e sedimentos, sob as mais diversas condições climáticas e vegetacional (SIPAM, 2000; SHINZADO; TEXEIRA; MENDES, 2010; SANTOS et al., 2018).

Os Latossolos Amarelos possuem predominância da fração argila (argilosos ou muito argilosos), ainda que tendo em sua assembleia mineralógica essencialmente caulinita e óxidos de ferro e alumínio, quando secos apresentam rachaduras, em consequência de elevado percentual de argila. Possuem horizonte A do tipo moderado, com a variação de espessura entre 30 a 50 centímetros, apresentando elevada porosidade e permeabilidade interna, com drenagem excessiva ou muito rápida, o que garante maior resistência aos processos erosivos. Os Latossolos vermelho-amarelo, no tocante as características físicas, são de boa drenagem interna, boa aeração e ausência de impedimentos físicos à mecanização e à penetração de raízes. Porém, podem possuir baixa retenção de água e nutrientes naqueles que apresentam textura média, tendendo a arenosa (SANTOS et al., 2018; SHINZADO; TEXEIRA; MENDES, 2010).

Os Neossolos constituem por material mineral ou orgânico pouco espesso, os quais não apresentaram alterações expressivas em relação ao material originário, em consequência da baixa intensidade da atividade dos processos pedogenéticos. Litólico, como seu segundo nível categórico, são solos muito rasos, com horizonte A moderado, assentados diretamente sobre a rocha, por possuir pequena profundidade, limita o desenvolvimento radicular das plantas. Quando eutróficos, relaciona-se esses solos a rochas menos ácidas e mais ricas em bases, contudo não ameniza a limitação da profundidade e de relevo. Devido ter textura leve em superfície e o contato direto com a rocha, com pequena profundidade, torna esses solos muito suscetíveis a movimentações de massas, assim também suscetíveis a erosão, em que dependendo da velocidade do escoamento superficial e do comprimento do pendente, pode ter

a intensificação do processo erosivo maior ou menor (SANTOS et al., 2018; SHINZADO; TEXEIRA; MENDES, 2010).

3.3 Modelados geomorfológicos da BHISF

A área apresenta duas unidades geomorfológicas, de acordo com o PLANAFLORO (RONDÔNIA, 2001), conforme a tabela abaixo.

Tabela 5 - Dados geomorfológicos da BHISF

Siglas	Unidades Geomorfológicas	Características
D 2.2.3.1	Unidades	Superficie de Aplanamento: Nível II (< 300m) com Dissecação Alta e Nenhum
	Denudacionais	ou Esporádicos Inselbergs e Tors
D 3.1	Unidades	Agrupamentos de Morros e Colinas: Aberto com Colinas/Inselbergs Baixos e
	Denudacionais	Médios

Fonte: Rondônia (2001)

Ocupando a maior parcela do território do estado de Rondônia as superfícies de aplanamento consistem em extensas superfícies aplanadas, tratadas, conforme a literatura geomorfológica brasileira, como resultado de processo de pediplanação. O caimento das superfícies tem o sentido dos grandes rios que cortam o Estado. A principal característica do Nível II da superfície de aplanamento é o arrasamento generalizado dos materiais de cobertura do cráton, com a exposição do embasamento cristalino, composto por rochas graníticognáissicas. Os agentes erosivos atuaram fortemente na morfogênese, revelado através da exposição do embasamento, ou seja, resultou na atual superfície e seus residuais (*inselbergs*) com a rede de drenagem possuindo diferentes densidades, relacionadas principalmente à ocorrência de coberturas sedimentares neogêneas. A superfície tem variação entre quase plana e ondulada, podendo apresentar até mesmo colinas. Geralmente as áreas mais altas possuem melhor drenagem, tendo a presença de manto de intemperismo mais espesso e forte processo de pedogênese, enquanto nas áreas mais baixas e vales ocorre o contrário, apresentando drenagem imperfeita, o manto de intemperismo é menos espesso e a pedogênese é mais inicial (RONDÔNIA, op. cit.).

Conforme Rondônia (op. cit.), a dissecação média consiste em uma série de rebordos erosivos encontrados no contato entre os diversos níveis de dissecação localizados dentro das Unidades de Superfícies Tabulares Planas com Ferricrete "Cap Rock" e/ou Superfícies

Tabulares em Rochas Sedimentares. No caso, as declividades podem atingir valores médios acima de 15%, o entalhamento dos vales inferiores tem dimensões inferiores a 50 metros, as dimensões interfluviais são menores a 1000 metros na média e o material superficial constituído por depósitos de tálus detríticos. Em relação a dissecação alta, este sistema exibe rebordos erosivos demarcado por escarpas na quebra de ruptura positiva e com áreas fortemente dissecadas, produzindo a mudança entre dois níveis topográficos. Os desníveis são de 100 metros ou mais, ocorrendo, na parte baixa, um forte processo de dissecação, originando morros alongados que detêm entalhamento dos vales acima de 80 metros e dimensões interfluviais entre 750 a 1750 metros. Neste sistema o material superficial propende a possuir granulometria com variação de grosseira a fina, constituindo depósitos de tálus ou coluvionares. A dinâmica destas áreas continua subordinada a fenômenos naturais, isto porque a cobertura vegetal, na maioria das vezes, permanece intacta.

Agrupamentos de morro e colinas apresentam relevos em formas de morros e colinas, dissecados pela ação fluvial, dispersos em todo o estado de Rondônia, recebem, localmente, a denominação de serras, devido desníveis de até 150 metros. No caso de aberto com colinas / inselbergs baixos e médios, os topos são convexizados, ocorrem vertentes côncavas nas baixas vertentes. A variação de altitude é de 480 a 290 metros, no caso dos entalhes dos vales há a variação entre 20 e 80 metros, dimensão fluvial entre 250 m e 1750 m e as declividades variam de 4 a 15%. A dinâmica nestas áreas, quando preservadas, correspondem a predominância de escoamento superficial laminar e intemperismo físico-químico das rochas, ao passo que em áreas de pastagens e agricultura observa-se processos de ravinamento, sulco e microdeslizamentos associados à terracetes (RONDÔNIA, 2001).

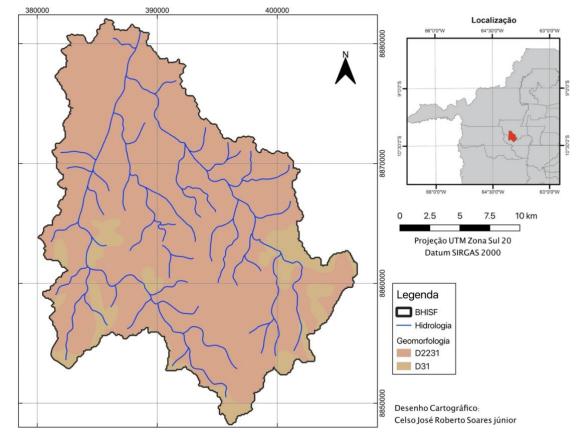


Figura 7 - Mapa temático geomorfológico da BHISF

Fonte: Base de dados PLANAFLORO Rondônia (2001)

3.4 Unidades litológicas da BHISF

Na área de estudo há a presença de três unidades litológicas, conforme tabela abaixo.

Tabela 6 - Descrição das características geológicas da área de estudo

Sigla	Unidade Geológica	Tipo de rocha	Litologia
PMPja	Supergrupo Gnaisse Jaru	Metamórfica	Granito
MPteg	Suíte intrusiva do Teotônio	Ígneas	Granito
Npyg	Granitos Jovens de Rondônia	Ígneas	Granito

Fonte: Adaptado de PLANAFLORO Rondônia (2001)

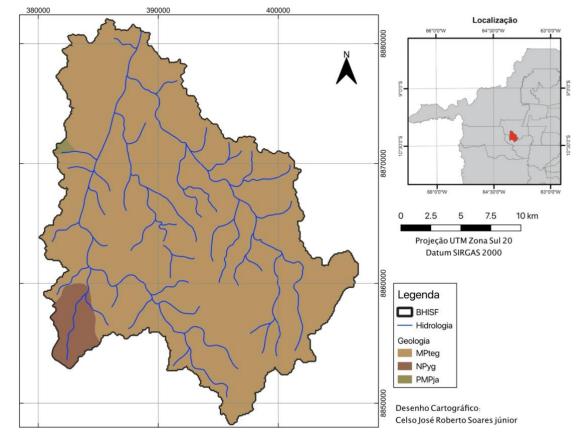


Figura 8 - Mapa temático geológico da BHISF

Fonte: Base de dados PLANAFLORO Rondônia (2001)

A suíte intrusiva, conforme BRASIL (1998), é uma unidade formal composta pelo agrupamento de vários tipos de uma única classe de rocha intrusiva ou metamórfica de alto grau, tendo a sua diferenciação a partir das características texturais mineralógicas ou composição química. As suítes intrusivas compreendem em duas ou mais unidade de rochas ígneas compatíveis com o nível hierárquico de formação. De acordo com BRASIL (2005) as suítes intrusivas do Teotônio ocupam pequena porção no noroeste de Rondônia, em uma topografia suave predominado por terraços fluviais, segundo Bettencourt et al. (1999), as típicas rochas desta suíte foram descritas por Leal et al. (1978), e mais recente por Payolla (1994) e Adamy e Romanini (1990). Para Payolla (op. cit.) as principais unidades da Suíte Intrusiva do Teotônio são granito alcalino-feldspato de grão grosso maciço, granito de feldspato alcalino de grão médio com faixas e sienito de feldspato alcalino de quartzo rosa a médio granulado com granito e sienogranito de feldspato alcalino menos comuns.

Conforme, BRASIL (2005), os Granitos Jovens de Rondônia foram descritor inicialmente por Kloosterman (1968) tendo sua localidade-tipo nas cabeceiras do rio Candeias, os granitos dessa unidade litoestratigráfica estão reproduzidos na AII do empreendimento Santo Antônio, maioritariamente pelo macio Jaci-Paraná e maciço Caracol, apresentando também

outros pequenos corpos (*stocks*) que ocorrem no médio curso do Rio Branco. Supergrupo, conforme BRASIL (2005), é composto pela associação de diversos grupos que mostram características listoestratigráficas inter-relacionáveis, no caso o Supergrupo Gnaisse Jaru, é formada por ortognaisse de origem granítica, granodiorítica, tonalítica, charnoquítica, enderbítica e charnoenderbítica (RONDÔNIA, 2001).

3.5 Formações Vegetacionais nativa da BHISF

A vegetação dominante na BHISF é a Floresta Ombrófila com a suas demais fácies, Braun-Blanquet et al. (1979) define fácies como uma combinação de espécies particulares, mais ou menos casuais, dentro de uma associação. A Floresta Ombrófila Aberta é caracterizada por três fácies dominadas por gêneros típicos, sendo eles: *Attalea speciosa Mart*. Ex Spreng. (babaçu) e *Attalea maripa* (Aubl.) Mart (inajá), que compõem a "floresta-de-palmeiras"; *Guadua superba* (taquara), que forma a "floresta-de-bambu"; e *Phenakospermum guianensis* (A. Rich.) Endl. Ex Miq.) integrando a "floresta-de-sororoca". Além destas fáceis típicas, identifica-se mais uma, localizada predominantemente nas depressões rasas, povoada densamente por lianas lenhosas, com a predominância de gêneros das famílias Fabaceae e Bignoniaceae, estas conhecidas como "mata-de-cipó". Todas essas fácies, de acordo com as características climáticas, podem apresentar um déficit hídrico de 0 a 4 meses (BRASIL, 2012).

Conforme o ambiente em que a floresta se encontra a sua estrutura e fisionomia apresenta variações. Em áreas próximas das drenagens, áreas de baixadas apresentando relevo ondulado e/ou rampas, apresenta as árvores com altura entre 30 a 40 m, grossas com dossel emergente, por outro lado em lugares com interflúvios de relevo plano, há manifestação de árvores mais finas com altura entre 18 a 25 m com dossel uniforme (BRASIL, 2012). Essas características supracitadas são identificadas na área de estudo.

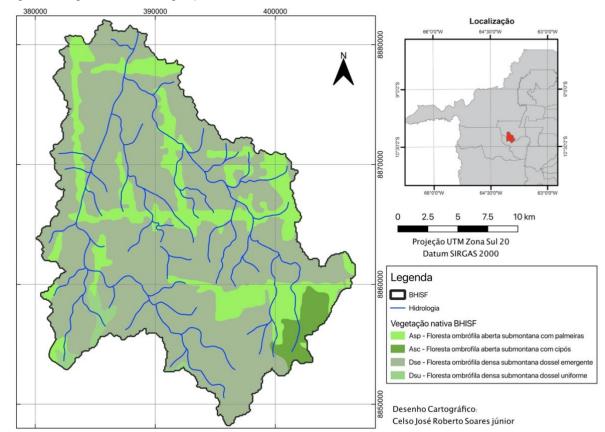


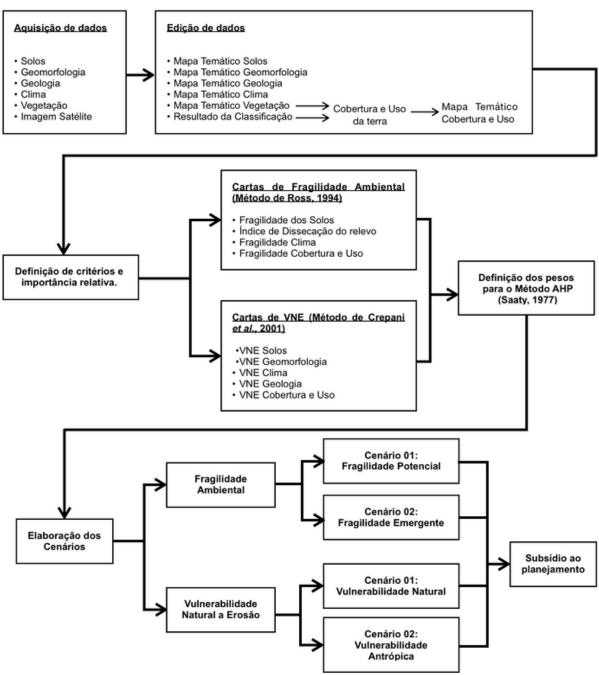
Figura 9- Mapa temático de vegetação nativa da BHISF

Fonte: Base de dados PLANAFLORO Rondônia (2001)

4 METODOLOGIA

Para atingir o objetivo proposto, foi seguido um fluxograma metodológico simplificado, com seis etapas: (1) Aquisição de dados; (2) Edição de dados (entrada dos dados); (3) Definição de critérios e importância relativa; (4) Produção das cartas de fragilidade e vulnerabilidade sem AHP; (5) Definição dos pesos para o Método AHP; e (6) Elaboração dos cenários de fragilidade ambiental e vulnerabilidade natural a erosão, conforme mostrado na figura 10

Figura 10 - Fluxograma sintetizado do trabalho



Fonte: O autor (2019)

4.1 Vulnerabilidade Natural a Erosão

Para a preparação da carta de vulnerabilidade do solo à erosão, utilizar-se-á a mesma metodologia utilizada por Crepani et al. (2001) para a produção do Zoneamento Ecológico e Econômico para a Amazônia, a qual tem seu embasamento a partir do conceito da Ecodinâmica de Tricart (1977).

Na metodologia proposta por Crepani et al. (op. cit.), a princípio necessita de delimitação e identificação em Unidades Territoriais Básicas (UTBs) definido conforme Becker e Egler (1996, p. 12): "Uma entidade geográfica que contém atributos ambientais que permitem diferenciá-la de suas vizinhas, ao mesmo tempo em que possui vínculos dinâmicos que a articulam à uma complexa rede integrada por outras unidades territoriais."

As delimitações são realizadas através de interpretações das variações de cores, texturas, formas, padrões de drenagem e relevo das capturas de imagens de satélite TM-LANDSAT.

Crepani et al. (op. cit.) ainda divide a Unidade Territorial Básica em duas categorias: unidades de paisagem natural e os polígonos de intervenção antrópica, em que este correspondem às aspectos originados da intervenção humana na paisagem e aqueles são estabelecidos a partir de interpretações dos elementos básicos como elementos de textura, de relevo, de textura nas imagens satélite, conforme Crepani et al. (1996).

As Unidades Territoriais Básicas, com o intuito de determinar o nível de vulnerabilidade natural à perda de solo, serão avaliadas individualmente a partir das informações temáticas anteriormente inseridas, no qual utilizará um modelo que avalie as suas modificações contínuas no ambiente, ou seja, avaliar os seus estágios da evolução morfodinâmica. Para cada categoria morfodinâmica será conferido valores de estabilidade, a fim de produzir uma escala de vulnerabilidade, descreve Fagundes (2013).

Para confecção das escalas de vulnerabilidade Crepani et al. (2001) estabelece categorias morfodinâmicas desenvolvidas a partir dos princípios da Ecodinâmica de Tricart (1977), conforme tabela, e como citado anteriormente cada categoria recebe valores de estabilidade variando de 1,0 a 3,0, dada a relação Pedogênese/Morfogênese da categoria.

Tabela 7 - Categorias morfodinâmicas

Meios estáveis	Meios intergrades	Meios fortemente instáveis
Cobertura vegetal	Balanço entre as	 Condições bioclimáticas agressivas,
densa	interferências	com ocorrências de variações fortes
 Dissecação 	morfogenéticas e	e irregulares de ventos e chuvas
moderada	pedogenéticas	 Relevo com vigorosa dissecação
 Ausência de 		 Presença de solos rasos
manifestações		Inexistência de cobertura vegetal
vulcânicas		densa
		Planícies e fundos de vales sujeitos a
		inundações
		Geodinâmica interna intensa.

Fonte: Modificado de Crepani et al. (2001)

Tabela 8 - Avaliação da estabilidade das categorias morfodinâmicas

Categorias	Relação pedogênese/morfogênese	Valor
Estável	Prevalece a pedogênese	1,0
Intergrades	Equilíbrio pedogênese/morfogênese	2,0
Fortemente instável	Prevalece a morfogênese	3,0

Fonte: Modificado de Crepani et al. (2001)

Buscando obter uma maior variedade de categorias morfodinâmicas de forma relativa e empírica para situações que aconteçam naturalmente, Crepani et al. (2001) estabelece 21 classes de vulnerabilidade à perda de solo, conforme quadro 1.

Para representar a situação de cada unidade na escala de vulnerabilidade a à perda de solo, cada unidade territorial básica é composta por temas (Geologia, Geomorfologia, Solos Vegetação e Clima) que são aplicados particularmente ao modelo, com a análise dos temas é gerado um valor final estabelecido através da média aritmética dos valores individuais seguindo uma equação empírica abaixo.

$$V = \frac{Geologia + Geomorfologia + Solo + Vegetação Nativa + Clima}{5}$$
 (1)

Ouadro 1 - Escala de vulnerabilidade das Unidades Territoriais Básicas

UNIDADES	MÉDIA		MÉDIA GRAU DE		GRAU DE SATURAÇÃO			
DE PAISAGEM		MEDIA	A	VULNERABILIDADE	VERMELH O	VERDE	AZUL	CORES
U1		3,0			255	0	0	
U2		2,9		Vulnerável	255	51	0	
U3	\Box	2,8		vuineravei	255	102	0	
U4	V	2,7			255	153	0	
U5	U	2,6			255	204	0	
U6	L	2,5	E	Moderadamente	255	255	0	
U7	N	2,4	S	vulnerável	204	255	0	
U8	E	2,3	T		153	255	0	
U9	R	2,2	A		102	255	0	
U10	A	2,1	В	Madianamenta	51	255	0	
U11	В	2,0	I	Medianamente estável/vulnerável	0	255	0	
U12	I	1,9	L		0	255	51	
U13	L	1,8	I		0	255	102	
U14	I	1,7	D		0	255	153	
U15	D	1,6	A	Madamadamanta artérial	0	255	204	
U16	A	1,5	D	Moderadamente estável	0	255	255	
U17	D	1,4	E		0	204	255	
U18	E	1,3			0	153	255	
U19		1,2		Estérial	0	102	255	
U20	П	1,1		Estável	0	51	255	
U21		1,0	•		0	0	255	

Fonte: Crepani et al. (2001)

Utilizando as três cores aditivas primárias (Azul, Verde e Vermelho) se faz a combinação para representação cartográfica das 21 unidades territoriais básicas, variando de cores "frias" (Azul), remetendo a tranquilidade, associada à unidade com grau de vulnerabilidade Estável à cor "quente" (Vermelho), associada à unidade com grau de vulnerabilidade vulnerável, enquanto a mediana dos dois graus de vulnerabilidade a cor verde, simbolizando unidade medianamente estável/vulnerável. Desta forma, os valores situados entre 1,1 a 1,9 possui uma combinação de cores entre Azul e Verde, de outro lado os valores entre 2,1 e 2,9 a combinação é das cores verde e vermelho.

4.1.1 Análise da Geologia conforme VNE de Crepani et al. (2001)

Conforme Spörl (2007) a Geologia na análise de vulnerabilidade natural a erosão necessita de duas informações: a história da evolução do ambiente geológico; e o grau de coesão das rochas. Sendo que este último é ligado diretamente a resistência à erosão das rochas. Crepani et al. (2001) entende que a intensidade da ligação entre os minerais da rocha que define o grau de coesão e que para se atribuir uma escala, relativa e empírica, de vulnerabilidade à denudação (intemperismo e erosão) necessita levar em consideração todos os aspectos relacionados ao grau de coesão das rochas ígneas, metamórficas e sedimentares.

Tabela 9 - Escala de vulnerabilidade das rochas mais comuns

Tipo de rocha	Litologia	Grau de VNE
Metamórficas	Quartzitos ou metaquartzitos	1,0
Ígneas	Riólito, Granito, Dacito	1,1
Ígneas Intrusivas	Granodiorito, Quartzo Diorito, Granulitos	1,2
Metamórficas	Migmatitos, Gnaisses	1,3
Ígneas Intrusivas	Fonólito, Nefelina Sienito, Traquito, Sienito	1,4
Ígneas	Andesito, Diorito, Basalto	1,5
Ígneas intrusivas	Anortosito, Gabro, Peridotito	1,6
Metamórficas	Milonitos, Quartzo muscovita, Biotita-xisto, Clorita xisto	1,7
Ígneas e Metamórficas	Piroxenito, Anfibolito Kimberlito, Dunito	1,8
Ígneas	Hornblenda, Tremolita, Actinolita xisto	1,9
Metamórficas	Estaurolita xisto, Xistos granatíferos	2
Metamórficas	Filito, Metassiltito	2,1
Metamórficas	Ardósia, Metargilito	2,2
Metamórficas	Mármores	2,3
Sedimentares	Arenitos quartzosos ou ortoquartzitos	2,4
Sedimentares	Conglomerados, Subgrauvacas	2,5
Sedimentares	Grauvacas, Arcózios	2,6
Sedimentares	Siltitos, Argilitos	2,7
Sedimentares	Folhelhos	2,8
Sedimentares	Calcários, Dolomitos, Margas, Evaporitos	2,9
Sedimentares	Sedimentos Inconsolidados: Aluviões, Colúvios etc.	3

Fonte: Modificado de Crepani et al. (2001)

4.1.2 Análise da Pedologia conforme VNE de Crepani et al. (2001)

O solo quando analisado na metodologia de Crepani et al. (2001) leva em consideração as características físicas que estão relacionadas a resistência dos solos aos processos erosivos como textura, estrutura, porosidade, permeabilidade, profundidade e pedregosidade.

Spörl (2007) descreve que na distribuição dos valores às classes de vulnerabilidade na metodologia de Crepani o grau de desenvolvimento do solo é um elemento muito importante, como a base de análise da Vulnerabilidade Natural a Erosão é baseada na relação Pedogênese/Morfogênese, Rodrigues (2015) descreve que para solos rasos, imaturos e pouco desenvolvidos indicam a prevalência de processos erosivos (morfogênese), enquanto solos maduros, lixiviados e bem desenvolvidos há o predomínio da pedogênese.

Tabela 10 - Grau de vulnerabilidade dos solos

Legenda	Classe de Solos	Grau de VNE
LA	Latossolos:Amarelo	1,0
LVA	Latossolo Vermelho-Amarelo	1,0
LE	Latossolo Vermelho-Escuro	1,0
LR	Latossolo Roxo	1,0
LB	Latossolo Bruno	1,0
LH	Latossolo Húmico	1,0
LBH	Latossolo Bruno Húmico	1,0
PA	Podzólico Amarelo	2,0
PVA	Podzólico Vermelho-Amarelo	2,0
PE	Podzólico Vermelho-Escuro	2,0
TR	Terra Roxa Estruturada	2,0
NC	Bruno Não-Cálcico	2,0
	Brunizém	2,0
BA	Brunizém Avermelhado	2,0
PL	Planossolo	2,0
С	Cambissolos	2,5
R	Solos Litólicos	3,0
A	Solos Aluviais	3,0
RE	Regossolo	3,0
AQ	Areia Quartsoza	3,0
V	Vertissolo	3,0
НО	Solos Orgânicos	3,0
НІ	Solos Hidromórficos	3,0
HGH	Glei Húmico	3,0
HGP	Glei Pouco Húmico	3,0
PL	Plintossolo	3,0
LH	Laterita Hidromórfica	3,0
CL	Solos Concrecionários Lateríticos	3,0
RZ	Rendzinas Afloramento Rochoso 3,0	

Fonte: Modificado de Crepani et al. (2001)

4.1.3 Análise da Geomorfologia conforme VNE de Crepani et al. (2001)

Crepani et al. (2001) utiliza os índices morfométricos da área para estabelecer os valores da escala de vulnerabilidade da geomorfologia para as unidades de paisagem natural, sendo eles: dissecação do relevo pela drenagem, amplitude altimétrica e declividade.

Observando a capacidade erosiva do relevo, a intensidade de dissecação do relevo é um fator importante para avaliar a quantidade de água que percorre em sua superfície para áreas mais baixas (drenagem), pois está relacionado às características físicas de porosidade e permeabilidade tanto da rocha quanto do solo. Desta forma, quanto maior a quantidade de canais de drenagem, maior possibilidade de promover a morfogênese, pois gera mais energia potencial para escoamento superficial (*runoff*). Através de cartas topográficas ou de imagens de satélite pode se extrair a amplitude dos interflúvios, o que nos indica os valores da intensidade da dissecação do relevo. Quanto maior forem os interflúvios, menor será a intensidade de dissecação do relevo, logo, os valores serão mais próximos da estabilidade da paisagem natural, por outro lado, quanto menor os interflúvios, maior a dissecação, assim também maior a instabilidade natural da paisagem (CREPANI et al., 2001).

A amplitude altimétrica obtida através de dados altimétricos de cartas topográficas é calculada pela diferença entre as cotas máximas e mínimas nas unidades, indicando a disponibilidade de energia potencial para o *runoff*. Quanto maior a amplitude altimétrica, maior será a energia cinética que a água atingirá durante seu percurso em direção a áreas mais baixas, prevalecendo a morfogênese. Outro fator que é relevante em relação a disposição da energia potencial e energia cinética é a declividade, visto que a declividade possui relação direta com a velocidade da transformação da Energia Potencial em Energia Cinética. A inclinação do relevo implica na capacidade erosiva, dado que em uma inclinação maior, mais rápido será a transformação de Energia Potencial em Cinética, gerando maior velocidade das massas de água e capacidade de transporte, predominando a morfogênese (CREPANI et al., 2001).

4.1.4 Análise da Vegetação conforme VNE de Crepani et al. (2001)

A cobertura vegetal possui uma expressiva contribuição na capacidade de proteção da unidade, isto porque está diretamente relacionada aos efeitos das ações modificadoras das formas de relevo. Quanto mais densa a cobertura vegetal, menor será a desagregação das partículas do solo devido ao impacto direto das gotas, maior será a disposição de absorção de água no solo, ou seja, aumentando a capacidade de infiltração nos solos, logo apresenta-se uma unidade mais estável, prevalecendo a pedogênese (CREPANI et al., 1996; SPÖRL, 2007).

As áreas em que há a predominância de morfogênese ocorre principalmente em ambientes antropizados como áreas urbanas, pastagens, devido a extração da cobertura vegetal nativa favorecendo a instabilidade da área diante os processos erosivos (RODRIGUES, 2015).

4.1.5 Análise do Clima conforme VNE de Crepani et al. (2001)

Os agentes ativos para o desenvolvimento da erosão hídrica são o excesso de água escorrendo superficialmente e o impacto direto das gotas no solo, ou seja, a erosão é o produto final da interação da chuva com o solo, sendo o poder chuva o fator mais relevante nesta ação. As características físicas principais da chuva, em relação a erosividade, são: pluviosidade total, a distribuição sazonal e intensidade pluviométrica, sendo que a última possui maior importância, pois envolve as outras duas características, além de que através dela pode-se obter valores representativos da disponibilidade da energia potencial que se transformará em energia responsável pela erosividade da chuva, a cinética. Desta forma, quanto maior for os valores da intensidade pluviométrica maior será a erosividade provocada pela chuva. A obtenção do valor da intensidade pluviométrica é extraída da relação entre a pluviosidade média anual pela duração do período chuvoso (quanto chove/quando chove) (CREPANI et al., 1996).

Tabela 11 - Valores de vulnerabilidade à perda de solos devido a chuva.

Intensidade		Intensidade		Intensidade	
Pluviométrica	Vulnerabilidade	Pluviométrica	Vulnerabilidade	Pluviométrica	Vulnerabilidade
(mm/mês)		(mm/mês)		(mm/mês)	
<50	1,0	200 - 250	1,7	375 – 400	2,4
50 – 75	1,1	225 - 250	1,8	400 – 425	2,5
75 – 100	1,2	250 – 275	1,9	425 – 450	2,6
100 – 125	1,3	275 - 300	2,0	450 – 475	2,7
125 – 150	1,4	300 – 325	2,1	475 – 500	2,8
150 – 175	1,5	325 - 350	2,2	500 – 525	2,9
175 – 200	1,6	350 - 375	2,3	>525	3,0

Fonte: Adaptado de Crepani et al. (2001)

4.2 Fragilidade Ambiental

A metodologia desenvolvida por Ross (1994) utiliza temas de geomorfologia (índice de dissecação do relevo), solos, cobertura vegetal/uso da terra e clima (regime pluviométrico), que são tratados de forma integrada. Cada tema citado anteriormente, conforme a sua fragilidade do ambiente, é hierarquizado em 5 classes de valores, iniciando em ambientes mais estáveis (1,0), intermediários (3,0) e instáveis (5,0). Logo, a classificação da fragilidade ambiental será realizada com a combinação das quatro variáveis (Relevo, solos, cobertura vegetal/uso da terra e clima). Dada esta metodologia, o 1º dígito, o qual é relacionado ao Índice de Dissecação do

Relevo, é o que vai descrever o índice de fragilidade do ambiente daquela área, enquanto as outras servirão somente para definir o grau de hierarquização das mesmas.

Desta forma, Spörl (2001) descreve que conforme a composição das relações das quatro variáveis e sua correlação entre os dígitos e as informações compostas pelas categorias, se é estabelecido uma classificação da fragilidade ambiental.

Tabela 12 - Composição das relações das variáveis

Categoria	Variáveis
Índice de Dissecação do Relevo	Categorias hierárquicas: Forte: 5,0 - Fraca: 1,0
Solos	Classes de fragilidade: Forte: 5,0 - Baixa: 1,0
Cobertura Vegetal	Graus de proteção: Nulo/Muito baixo: 5,0 - Muito alto: 1,0
Pluviosidade	Categorias hierárquicas: Muito forte: 5,0 - Muito fraca: 1,0

Fonte: Adaptado de Spörl (2001)

Com a combinação das 4 variáveis, exemplo: 2222, 1324, 5231, relacionando na ordem apresentada na tabela, é possível hierarquizar a fragilidade natural. Em que a combinação de um conjunto 5555 indica toda as variáveis de alta fragilidade. Spörl (2001) conclui que quanto maior a associação numérica nesses quatro temas maior será o grau de fragilidade ambiental na relação relevo/solo, assim também no potencial perde de qualidade de águas de superfície.

Conforme a combinação das variáveis é possível identificar onde há o equilíbrio dinâmico, em que não houve modificações antrópicas naquela área, como também onde há o desequilíbrio. Ross (1990) conceituou, dado os trabalhos de Tricart (1977), as Classes de Instabilidade, que conforme a combinação numérica acima discutido era classificado em duas unidades: Unidades Ecodinâmicas Estáveis com diferentes graus de Instabilidade Potencial e Unidades Ecodinâmicas Instáveis com diferentes graus de Instabilidade Emergente.

Segundo Spörl (2001) as Unidades Ecodinâmicas Estáveis com diferentes graus de Instabilidade Potencial são relacionadas as áreas em que as atividades antrópicas não se proliferaram, ou seja, há ainda o equilíbrio dinâmico natural. Por outro lado, onde as ações humanas trouxeram interferências naquela área, acarretando desestabilização do equilíbrio dinâmico é caracterizado como Unidades Ecodinâmicas Instáveis com diferentes graus de Instabilidade Emergente.

Quanto à classificação dos resultados obtidos serão organizados segundo a metodologia de Ross (1994). Neste presente trabalho, em que haverá a utilização da metodologia AHP, com intuito de julgar e fazer relevância relativa entre os critérios utilizados no processo de classificação de fragilidade ambiental, certas adaptações foram necessárias, diante disso para o

procedimento operacional de cálculo foi utilizado a média aritmética para o mapeamento da fragilidade ambiental. Conforme a equação abaixo, em que FA é o nível da fragilidade ambiental; G é a geormofologia; S é relacionado ao solo; V/U relaciona-se à vegetação e uso da terra; e C é o clima.

$$FA = \frac{Geomorfologia + Solos + Vegetação/Uso + Clima}{4}$$
 (2)

Devido os valores atribuídos, conforme o nível de fragilidade de um (1) a cinco (5), para cada elemento da paisagem (geomorfologia, solo, vegetação/uso e clima), foi preciso ajustar a soma dos valores médios para serem coeso com a escala das classes de fragilidade ambiental. Desta forma, houve distinção das cinco (5) classes de fragilidade ambiental, para a divisão das classes foi necessário realizar a relação da diferença entre os valores atribuídos para cada classes de fragilidade e a quantidade de classes de fragilidade, resultando na ordem de 0,8.

Tabela 13 - Classes de Fragilidade Ambiental

Classe de Fragilidade Ambiental	Média Final	Legenda Cartográfica
Muito Forte	4,2 – 5,0	
Forte	3,4 – 4,2	
Moderada	2,6 – 3,4	
Fraca	1,8 – 2,6	
Muito fraca	1,0 – 1,8	

Fonte: O autor (2019)

4.2.1 Análise de Índice de Dissecação do Relevo conforme FA de Ross (1994)

Ross (1992) destaca que quando está se estudando fragilidade ambiental através da sua metodologia, ao analisar o relevo recomenda utilizar um tipo adequado de metodologia de acordo com a escala. Caso esteja analisando com uma escala de maior detalhe recomenda-se as formas de vertentes e as Classes de Declividade, enquanto em escalas médias utiliza-se os padrões de Formas com a rugosidade topográfica ou os Índices de Dissecação do Relevo, como é o nosso caso.

Com a fundamentação na relação de densidade de drenagem/dimensão interfluvial média e nos graus de entalhamento dos canais de drenagem para dissecação no plano vertical, Ross (1992) desenvolveu a matriz Índice de Dissecação do Relevo. Baseado nessa matriz as categorias de influência são estabelecidas de Muito Fraca a Muito Forte, conforme quadro abaixo.

Quadro 2 - Matriz dos Índices de Dissecação do Relevo

Densidade de Drenagem ou Dimensão Intefluvial (Classes)		Muito Baixa (1) > 3750m	Baixa (2) 1750 a 3750m	Média (3) 750 a 1750 m	Alta (4) 250 a 750 m	Muito Alta (5) < 250 m
		> 15 mm	3 a 15 mm	3 a 5 mm	1 a 3 mm	1 mm
	Muito Fraco (1) (< de 20 m)	11	12	13	14	15
Graus de	Fraco (2) (20 a 40 m)	21	22	23	24	25
Entalh ament o dos vales	Médio (3) (40 a 80 m)	31	32	33	34	35
(Class es)	Forte (4) (80 a 160 m)	41	42	43	44	45
	Muito Forte (5) (> 160m)	51	52	53	54	55
Legenda	Muito F	raca I	Fraca	Médio	Forte	Muito Forte

Fonte: Adaptado de Ross (1992)

4.2.2 Análise de Solos conforme FA de Ross (1994)

Conforme Ross (1994) na hierarquização da variável solo, tendo em vista que deve-se observar as características relacionadas ao relevo, litologia, clima, elementos motores da pedogênese e fatores determinantes das características físicas e química dos solos, as análises são feitas a partir das características de textura, estrutura, plasticidade, profundidade/espessura dos horizontes superfíciais e subsuperfíciais e o grau de coesão das partículas.

Para análise deve-se comparar os solos da área de estudo com as classes de fragilidades apresentadas na tabela abaixo, de acordo com a proposta de Ross (1994), a fim de se obter uma hierarquização desta variável.

Tabela 14 - Classes de Fragilidade dos tipos de solos

Tipos de Solo	Classes de Fragilidade
Latossolo Roxo, Latossolo Vermelho escuro e Vermelho Amarelo textura argilosa	1 - Muito baixa
Latossolo Amarelo, Vermelho amarelo textura média/argilosa	2 - Baixa
Latossolo Vermelho amarelo textura média/argilosa	3 - Média

Podzólico Vermelho-Amarelo textura média/arenosa e Cambissolos	4 - Forte
Podzolizados com cascalho, Litólicos e Areias Quartzosas	5 - Muito forte

Fonte: Adaptado de Ross (1992)

4.2.3 Análise da Cobertura Vegetal/Uso da Terra conforme FA de Ross (1994)

Para a análise de proteção dos solos pela cobertura vegetal, deve ser feita através do Mapa de Uso da Terra e Cobertura Vegetal, trabalho o qual é realizado tanto em expedições em campo como também em estudos de gabinete. Inicialmente é interpretado as imagens de satélite a fim de identificar "manchas" dos diferentes tipos usos da terra.

Com base nos critérios adotado por Ross (1994) montou-se a tabela abaixo de graus de proteção do solo conforme a cobertura vegetal.

Tabela 15 - Classes de hierarquia de graus de proteção ambiental

Tipos de Cobertura Vegetal	Graus de Proteção
Florestas/Matas naturais	1 – Muito alta
Reflorestamento	2 – Alta
Pastagem e Agricultura de ciclo longo	3 – Média
Agricultura de ciclo curto	4 – Fraca
Áreas desmatadas e queimadas recentemente e Solo expostos	5 – Muito Fraca

Fonte: Adaptado de Ross (1994)

Spörl (2007) relata que em áreas de graus de proteção Muito Alta e Alta, ou seja, em florestas e reflorestamento há uma proteção pela cobertura vegetal da ação erosiva das chuvas, mantendo o equilíbrio dinâmico, classificando aquela área, segundo a classificação de Ross (1990) em Fragilidade Potencial. Por outro lado, as classificações baixa e muito baixa apresentam um desequilíbrio dinâmico por conta de intensas atividades humanas classificando como Fragilidade Emergente.

4.2.4 Análise do Comportamento Pluviométrico conforme FA de Ross (1994)

As ações das chuvas são fundamentais para a análise de fragilidade, pois de acordo com a sua distribuição e intensidade no decorrer do ano contribuem diretamente nos processos morfodinâmicos, visto que no processo de intemperismo de rochas e solos são fatores bastante relevantes, conforme Spörl (2001).

Tabela 16 - Hierarquia das variações pluviométricas

Características Pluviométricas	Classes de Fragilidade
Distribuição pluviométrica regular no decorrer do ano. Volumes anuais não muito superior a	1 – Muito
1000 mm/ano	Baixa
Distribuição pluviométrica regular no decorrer do ano. Volumes anuais não muito superior a 2000 mm/ano	2 – Baixa
Distribuição pluviométricas desigual no decorrer no ano. Entre 2 a 3 meses de período seco no inverno, enquanto no verão, de dezembro a março, maiores intensidades.	3 – Média
Distribuição pluviométricas desigual no decorrer no ano. Entre 3 a 6 meses de período seco, enquanto no verão, de novembro e abril, maiores intensidades, com 70 a 80% do total das chuvas.	4 – Forte
Distribuição pluviométrica regular, ou não, no decorrer do ano, com volumes anuais ultrapassando 2500mm/ano. Ou também com comportamentos irregulares, apresentando episódios de alta intensidade de chuva e volumes anuais baixos, por volta de 900mm/ano (semiárido).	5 – Muito Forte

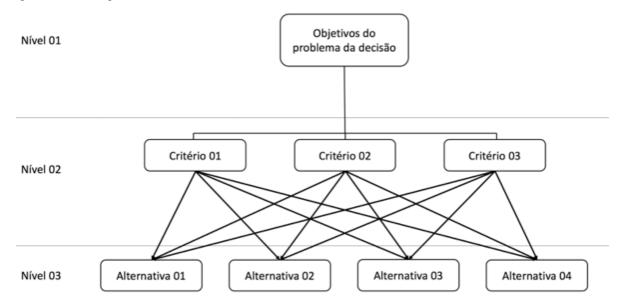
Fonte: Adaptado de Ross (1994)

4.3 Técnica AHP - Analystic Hierarchy Process

A metodologia desenvolvida na década de 70 por Saaty tem como finalidade dar base de apoio para tomada de decisões, embasada na matemática possibilita organizar e avaliar a importância relativa entre os critérios, e também permite medir a consistência dos seus julgamentos (SPÖRL, 2007). Rodrigues (2015) corrobora que conforme a dificuldade de se atribuir importância e peso nas variáveis, a metodologia proposta por Saaty (1977) auxilia de forma eficiente o processo de tomada de decisões, com base na relevância de cada critério utilizado no processo analisado. A decisão a ser tomada, segundo a técnica AHP, é fundamentada em critérios tanto qualitativos quanto quantitativos, observada sob pontos de vista diferenciados e contraditórios. A técnica apresenta como um de seus princípios a divisão de problemas complexos em problemas mais simples, desenhado através de hierarquias de decisão (SENA, 2008).

Desta forma, a técnica AHP necessita da criação de uma hierarquia de decisão, a qual é composta por níveis ou classes hierárquicas a fim de obter uma visão geral das relações pertencentes ao processo. Para definir importância relativa para cada fator da hierarquia são desenvolvidas matrizes de comparação para cada nível, em que os resultados das matrizes são ponderados entre si (SILVA; NUNES, 2009).

Figura 11 - Hierarquia AHP



Fonte: Adaptado de Saaty (1977)

Os diferentes fatores que influenciam a tomada de decisão são organizados em um modelo hierárquico de valor de importância nas escalas de um (1) a nove (9), sendo que o valor um (1) representa o mínimo enquanto o nove (9) é dado ao máximo de importância. Após a designação do valor para cada fator é realizado a comparação pareada (*pairwise comparison*), atribuindo um valor de importância relativa (peso), organizados em uma matriz de comparação ou pareadas (SENA, 2008; SILVA; NUNES, 2009).

Tabela 17 - Escalas de comparação, conforme Saaty (1977)

Importância Mútua	Valores
Igualmente importante que	1
Moderadamente mais importante que	3
Fortemente mais importante que	5
Muito fortemente mais importante que	7
Extremamente mais importante que	9
Valores intermediários	2, 4, 6, 8

Fonte: Adaptado de Saaty (1977)

Assim que realizado par a par as comparações entre as vulneráveis os resultados são inseridos em uma matriz de comparação como mostra a tabela abaixo:

Tabela 18 - Matriz de comparação ou pareadas

Fatores	V1	V2	V3	V4	V5
V1	1	1/3	1/5	1/7	1/9
V2	3	1	1/3	1/5	1/7
V3	5	3	1	1/3	1/5
V4	7	5	3	1	1/3
V5	9	7	5	3	1

Fonte: Adaptado de Saaty (1977)

Após a comparação pareada entre os fatores é iniciada a etapa do cálculo de distribuição dos pesos para cada variável. O início para esta etapa é a construção de uma matriz de decisão normalizada, feita através da relação entre cada valor das variáveis e a soma de cada coluna da matriz. Para finalizar a etapa de cálculo dos pesos soma-se as linhas e divide pelo número de colunas existentes na matriz de comparação, segundo Barbosa (2015) os valores apresentados são a ponderação a ser atribuído ao critério correspondente, também definido como auto vetor, que Baasch (1995) e Saaty (1977) chama de prioridade de parâmetro.

Após ter realizado os cálculos dos pesos há a necessidade de fazer a conferência na aceitabilidade desses valores, através do cálculo da Razão de Consistência (RC), como propõe Saaty (1977), o qual segundo o autor para matrizes de ordem quatro (04) ou maior não deve ultrapassar o valor de 0,10, caso o resultado ultrapasse esse valor será necessário a reanálise dos valores de importância, necessitando refazer o processo integralmente. A Razão de Consistência (RC) é calculado através da relação entre o Índice de Consistência (IC) e o índice Randômico (IR) conforme a equação abaixo.

$$RC = \frac{IC}{IR} \tag{3}$$

O índice randômico (IR) é extraído de uma tabela desenvolvida através de estudos no Laboratório nacional de *Oak Ridge*de matrizes da ordem de 1-15 usando amostra do tamanho 100, nesta tabela o IR é determinado para matrizes de diferentes ordens (SAATY, 1980 apud BAASCH, 1985). Segundo Sena (2008) quanto maior o a ordem da matriz, maior é a possibilidade de inconsistências.

Quadro 3 - Valores de índice Randômico (IR) para matrizes quadradas

Ordem	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	•••	15
IR	0	0	0,58	0,9	1,12	1,24	1.32	1.42	1.45	1,49		1,59

Fonte: Adaptado de Baasch (1995)

O índice de Consistência (IC) é obtido através da diferença do autovalor (λ) com a ordem da matriz (n) dividida pela subtração da ordem da matriz menos um (01), como pode se observar abaixo:

$$IC = \frac{(\lambda - n)}{(n - 1)} \tag{4}$$

Para a obtenção do autovalor (λ) faz-se necessário duas etapas, a primeira etapa segundo Martins (2009) é realizada através da multiplicação das colunas da matriz de comparação pelo peso do primeiro fator, a segunda coluna pelo peso do segundo fator e assim por diante, desenvolvendo uma nova matriz, em que somando as células de cada linhas gerará um vetor soma correspondente para cada sistema componente. A segunda etapa é divisão do vetor soma de cada linha pelo peso do fator correspondente àquela linha, encontrando assim o autovalor de cada linha. Para se conseguir o autovalor para o cálculo do índice de Consistência (IC) é feito a média aritmética dos autovalores de cada linha.

No cálculo do autovalor deve-se atentar no resultado obtido, pois tem relação direta na consistência da matriz de comparação, segundo Rodrigues (2015) o valor de " λ " deve ser sempre igual ou superior a ordem da matriz (n) para que seja considerada consistente. Conforme Baasch (1995) quanto mais próximo o valor do autovalor for da ordem da matriz, maior é a consistência do resultado.

4.4 Mapeamento da Cobertura e Uso da Terra na BHISF

O método adotado para o levantamento da cobertura e uso da terra da Bacia Hidrográfica do Igarapé São Francisco foi realizado através do desenvolvido pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (BRASIL, 2013), o qual dispõe de normas para a determinação e identificação das características dos inúmeros usos e que foram aliadas ao trabalho. No laboratório foram feitas as identificações das situações presumíveis que a área de estudo poderia apresentar, com isso, de forma linear e sistemáticas, foram marcados pontos para coleta das informações necessárias como: registro de coordenadas geográficas, o uso da terra e o registro fotográfico. Os pontos pré-definidos foram inseridos em ambiente SIG, ligados à imagem de satélite sintetizada e georreferenciada, em companhia aos dados vetoriais digitais de estradas Federais, Estaduais e municipais, pavimentadas ou não, a cada 5 quilômetros, tomando como um levantamento quase censitário.

Após a produção da carta imagem padrão, foram realizadas expedições de campo com a equipe de pesquisadores do LABOGEOPA. Em campo, com o uso de GPS, foram localizados os pontos anteriormente definidos e diante disso realizou-se o registro em planilha. Com todos os pontos coletados foram feitas classificações dos usos identificados, geocodificados e ordenados em um banco de dados georreferenciado. A classificação foi efetuada em ambiente SIG, utilizando uma extensão de Classificação Supervisionada com o método de classificação da Máxima Verossimilhança (MaxVer).

Para este processo de classificação foram utilizadas duas entradas de dados: formato vetorial e formato de imagem, relacionados respectivamente aos pontos de uso e a Imagem Landsat-8. Na classificação para cada ponto era considerado as suas atribuições, que na imagem eram plotados, a fim de que a ferramenta do *Software* conseguisse reconhecer na imagem a respectiva coloração para determinado uso da terra. Posteriormente um arquivo vetorial (polígonos dos usos) foi produzido a partir do processamento, especificando os limites entre cada uso e, consequentemente o tamanho de cada subárea, além de criar um banco de dados apto a edição e inserção de novas informações.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Evolução temporal da cobertura e uso da terra

5.1.1 Desmatamento do Estado de Rondônia

Quando se compara os estados pertencentes à Amazônia Legal (AML) em relação a sua extensão total, o Estado de Rondônia é o mais desmatado. Em 2019 a área desmatada chega a 37%, enquanto em 1988, no início do monitoramento, a área total desmatada era de 12,55%. Segundo IMAZON (2013) entre as décadas de 70 e 80 do século passado o crescimento do desmatamento no Estado de Rondônia foi de 324%, sendo decorrente do crescimento populacional.

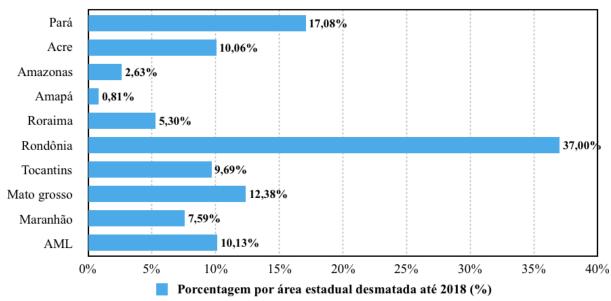


Gráfico 2 - Porcentagem de área desmatadas por estado da AML

Fonte: Adaptado de PRODES, 2019, INPE (2014)

Com a intenção de monitorar os desmatamentos na Amazônia Legal Brasileira (AML) o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) produz, desde 1988, dados sobre a taxa de desmatamento, e com o estabelecimento do PRODES digital, em 2000, os dados espaciais estão disponíveis na internet. A tabela a seguir exibe para o estado de Rondônia, os dados temporais do incremento anual e do total desmatado no período de 1988 a 2018, expondo a evolução do desmatamento na região temporalmente e espacialmente.

Tabela 19 - Incremento anual e total desmatado de Rondônia (1988-2018)

Ano	Incremento (km2)	Total desmatado (km2)	% do Estado	Ano	Incremento (km2)	Total desmatado (km2)	% do Estado
1988	2.340,00	29.813,32	12,55%	2004	3.858,00	70.717,32	29,77%
1989	1.430,00	31.243,32	13,15%	2005	3.244,00	73.961,32	31,13%
1990	1.670,00	32.913,32	13,85%	2006	2.049,00	76.010,32	31,99%
1991	1.110,00	34.023,32	14,32%	2007	1.611,00	77.621,32	32,67%
1992	2.265,00	36.288,32	15,27%	2008	1.136,00	78.757,32	33,15%
1993	2.595,00	38.883,32	16,37%	2009	482,00	79.239,32	33,35%
1994	2.595,00	41.478,32	17,46%	2010	435,00	79.674,32	33,54%
1995	4.730,00	46.208,32	19,45%	2011	865,00	80.539,32	33,90%
1996	2.432,00	48.640,32	20,47%	2012	773,00	81.312,32	34,23%
1997	1.986,00	50.626,32	21,31%	2013	932,00	82.244,32	34,62%
1998	2.041,00	52.667,32	22,17%	2014	684,00	82.928,32	34,91%
1999	2.358,00	55.025,32	23,16%	2015	1.030,00	83.958,32	35,34%
2000	2.465,00	57.490,32	24,20%	2016	1.376,00	85.334,32	35,92%
2001	2.673,00	60.163,32	25,32%	2017	1.243,00	86.577,32	36,44%
2002	3.099,00	63.262,32	26,63%	2018	1.314,00	87.891,32	37,00%
2003	3.597,00	66.859,32	28,14%				

Fonte: Adaptação de Prodes analógico e digital, INPE (2014)

Ao observar o gráfico 3, entre o ano de 1991 até 2004, apesar das oscilações nas taxas anuais de desmatamento, a predominância é de uma tendência de crescimento dos incrementos, obtendo o ápice no desmatamento generalizado na AML no ano de 1995, totalizando 4.730 km2 de incremento. Esse grande registro na taxa de desmatamento, segundo Fearnside (2005), ocorreu devido os benefícios econômicos do Plano Real (1994), além do aumento do crédito agrícola, que para a espacialização da produção necessitava da abertura de vias de acesso.

Segundo Batista (2014), entre os anos de 1991 a 2000, diante da enorme demanda de carne pelo mercado nacional e internacional houve investimentos federais e estaduais no estado de Rondônia, com a inserção de novas tecnologias para a pecuária bovina a fim de atender essa demanda. Desta forma, a atividade mais importante se torna a pecuária bovina, com quantidades superiores a 12,2 milhões de cabeça de gado, ao longo de todos os municípios do estado, criados principalmente de forma extensiva.

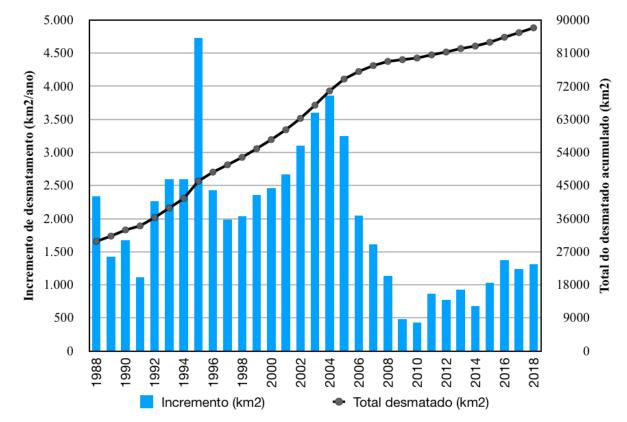


Gráfico 3 - Incremento anual e total antropizado de RO (1988 a 2018)

Fonte: Adaptação de PRODES digital, INPE (2014)

Fearnside (2001) descreve que devido o país estar em bom estado econômico e ter anunciado mais de 20 bilhões de dólares em obras de infraestrutura para a Amazônia Legal Brasileira, através do programa Avança Brasil do Governo Federal, a taxa de incremento após uma queda no período de 1995 a 1997 retornou a subir em 1998 mantendo até 2005. Durante esse período as taxas de incremento anual de desmatamento ascenderam com média de 2.592,78 km2 por ano. Após essa subida no ano seguinte observou uma queda de 36,84% totalizando 2.049,00 e em 2007 comparando com 2005 a queda foi de 50,34% resultando em 1.611,00, a tendência de recessão nos desmatamentos prolongou-se até o ano de 2010, onde se registrou a menor taxa de incremento na história de Rondônia, com 435,00 km2 por ano.

Devido o governo federal procurar cumprir as metas sobre mudanças climáticas, ocorreram as quedas das taxas de incremento de 2004 a 2009, observando que essa queda ocorreu em toda a Amazônia Legal Brasileira. Através do Decreto s/n de 3 de julho, o Grupo de Trabalho Interministerial - GPTI tem trabalhado, desde 2003, reverter o cenário de desmatamento, com a finalidade de propor e coordenar ações que objetivam a diminuição dos índices de desmatamento na Amazônia, sendo em 2004 lançado o Plano de Ação para a Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal - PPCDAm, ligado no

monitoramento e controle ambiental e ordenamento do território, que reproduziu a diminuição do desmatamento de toda Amazônia Legal Brasileira (BRASIL, 2013).

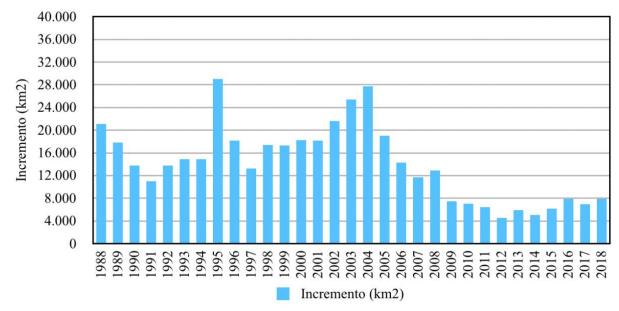


Gráfico 4 - Incremento de desmatamento da AML

Fonte: Adaptado de PRODES, 2019 INPE (2014)

Além desta ação, contribuindo para o cumprimento do combate ao desflorestamento, houve em 2003 por parte do estado de Rondônia uma solidificação dos processos de Licenciamento Ambiental da Propriedade Rural (RONDÔNIA, 2010) (RONDÔNIA, 2010).

Na Amazônia Legal Brasileira as reduções da taxa de incrementos perpetuaram-se até o ano de 2012, onde apresentou seu menor registro (4.571 km2 por ano), contudo após esse ano houve oscilações de aumento com média de 6.642 km2 por ano. No caso, em Rondônia o aumento da taxa de incremento retornou em 2011, extraindo a média de 1.027,13 km2/ano, apresentando um valor de 113% maior que em 2009.

5.1.2 Desmatamento da BHISF

A bacia hidrográfica do Igarapé São Francisco apresenta um bom modelo da dinâmica regional de cobertura e uso da terra, observando a grande expansão agropecuária, contribuindo para com grandes taxas de desmatamento. Na tabela 22 e gráfico 5 abaixo estão compilados os dados de desmatamento da BHISF, dos anos de 2001 a 2018, dados derivados do PRODES (INPE, 2014).

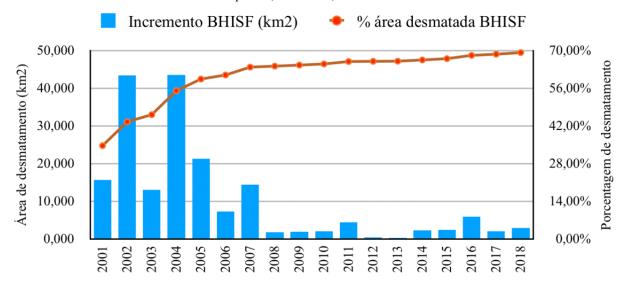
Tabela 20 - Incremento anual e total antropizado da BHISF, de 2000 a 2018

Ano	Incremento BHISF (km2)	Total desmatado (km2)	Ano	Incremento BHISF (km2)	Total desmatado (km2)
2001	15,614	169,839	2010	2,067	318,494
2002	43,409	213,248	2011	4,406	322,900
2003	12,981	226,229	2012	0,394	323,294
2004	43,546	269,775	2013	0,272	323,566
2005	21,285	291,060	2014	2,237	325,803
2006	7,333	298,393	2015	2,371	328,174
2007	14,364	312,757	2016	5,969	334,143
2008	1,793	314,550	2017	2,094	336,237
2009	1,876	316,426	2018	2,959	339,195

Fonte: Adaptado de PRODES digital, INPE (2014)

As taxas de incremento anual da Bacia em estudo apresentam, aproximadamente, porcentagens de incremento em relação ao ano passado iguais, ou seja, a bacia contribuiu tanto para o desmatamento quanto participou na diminuição do incremento de desmatamento dos municípios aos quais pertence, conforme tabela 23.

Gráfico 5 - Incremento anual e total antropizado, na BHISF, de 2001 a 2018



Fonte: Adaptado de PRODES digital, INPE (2014)

Tabela 21 - Porcentagem do incremento anual dos municípios da BHISF

Ano	Increm. Buritis (km2)	% de increm. anual (Buritis)	Increm. Campo Novo (km2)		Increm. BHISF (km2)	% de increm. anual (BHISF)
2001	118,68		71,61		15,614	
2002	175,28	47,69%	138,27	93,09%	43,409	178,02%
2003	85,85	-51,02%	50,41	-63,54%	12,981	-70,10%
2004	239,71	179,22%	131,27	160,40%	43,546	235,45%

	183,88	-23,29%	151,45	15,37%	21,285	-51,12%
2005						
2006	70,70	-61,55%	33,94	-77,59%	7,333	-65,55%
2007	117,63	66,38%	81,78	140,95%	14,364	95,88%
2008	22,31	-81,03%	20,29	-75,19%	1,793	-87,52%
2009	17,43	-21,87%	25,28	24,59%	1,876	4,66%
2010	34,54	98,17%	20,73	-18,00%	2,067	10,18%
2011	43,32	25,40%	26,69	28,76%	4,406	113,14%
012	22,43	-48,22%	13,60	-49,03%	0,394	-91,06%
013	54,53	143,11%	37,64	176,68%	0,272	-30,97%
014	58,42	7,13%	18,57	-50,67%	2,237	722,76%
015	57,03	-2,38%	20,91	12,61%	2,371	5,98%
	85,88	50,59%	34,39	64,44%	5,969	151,73%
016	72,50	-15,58%	27,76	-19,26%	2,094	-64,93%
017	48,16	-33,57%	22,40	-19,32%	2,959	41,33%

Fonte: Adaptado de PRODES digital, INPE (2014)

Outro fator que colaborou para o aumento desenfreado do desmatamento na bacia hidrográfica do igarapé São Francisco foi a distribuição de projetos de assentamento em quase a totalidade da sua área, ocupando em torno de 83% da área total. Os projetos de assentamento atendem 2.031 pessoas, chegando a ter a capacidade de 2.405 pessoas, conforme INCRA (2015).

Por volta do fim dos anos 90 houve a criação da maioria dos projetos de assentamento, o que não desconsidera a possibilidade de antes não ter proprietários rurais naquele local, contudo durante o início dos anos 2000 houve um aumento considerável no incremento de desmatamento na bacia, conforme demonstrado no gráfico 5.

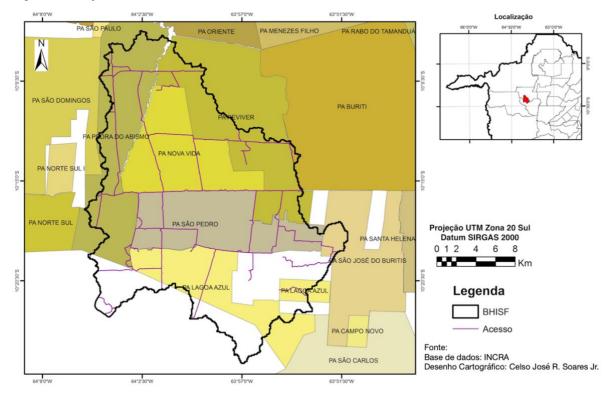


Figura 12 - Projetos de assentamentos na BHISF

Fonte: Base de dados INCRA (2015)

Tabela 22 - Informações dos Projetos de Assentamentos na BHISF

Nome Projeto de	Data de	Famílias	Área	% relativa a	% total de projetos de
Assentamento	criação	nos PA	(km2)	área bacia	assentamento na bacia
PA São Domingos	02/09/1999	379	0,02	0,00%	
PA Buritis	18/05/1988	647	0,99	0,20%	
PA Lagoa azul	19/10/1999	182	63,15	12,89%	
PA São José do Buritis	27/10/2000	201	7,01	1,43%	
PA Reviver	19/11/1999	150	75,10	15,33%	83,16%
PA Pedra do Abismo	02/09/1999	227	85,42	17,44%	03,1070
PA Nova Vida	14/09/2000	77	85,84	17,52%	
PA São Pedro	19/10/1999	168	89,83	18,34%	
Área sem PA			82,51	16,84%	16,84%
Total		2031	489,87	100,00%	100,00%

Fonte: Adaptado de INCRA (2015)

No início do século XX, no momento em que havia consolidado a maioria dos projetos de assentamentos federais supracitados, já apresentava um número expressivo de desmatamento, observando que um dos motivos para ocorrer o desflorestamento foi o grande número de vias de acesso que foram abertas na bacia.

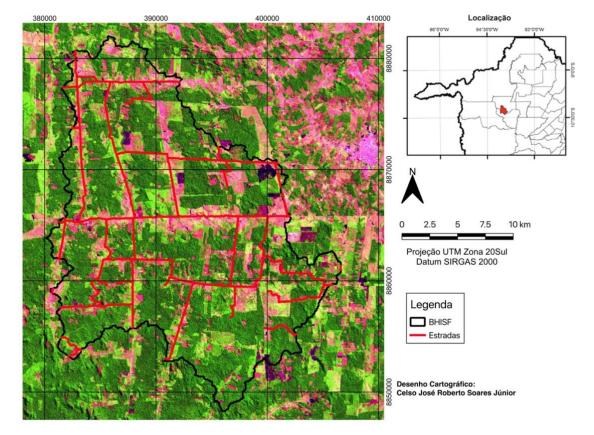


Figura 13 - Acessos e desmatamento na BHISF até 2001

Fonte: Imagens Landsat 8, PRODES INPE (2014)

No ano de 2001 a bacia já se encontrava com aproximados 35% da sua área desmatada, com área de aproximadamente 170 km2 e com relação ao ano anterior o aumento foi de 15 km2.

No intervalo dos anos de 2001 a 2005 foram registrados os maiores números de incrementos de desmatamento na bacia em seus últimos 18 anos. Os maiores registros de desmatamento neste intervalo, foram em 2002 que houve um incremento de 43,41 km2 e em 2004 que apresentou um total de incremento por volta de 44 km2. Durante esses anos a média de desmatamento foi de 27,37 km2 com um aumento de desmatamento total de 136,84 km2, saltando para 291,09 km2 de área total desmatada, ou seja, representando 60% dá área da bacia, conforme figura

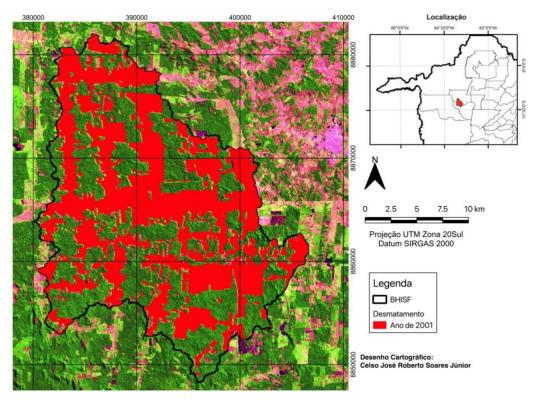


Figura 14 - Desmatamento até 2001 na BHISF

Fonte: Imagens Landsat 8, PRODES INPE (2014)

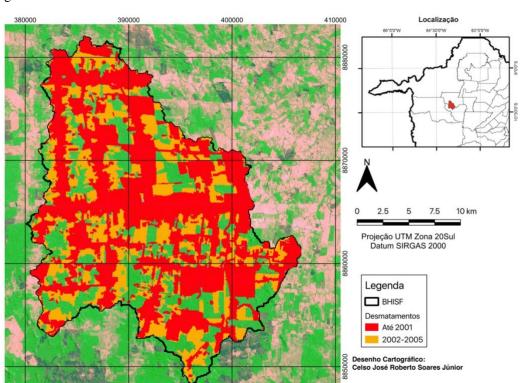


Figura 15 - Desmatamento até 2005 na BHISF

Fonte: Imagens Landsat 8, PRODES INPE (2014)

No intervalo dos anos de 2001 a 2005 foram registrados os maiores números de incrementos de desmatamento na bacia em seus últimos 18 anos. Os maiores registros de desmatamento neste intervalo, foram em 2002 que houve um incremento de 43,41 km2 e em 2004 que apresentou um total de incremento por volta de 44 km2. Durante esses anos a média de desmatamento foi de 27,37 km2 com um aumento de desmatamento total de 136,84 km2, saltando para 291,09 km2 de área total desmatada, ou seja, representando 60% dá área da bacia.

Durante os anos de 2006 a 2010 os números de incrementos anuais caíram expressivamente em relação aos anos anteriores, sendo que o ano maior de incremento de desmatamento ocorreu em 2007, com 14,36 km2 de desmatamento, enquanto os outros anos apresentaram valores abaixo de 7,33 km2. Nesses anos o total desmatado foi de 27,43 km2, observando os anos anteriores a somatória dos incrementos anuais (2006-2010) representava somente um ano do período de 2001 a 2005. O desmatamento para esse espaço de tempo resultou aproximadamente somente 4% da área da bacia neste período, totalizando 318,52 km2, o que significa 65,02% da área da bacia.

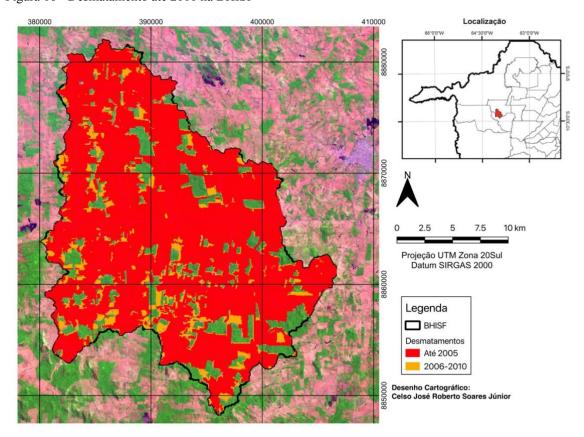


Figura 16 - Desmatamento até 2010 na BHISF

Fonte: Imagens Landsat 8, PRODES INPE (2014)

Os incrementos desde 2005 foram caindo, nos anos de 2011 a 2015 o total de incremento de desmatamento na área foi de 9,68 km2, representando 1,98% da área total, com o ápice de desmatamento no ano de 2011 com 4,41 km2. Contudo, a área total desmatada nesse período já se apresenta alta devido os anos anteriores, no final deste intervalo (2011-2015) a bacia já se encontrava com 67% da sua área desmatada.

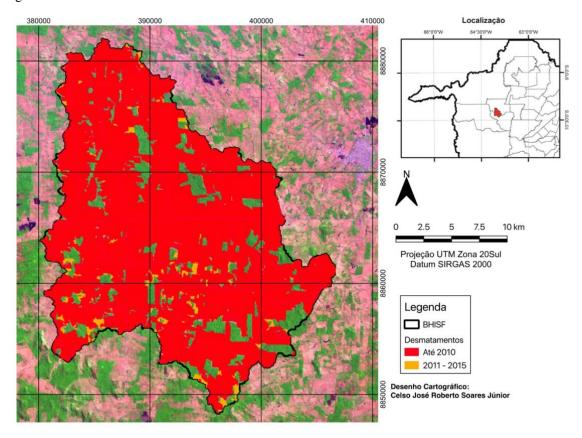


Figura 17 - Desmatamento até 2015 na BHISF

Fonte: Imagens Landsat 8, PRODES INPE (2014)

No fim do ano de 2018, a bacia se apresentava com o total de 339,23 km2 de desmatamento, ou seja, 69,25% da sua área total da bacia passou por influência humana. Dentro totalidade de desmatamento foram identificadas algumas tipologias de uso e cobertura da terra: pecuária extensiva, povoado, cultura permanente, sistema agropastoril, povoado e como áreas de preservação natural: água e floresta. Entre as atividades antrópicas a que apresentou maior representatividade foi a pecuária, responsável por 84% da área antrópica.

Conforme Rodrigues (2015), o estado passou por *input* de forças econômicas nacionais e globais que mexeram com a produção agrícola de Rondônia, contando com o estabelecimento da agricultura mecanizada e temporárias de grãos (soja e milho) na área do Cone Sul do estado, no qual apresenta terras mais produtivas, infraestruturas de armazenamento e de transporte já

instituídas, e com a centralização da produção pecuária nas áreas centrais do estado, perto de vias de acessos que possibilitem o melhor escoamento da produção para grandes frigoríficos nas proximidades.

Contudo, segundo Batista (2014) as áreas centrais, onde possuem melhor escoamento da produção pecuária, atingiram o seu limite de produtividade, o que acarretou a expansão pecuária extensiva para áreas onde há maior possibilidade de conversão em pasto, apontando para a região norte do estado.

5.2 Análise da Vulnerabilidade natural a erosão e Fragilidade ambiental na BHISF

Foram confeccionados os mapas de vulnerabilidade e fragilidade ambiental. Para cada mapa foram atribuídos seus respectivos pesos de acordo com Crepani et al. (1996, 2001) e Ross (1992, 1994).

5.2.1 Vegetação

A tabela abaixo apresenta as vegetações encontradas na área da pesquisa.

Tabela 23 - Valores de VNE e FA do tema vegetação na BHISF

Siglas	Subclasses de Formações	Subgrupos de Formações	Formações	Subformações	Peso VNE	Peso Fragilidade
Asp	Floresta Ombrófila	Aberta	Submontana	Com palmeiras	1,2	2
Asc	Floresta Ombrófila	Aberta	Submontana	Com cipós	1,2	2
Dse	Floresta Ombrófila	Densa	Submontana	Com dossel emergente	1	1
Dsu	Floresta Ombrófila	Densa	Submontana	Com dossel Uniforme	1	1

Fonte: Adaptado de Rondônia (2001), BRASIL (2012), Crepani et al. (2001) e Ross (1994)

Para Crepani et al. (2001) um dos fatores de proteção contra os processos morfogenéticos da unidade é a densidade de cobertura vegetal, desta forma para as altas densidades de cobertura os valores de vulnerabilidade são próximos a estabilidade (1,0). Enquanto para Ross (1994) para se obter o grau de proteção muito alta a cobertura vegetal deve ser Florestas/Matas naturais, florestas cultivadas com biodiversidade.

A área de estudo, quando utilizada a metodologia de Crepani et al. (2001), resultou na apresentação de dois (2) UTB's, os graus identificados na região foram: um (1,0) com total de

1,54 % da área total, um e dois décimos (1,2) representando 98,46 %. Por outro lado, na metodologia de Ross (1994), foram identificados dois (2) níveis de fragilidade: fragilidade fraca (1) representando 1,54 % da área total e fragilidade baixa (2) com 98,46 %, conforme mostrado as figuras 18 e 19.

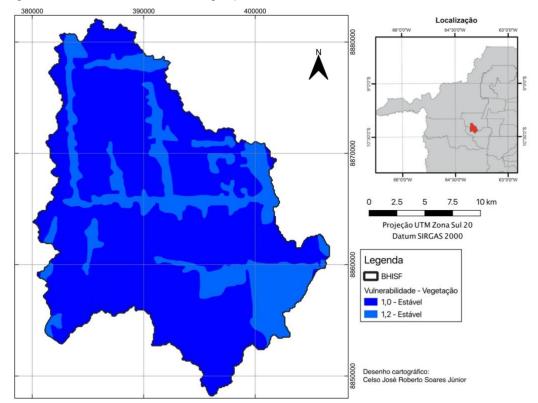


Figura 18 - Vulnerabilidade: Tema Vegetação

Fonte: Base de dados PLANAFLORO Rondônia (2001)

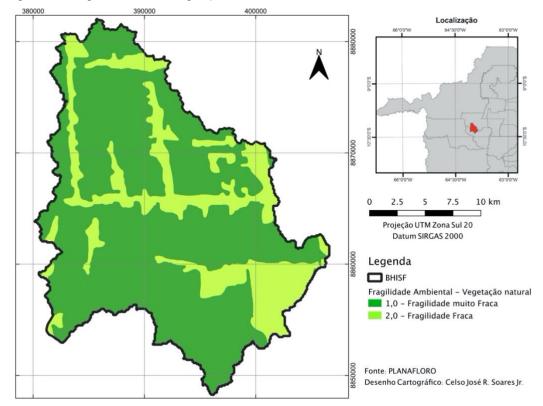


Figura 19 - Fragilidade: Tema Vegetação

Fonte: Adaptado de PLANAFLORO Rondônia (2001)

5.2.2 Geomorfologia

Valores atribuídos para as diferentes feições geomorfológicas na Bacia do Igarapé São Francisco.

Tabela 24 - Valores de VNE e FA do tema geomorfologia na BHISF

Sigla	Índice de Dissecação	Declividade	Amplitude Altimétrica	Média da Vulnerabilidade para o Terma Geomorfologia e os respectivos Pesos	Índice de Dissecação
D.2.2.3.1	2,7	1,5	1,1	1,8	3
D.3.1 – 1	2,7	2,0	1,1	1,9	3
D.3.1 – 2	2,6	2,0	1,6	2,1	3
D.3.1 – 3	2,6	2,0	1,3	2,0	3
D.3.1 – 4	2,7	2,0	1,2	2,0	3
D.3.1 – 5	2,5	2,0	1,5	2,0	3
D.3.1 – 6	2,6	2,0	1,2	1,9	3
D.3.1 – 7	2,6	2,0	1,3	2,0	3
D.3.1 – 8	2,6	2,0	1,4	2,0	3

Fonte: Adaptado de Rondônia (2001), Crepani et al (2001) e Ross (1994)

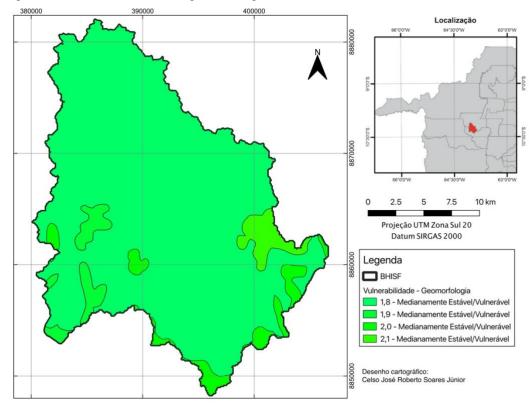


Figura 20 - Vulnerabilidade: tema geomorfologia

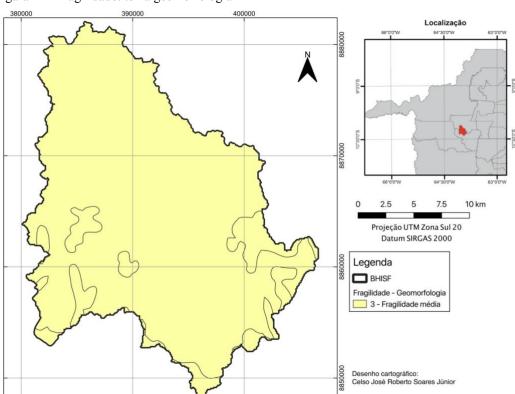


Figura 21 - Fragilidade: tema geomorfologia

Fonte: Base de dados PLANAFLORO Rondônia (2001)

5.2.3 Pedologia

Na área de pesquisa foi encontrado seis tipos de solo, onde em quatro há a associação de solos, que segundo Brasil (2015), são agrupamentos de unidades taxonômicas, em que cada unidade do agrupamento deve ocupar no mínimo 20% da área de associação. O primeiro componente, denominado componente dominante, é o mais expressivo, enquanto o os demais componentes são denominados subdominantes.

Para a composição dos pesos foi adotado a metodologia de peso para cada componente individual na associação, aplicado de acordo com a sua representatividade na área, dominante ou não. Desta forma, foi aplicado uma ponderação de 80% no valor do peso empregado no grau de vulnerabilidade e fragilidade ambiental para a classe dominante na associação, e por sua vez para a classe subdominante aplica-se uma ponderação de 20%.

Tabela 25 - Valores de VNE e FA do tema solos na BHISF

Tipo de Solo	Caracterização e Descrição	Peso	Peso FA
(Sigla)		VNE	гА
PD8	Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico + Latossolo Amarelo Distrófico textura argilosa e pedregoso	1,8	2
LLD21	Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico + Neossolo Litólico Eutrófico textura arenosa	1,4	3
PD3	Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico textura argilosa pedregoso relevo ondulado	2	2
PE5	Argissolo Vermelho-Amarelo Eutrófico + Latossolo Vermelho-Escuro Eutrófico textura argilosa	1,8	3
LAD8	Latossolo Amarelo Distrófico textura argilosa relevo ondulado	1,0	2
LLD13	Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico + Latossolo Amarelo Distrófico textura argilosa relevo suave ondulado	1,0	2

Fonte: Adaptado de Rondônia (2001), Crepani et al (2001) e Ross (1994)

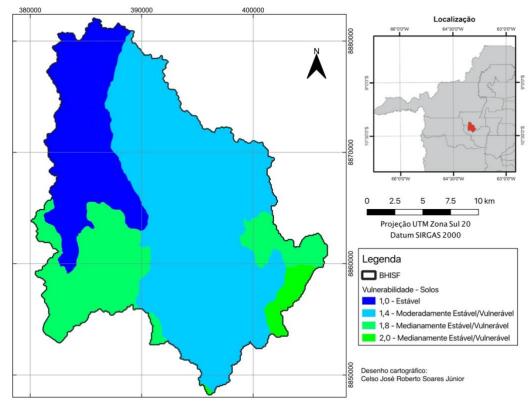


Figura 22 - Vulnerabilidade: tema solos

Fonte: Adaptado de PLANAFLORO Rondônia (2001)

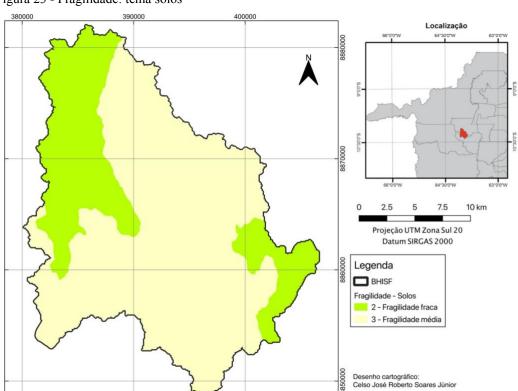


Figura 23 - Fragilidade: tema solos

Fonte: Base de dados PLANAFLORO Rondônia (2001)

5.2.4 Geologia

Crepani et al. (2001) relata que a contribuição da geologia para a análise e definição da categoria morfodinâmica da unidade de paisagem natural concebe as informações relacionadas à evolução geológicas e também em relação ao grau de coesão das rochas que a compõem. Na tabela há a distribuição somente dos pesos na metodologia de Crepani et al. (2001), pois Ross (1994) não as utiliza de forma direta na análise da Fragilidade Ambiental.

Na Bacia Hidrográfica do Igarapé São Francisco foram encontradas três formações geológicas, como exposto na tabela abaixo.

Tabela 26 - Valores de VNE do tema geologia na BHISF

Siglas	Tipo de				Pesos
Sigias	Rochas PLANAFLORO de Formação		Descrição	VNE	
PMPja	Metamórfica	Supergrupo Gnaisse Jaru	Mesoproterozóico médio	ortognaisses e gnaisses bandados, principalmente de composição granítica e granodiorítica e, subordinadamente, diorítica, quartzo-diorítica e tonalítica	1,3
MPteg	Ígnea	Suíte intrusiva do Teotônio	Mesoproterozóico	Quartzo-alcalifeldspato-granito, Faialita- clinopiroxênio-quartzo- alcalifeldspato- sienito	1,1
Npyg	Ígnea	Granito Jovens de Rondônia	Neoproterozóico	Anfibólio-biotita-alcalifeldspato-granito, Biotita-sienito, Alcalifeldspato-granito leucocrático, Mica (Li)-albita-granito, Piroxênio-anfibólio-alcalifeldspato -Sienito e traquito e rochas híbridas	1,1

Fonte: Adaptado de Rondônia (2001) e Crepani et al. (2001)

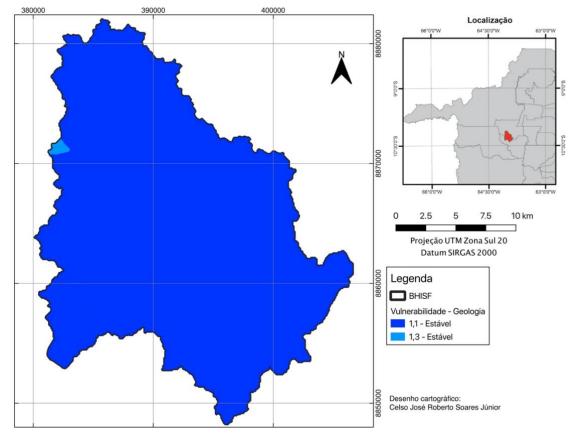


Figura 24 - Vulnerabilidade: tema geologia

5.2.5 Clima

A análise da VNE e FA em relação a clima (índices de precipitação) foram julgados a partir da série histórica contabilizado através de uma estação pluviométrica próxima à área da pesquisa e classificados conforme é mostrado na tabela abaixo.

Tabela 27 - Valores de VNE e FA do tema clima na BHISF

Índice de Precipitação Pluviométrica	Intensidade pluviométrica	Peso	Peso	
(mm/aa)	(mm/mês)	VNE	Fragilidade	
2.207,57	245,29	1,8	3	

Fonte: Crepani et al. (2001) e Ross (1994)

A ação da chuva agindo, a princípio, sobre as rochas provoca o intemperismo que consequentemente é a causa principal da denudação, e posteriormente sobre o solo extraindo-o através da erosão hídrica.

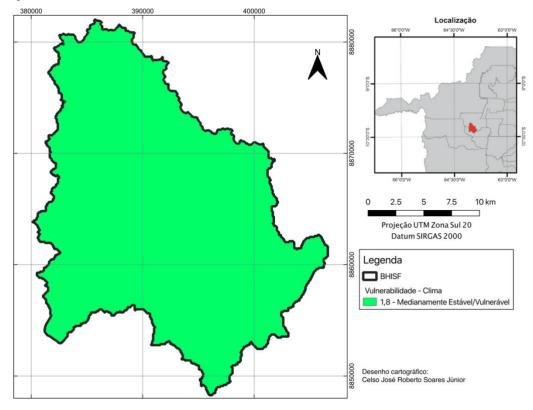


Figura 25 - Vulnerabilidade: tema clima

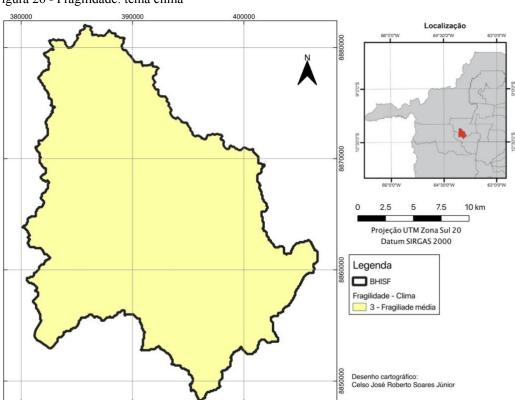


Figura 26 - Fragilidade: tema clima

Fonte: Base de dados PLANAFLORO Rondônia (2001)

5.2.6 Principais tipologias de Uso e Ocupação da Terra

Para entender a dinâmica dos processos de antropização da área é fundamental levantar os dados de uso e ocupação, ainda mais sabendo que na área houve diversos Processos de Assentamento. Neste trabalho a noção de Uso e Cobertura da Terra é definida, conforme BRASIL (2013), como uma indicação da disposição geográfica da tipologia de uso, sendo identificadas por meio de padrões homogêneos da cobertura terrestre.

Para obter as devidas informações foram realizadas expedições para coletar características daqueles pontos pré-determinados em laboratório. Durante as expedições foram constatadas que houve a predominância de atividade de pecuária na área, que segundo o estudo da Batista (2014), podem ter sido impulsionadas pela distribuição das atividades pecuárias advindas das áreas centrais do estado.

Em campo foram feitos diversos registros fotográficos, os pontos abaixo mostram os extremos da bacia, assim como diferentes tipologias encontradas na área, conforme o acervo do LABORATÓRIO DE GEOGRAFIA E PLANEJAMENTO AMBIENTAL - UNIR (LABOGEOPA) (2018).

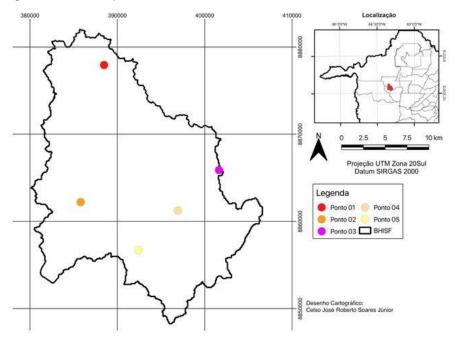


Figura 27 - Localização fotos da BHISF

Fonte: O autor (2019)

No ponto 01, mais a norte da bacia foi encontrado um relevo forte ondulado com a atividade pecuária.

Figura 28 - Ponto 01 - Atividade pecuária



Fonte: Acervo LABOGEOPA (2018)

No ponto 02, a leste da bacia, apresenta um relevo ondulado com afloramento rochoso, com atividade pecuária.

Figura 29 - Ponto 02 - Atividade pecuário



Fonte: Acervo LABOGEOPA (2018)

Em seu extremo oeste, apresenta um relevo ondulado, em um lado da via apresenta uma floresta perturbada/regeneração, e do outro lado possui pasto.

Figura 30 - Ponto 03 - Atividade pecuária com relevo ondulado



Fonte: Acervo LABOGEOPA (2018)

Em pequenas áreas da bacia, havia atividades de agricultura permanente, representando uma área de 0,26 km2, em sua parte central foi encontrada um plantio de café irrigado.

Figura 31 - Ponto 04 - Plantio de café



Fonte: Acervo LABOGEOPA (2018)



Fonte: Acervo LABOGEOPA (2018)

Na bacia a predominância era de áreas para a produção bovina, com imensas áreas de pasto, assim como foi encontrado também na parte mais ao sul da bacia, conforme a figura 32.

As classes de coberturas terrestres que se destacaram foram: a) Áreas Antrópicas não Agrícolas, caracterizadas por área urbanizadas e áreas de mineração; b) Áreas Antrópicas Agrícolas, referentes àquelas cujas as terras são destinadas para produção de alimentos através de cultivo agrícola em inúmeras modalidades; c) Área de Vegetação Natural, locais que possuem composição vegetal original ou de mata secundárias; e d) Áreas cobertas pelos corpos hídricos (Águas) áreas formadas pelos cursos d' água e canais naturais, como exemplo riachos, rios ou reservatórios artificiais entre outros.

Tabela 28 - Características das tipologias de uso e Ocupação na BHISF

Nomenclatura de Uso	Tipologia de uso da Terra	Descrição	Km2	%
Áreas Antrópicas não Agrícolas	Urbanizadas	Constituem de áreas de uso intensivo, possuindo sistema viário e estruturadas por edificações, prevalecendo as superfícies artificiais não agrícolas.	0,61	0,13%
Área Antrópica Agrícola	Pastagens	Áreas com destinação ao pastoreio de gado, concebida por meio de plantio de forragens perenes. A cobertura do solo é caracterizada por vegetação gramínea e/ou leguminosas. Nestes locais a atividade que se desenvolve é a pecuária.	412,04	84,11%
Área Antrópica Agrícola	Cultura Permanente	Apresenta o cultivo de plantas permanentes, ou seja, há longa duração no ciclo vegetativo. Mesmo sem a	0,26	0,05%

		necessidade de novos plantios após a colheita, as plantas conseguem produzir por vários anos sucessivos.		
Área Antrópica Agrícola	Agropastoril	O uso da terra é combinado entre cultivo agrícolas e/ou animais, de forma simultânea ou em sequência temporal, interagindo economicamente e ecologicamente em uma mesma unidade de terra.	0,04	0,01%
Áreas de Vegetação Natural		Descrita por apresentar formações arbóreas com porte superior a 5 m, compreendendo as fisionomias de a floresta densa, aberta, conforme o seu tipo.	75,56	15,43%
Áreas cobertas pelos corpos hídricos	continental	Áreas que apresentam corpos de água naturais e artificiais não sendo de origem marinha, por exemplo: rios, lagos, represas, etc.	1,37	0,28%
Total			489,87	100,00%

Fonte: Adaptado de BRASIL (2013)

No tocante ao tema uso e ocupação da terra, mais da metade da área foi inserida na classe morfodinâmica vulnerável e nível de fragilidade ambiental alta, isto devido a área apresentar forte tendência de modificação da floresta pelo pasto, tendo seu peso de vulnerabilidade atribuído de 2,8 a 2,9, enquanto para fragilidade ambiental o peso de 4.

Tabela 29 - Classificação do Uso e Cobertura da Terra da BHISF

Tipologia de uso da Terra	Grau de Vulnerabilidade	Nível de Fragilidade	Km2
Áreas Urbanizadas	3,0	5	0,61
Pastagens	2,8	4	412,04
Cultura Permanente	3,0	4	0,26
Sistema Agropastoril	2,9	4	0,04
Floresta	1,2	2	75,56
Corpo d'água continental	1	1	1,37

Fonte: Adaptado de Ross (1994) Crepani et al. (2001)

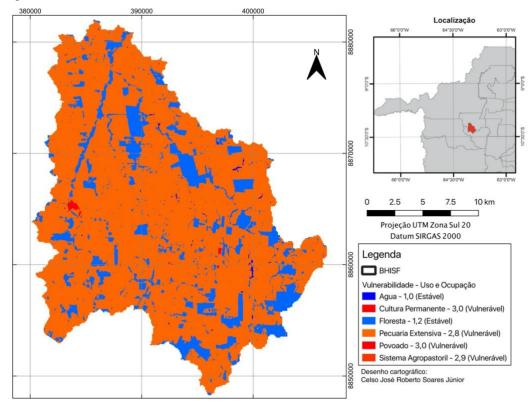


Figura 33 - Vulnerabilidade: temática Uso e Cobertura

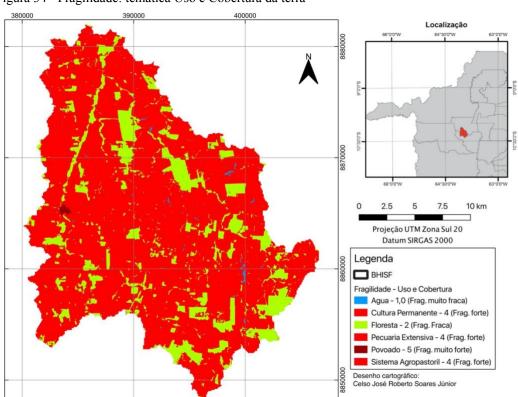


Figura 34 - Fragilidade: temática Uso e Cobertura da terra

Fonte: Base de dados PLANAFLORO RONDÔNIA (2010)

5.3 ATRIBUIÇÃO DA IMPORTÂNCIA RELATIVA ENTRE OS TEMAS DA VNE E FA

De acordo com a importância relativas dos temas, houve a sua hierarquização. Em ordem crescente de importância temos para a Vulnerabilidade Natural a Erosão: Geologia (grau de importância 1); Clima (grau de importância 3); Solos (grau de importância 5); Vegetação/Cobertura (grau de importância 7); e Geomorfologia (grau de importância 9). Visto que ao trabalhar Fragilidade Ambiental (Ross, 1994), o mesmo não considera diretamente a geologia, a ordem crescente de importância é a seguinte: 1) Clima (grau de importância 1); Solos (grau de importância 3); Vegetação/Cobertura (grau de importância 5); e Geomorfologia (grau de importância 7).

A geologia, no caso da vulnerabilidade natural a erosão do solo, recebeu a menor importância em relação par a par com os outros elementos elencados, por consequência da estabilidade das litologias encontradas na área, visto que as alterações na litologia somente serão perceptíveis no tempo geológico, enquanto que na metodologia da fragilidade ambiental de Ross (1994), o elemento não é computado no cálculo. O clima ficou com a quarta importância, isto porque a consequência da erosão do solo provocada pela precipitação necessita da geomorfologia, já que o relevo tem o principal papel em relação a transformação da energia potencial em energia cinética, em relação a perda de solo na erosão hídrica, e de intervenções humanas na modificação da paisagem, como por exemplo, a retirada da cobertura vegetal nativa.

O solo aparece em terceiro lugar na ordem de importância, uma vez que para a conseguir reproduzir as ações do homem na pretensão de um modelo de desenvolvimento vigente, exigem grandes áreas de terras e uso intensivo do solo, isto no meio rural. Além de os processos erosivos acontecem, em razão a erodibilidade de cada grande conjunto de solo, ocasionando de forma negativa e diretamente as populações, principalmente, pela perca de produtividade, danos às propriedades físico-químicas do solo, que acabam incidindo no campo econômico.

Como pode ser visto a Vegetação/Cobertura e uso recebeu o segundo lugar no grau de importância na comparação par a par com os outros elementos destacados, isto ocorreu devido ser o elemento da paisagem que repercute de forma explícita qualquer atividade antrópica, principalmente na busca de produção agropecuária, através de predominância de pastagens, provocando alteração de forma grosseira nas paisagens nativas em paisagens antropizadas.

A geomorfologia é o que recebeu maior valor de importância na comparação par a par com qualquer outro elemento da paisagem, pois é neste componente que a energia cinética pode se intensificar, consequentemente provocando uma maior capacidade erosiva, de acordo com a sua inclinação. Na Bacia Hidrográfica do Igarapé São Francisco, a geomorfologia se mostrou bastante expressiva através de Unidades Denudacionais com índice de dissecação elevado, apesar de média amplitude altimétrica, possui declividade relativamente expressiva, desta forma implica significantemente para a erosão do solo e fragilidade ambiental.

5.4 Aplicação da técnica AHP - Analystic Hierarchy process

5.4.1 Aplicação AHP - Vulnerabilidade Natural a Erosão

Com a realização das comparações par a par, os elementos são inseridos na matriz de comparação conforme a tabela 32.

Tabela 30 - Matriz com valores de importância de cada sistema componente da VNE

Matriz VNE	Geologia	Clima	Solos	Vegetação/Uso	Geomorfologia
Geologia	1				
Clima	3	1			
Solo	5	3	1		
Vegetação/Uso	7	5	3	1	
Geomorfologia	9	7	5	5	1

Fonte: O autor (2019)

A partir do valor de importância de cada sistema componente, em relação ao outro, monta-se a matriz de decisão, como mostra a tabela 33, em que cada elemento aponta quanto o fator da coluna esquerda é mais importante relativamente a cada fator correspondente na linha superior. Conforme Melo (2012), assim que um fator é comparado com ele mesmo, o resultado possível é um (1), isto porque possui a mesma importância.

Tabela 31 - Matriz de decisão para VNE

Matriz VNE	Geologia	Clima	Solos	Veget./Uso	Geomorfologia
Geologia	1	1/3 = 0,33	1/5 = 0,20	1/7 = 0,14	1/9 = 0,11
Clima	3	1	1/3 = 0.33	1/5 = 0,20	1/7 = 0,14
Solo	5	3	1	1/3 = 0.33	1/5 = 0,20
Vegetação/Uso	7	5	3	1	1/3 = 0.33
Geomorfologia	9	7	5	3	1
Soma da Coluna	25	16,333	9,533	4,676	1,787

Fonte: O autor (2019)

Após a definição da importância dos sistemas componentes juntamente com a matriz de decisão construída, inicia-se as etapas de cálculo dos pesos de cada sistema, sendo o primeiro passo a construção da matriz de decisão normalizada, em que é feito a relação do valor atribuído a cada sistema com a soma de cada coluna, resultando em valores de zero (0) a um (1), conforme a tabela abaixo.

Tabela 32 - Matriz de decisão normalizada para VNE

Matriz VNE	Geologia	Clima	Solos	Vegetação/Uso	Geomorfologia
Geologia	1/25 = 0.04	0,33/16,333 = 0,02	0,20/9,533 = 0,02	0,14/4,676 = 0,03	0,11/1,787 = 0,06
Clima	3/25 = 0,12	1/16,333 = 0,06	0,33/9,533 = 0,03	0,20/4,676 = 0,043	0,14/1,787 =0,08
Solo	5/25 = 0,20	3/16,333 = 0,18	1/9,533 = 0,10	0,33/4,676 = 0,071	0,2/1,787 = 0,11
Vegetação/Uso	7/25 = 0,28	5/16,333 = 0,31	3/9,533 = 0,31	1/4,676 = 0,214	0,33/1,787 = 0,18
Geomorfologia	9/25 = 0.36	7/16,333 = 0,43	5/9,533 = 0,52	3/4,676 = 0,642	1/1,787 = 0,56
Soma da Coluna	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

Fonte: O autor (2019)

Com a ponderação dos valores com a tabela 34, calcula-se os pesos dos sistemas componentes, que é a soma dos resultados dos valores de cada linha dividido pela quantidade de colunas da matriz de decisão, como no nosso caso a matriz é quadrada 5 x 5, o divisor será 5, mostra a tabela abaixo.

Tabela 33 - Valores dos pesos calculados para VNE na BHISF

Matriz VNE	Geologia	Clima	Solo	Vegetacão/Uso	Geomorfologia	Soma da	Cálculo dos pesos	Pesos
						linha	(média)	
Geologia	0,04	0,02	0,02	0,030	0,06	0,17	0,17/5 =	0,0345
Clima	0,12	0,06	0,03	0,043	0,08	0,34	0,34/5 =	0,0674
Solo	0,2	0,18	0,10	0,071	0,11	0,67	0,51/5 =	0,1342
Vegetação/Uso	0,28	0,31	0,31	0,214	0,18	1,30	1,30/5 =	0,2599
Geomorfologia	0,36	0,43	0,52	0,642	0,56	2,51	2,51/5 =	0,5028
Total								1,000

Fonte: O autor (2019)

Com os pesos determinados, deve-se conferir a coerência dos resultados e a sua aceitabilidade. Extraindo o vetor soma, conforme tabela abaixo.

Tabela 34 - Matriz do vetor soma ponderado

Matriz VNE	Geologia	Clima	Solos	Veget./Uso	Geomorfologia	Vetor
WIAUIZ VIVE	Geologia	Ciliia	Solos	v eget./Osu	Geomoriologia	soma
Geologia	1 x 0,0345 =	0,33 x 0,0674	0,20 x 0,1342 =	0,14 x 0,2599	0,11 x 0,5028 =	0,1768
Geologia	0,0345	= 0,0225	0,0268	= 0,0371	0,0559	0,1708
Clima	3 x 0,0345 =	1 x 0,0674 =	0,33 x 0,1342	0,20 x 0,2599 =	0,14 x 0,5028 =	0,3395
Cillia	0,1036	0,0674	= 0,0447	0,052	0,0718	0,3393
Solo	5 x 0,0345 =	3 x 0,0674 =	1 x 0,1342 =	0,33 x 0,2599 =	0,2 x 0,5028	0,6963
5010	0,1727	0,2022	0,1342	0,0866	= 0,1006	0,0903
Vegetação/Uso	7 x 0,0345 =	5 x 0,0674 =	3 x 0,1342 =	1 x 0,2599 =	0,33 x 0,5028 =	1,4088
v egetação/Oso	0,2418	0,337	0,4026	0,2599	0,1676	1,4000
Geomorfologia	9 x 0,0345 =	7 x 0,0674 =	5 x 0,1342 =	3 x 0,2599 =	1 x 0,5028 =	2,7361
Geomoriologia	0,3108	0,4717	0,6711	0,7796	0,5028	2,/301

Fonte: O autor (2019)

O valor do vetor soma dividido pelos pesos anteriormente calculados, resulta no vetor de consistência, que posteriormente é calculado o vetor de consistência médio.

Tabela 35 - Valores dos vetores de consistência da VNE

Matriz VNE	Vetor soma	Pesos	Vetor Consistência
Geologia	0,1768	0,0345	0,1768/0,0345 = 5,1246
Clima	0,3395	0,0674	0,3395/0,0674 = 5,0371
Solo	0,6963	0,1342	0,6963/0,1342 = 5,1885
Vegetação/Uso	1,4088	0,2599	1,4088/0,2599 = 5,4205
Geomorfologia	2,7361	0,5028	2,7361/0,5028 = 5,4417
Valor de Consistência médio (λ)			5,2425

Fonte: O autor (2019)

A partir do vetor médio de consistência, utilizando a fórmula descrita anteriormente, calcula-se o índice de consistência (IC). Observando que a incógnita "n" é o número da matriz, que no caso é igual a cinco (5).

$$IC = \frac{(5,2425-5)}{(5-1)} :: IC = 0,0606.$$
 (5)

O índice de consistência (IC) é uma variável fundamental para o cálculo da Razão de Consistência (RC), assim como também o Índice Randômico (IC), que de acordo com o quadro

03, a matriz quadrada de ordem 5, tem o valor de um inteiro, doze centésimos (1,12). Desta forma, o cálculo da Razão de Consistência:

$$RC = \frac{0,0606}{1.12} :: RC = 0,0541. \tag{6}$$

O resultado apresentado é menor que o valor de referência (0,10), desta maneira podese utilizar os valores dos pesos obtidos para cada sistema componente e assim aplicar as seguintes equações para elaboração do mapa de vulnerabilidade natural a erosão. Onde: Vn é o mapa de vulnerabilidade natural; Va, o mapa de vulnerabilidade antrópico; P1, P2, P3, P4, P5, são os pesos estatísticos calculados para cada elemento; V, é a atribuição dos graus de vulnerabilidade, conforme Crepani et al. (2001).

Equação 7 - Equação elaborada para utilização da AHP no cálculo de VNE

$$Vn = (P1 \times Vgeol) + (P2 \times Vclima) + (P3 \times Vsolos) + (P4 \times Vveg.nat) + (P5 \times Vgeom)$$
(7)

$$Va = (P1 \times Vgeol) + (P2 \times Vclima) + (P3 \times Vsolos) + (P4 \times Vveg.uso) + (P5 \times Vgeom)$$
 (8)

5.4.2 Aplicação AHP - Fragilidade Ambiental

Inserção dos fatores na matriz de comparação conforme a tabela a seguir.

Tabela 36 - Matriz com os valores de importância de cada sistema componente da FA

Matriz	Clima	Solo	Veget./Uso	Geomorfologia
Clima	1			
Solo	3	1		
Veget./Uso	5	3	1	
Geomorfologia	7	5	3	1

Fonte: O autor (2019)

Seguindo a metodologia de Saaty (1977), monta-se a matriz de decisão, conforme a tabela abaixo.

Tabela 37 - Matriz de decisão para FA

Matriz F.A	Clima	Solos	Vegetação/Uso	Geomorfologia
Clima	1	1/3 = 0.3333	1/5 = 0,20	1/7 = 0,1429
Solo	3	1	1/3 = 0,3333	1/5 = 0,20
Vegetação/Uso	5	3	1	1/3 = 0.3333
Geomorfologia	7	5	3	1
Soma da Coluna	16	9,3333	4,5333	1,6762

Fonte: O autor (2019)

A seguir faz-se a normalização da matriz decisão, o resultado é mostrado na tabela 38, abaixo.

Tabela 38 - Matriz de decisão normalizada para FA

Matriz F.A	Clima	Solos	Vegetação/Uso	Geomorfologia
Clima	1/16 = 0,0625	0,3333/9,333 = 0,0357	0,2/4,533 = 0,0441	0,142/1,6762 = 0,0852
Solo	3/16 = 0,1875	1/9,333 = 0,1071	0,333/4,533 = 0,0735	0,2/1,6762 = 0,1193
Vegetação/Uso	5/16 = 0,3125	3/9,333 = 0,3214	1/4,533 = 0,2206	0,333/1,6762 = 0,1989
Geomorfologia	7/16 = 0,4375	5/9,333 = 0,5357	3/4,533 = 0,6618	1/1,6762 = 0,5996
Soma das colunas	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000

Fonte: O autor (2019)

E por fim o cálculo dos pesos dos sistemas componentes, sendo a média da soma de cada linha pela quantidade de colunas, nesse caso o divisor será 4 devido ser uma matriz quadrada 4 x 4.

Tabela 39 - Valores dos pesos calculados para FA na BHISF

Matriz F.A	Clima	Solo	Vegetação/Uso	Geomorfologia	Soma das Linhas	Cálculo dos Pesos (média)	Pesos
Clima	0,0625	0,0357	0,0441	0,0852	0,2276	0,2276/4 =	0,0569
Solo	0,1875	0,1071	0,0735	0,1193	0,4875	0,4875/4 =	0,1219
Vegetação/Uso	0,3125	0,3214	0,2206	0,1989	1,0534	1,0534/4 =	0,2633
Geomorfologia	0,4375	0,5357	0,6618	0,5966	2,2316	2,2316/4 =	0,5579
Total							1,00

Fonte: O autor (2019)

Conforme exposto anteriormente na aplicação da AHP para Vulnerabilidade Natural a Erosão, deve-se fazer a verificação da coerência dos resultados e de sua aceitabilidade, para isso necessita do vetor soma, retirado da tabela 40.

Tabela 40 - Matriz do vetor soma ponderado para FA

Matriz F.A	Clima	Solos	Vegetação/Uso	Geomorfologia	Vetor soma
Clima	1 x 0,0569 = 0,0569	0,3333 x 0,1219 = 0,0406	0,2 x 0,2633 = 0,0527	0,1429 x 0,5579 = 0,0797	0,2299
Solo	3 x 0,0569 = 0,1707	1 x 0,1219 = 0,1219	0,3333 x 0,2633 = 0,0878	$0.2 \times 0.5579 = 0.1116$	0,4919
Vegetação/Uso	5 x 0,0569 = 0,2844	3 x 0,1219 = 0,3656	1 x 0,2633 = 0,2633	0,3333 x 0,5579 = 0,1860	1,0994
Geomorfologia	$7 \times 0.0569 = 0.3982$	5 x 0,1219 = 0,6094	3 x 0,2633 = 0,7900	1 x 0,5579 = 0,5579	2,3555

Fonte: O autor (2019)

Posteriormente através da relação do vetor soma com os pesos anteriormente calculados, obtém o vetor consistência, e assim extrai-se o vetor de consistência médio.

Tabela 41 - Valores dos vetores de consistência da FA

Matriz F.A	Vetor soma	Pesos	Vetor Consistência
Clima	0,2299	0,0569	0,2299/0,0569 = 4,0408
Solo	0,4919	0,1219	0,4919/0,1219 = 4,0362
Vegetação/Uso	1,0994	0,2633	1,0993/0,2633 = 4,1747
Geomorfologia	2,3555	0,5579	2,3555/0,5579 = 4,2222
Total			4,1185

Fonte: O autor (2019)

Com o valor do vetor médio de consistência, calcula-se o índice de consistência (IC), diferente do caso anterior a incógnita "n" é igual a quatro (4), devido o nosso número da matriz, desta maneira:

$$IC = \frac{(4,1185-4)}{(4-1)} :: IC = 0,03948.$$
 (9)

Com o resultado do IC, podemos obter o valor da Razão de Consistência, atentando-se que o Índice Randômico (IC), de acordo com o quadro 03 a matriz quadrada de ordem 4, tem o valor de nove décimos (0,9).

$$RC = \frac{0,03948}{0.90} : RC = 0,04387. \tag{10}$$

O resultado abaixo do valor de referência (0,10) pode-se utilizar os valores dos pesos obtidos para cada sistema componente e assim aplicar nas seguintes equações para elaboração do mapa de fragilidade ambiental. Onde: FAp é o Fragilidade Ambiental Potencial; FAe, o mapa de Fragilidade Ambiental Emergente; P1,2,3,4, são os pesos estatísticos calculados para cada elemento; FA, é a atribuição dos graus de fragilidade, conforme Ross (1994).

$$FAp = (P1 \ x \ FAclima) + (P2 \ x \ FAsolos) + (P3 \ x \ FAveg.nat) + (P4 \ x \ FAgeom)$$
 (11)

$$FAe = (P1 \ x \ FAclima) + (P2 \ x \ FAsolos) + (P3 \ x \ FAveg.uso) + (P4 \ x \ FAgeom)$$
(12)

5.5 Cenários

5.5.1 Cenário sem ação antrópica

Para a confecção deste cenário considerou que a Bacia Hidrográfica do Igarapé São Francisco não apresenta algum indício de desmatamento, ou seja, sem ação antrópica. Desta forma, para os cálculos da vulnerabilidade natural a erosão e fragilidade ambiental sem ação antrópica da bacia é realizado através das condições "originais" da área, isto devido a informação vetorial do mapa de vegetação do PLANAFLORO.

5.5.1.1 Vulnerabilidade Natural a Erosão Natural da BHISF

Quando integradas de forma sistêmica as informações fitográficas da bacia, utilizando a fórmula de Crepani et al. (2001), a bacia possui dois níveis de vulnerabilidade na sua área, uma parcela de aproximadamente 22% de predominância de morfogênese em detrimento da pedogênese, ou seja, em grau de vulnerabilidade estável, enquanto que 78% se apresentou como moderadamente estável frente aos processos erosivos, conforme a figura 35 e tabela 42.

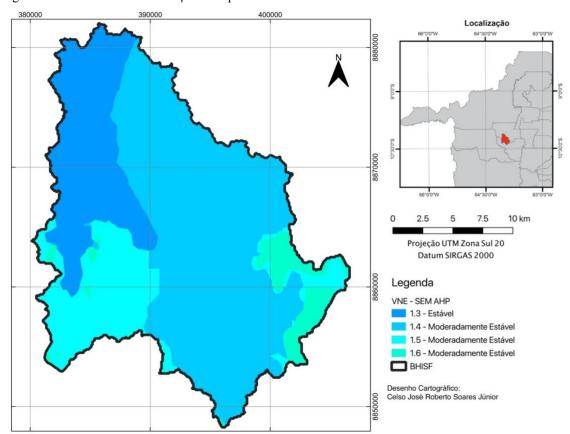
Tabela 42 - Porcentagem dos graus de VNE - Cenário sem ação antrópica

Grau de Vulnerabilidade	Área (km2)	% de área	Agrupamento dos graus de vulnerabilidade
1,3 (Estável)	107,25	21,89%	21,89%
1,4 (Moderadamente Estável)	270,07	55,13%	
1,5 (Moderadamente Estável)	84,47	17,24%	78,11%
1,6 (Moderadamente Estável)	28,08	5,73%	
Total	489,87	100,00%	100,00%

Fonte: O autor (2019)

Apesar de as características regionais em relação a vegetação apresentarem valores com baixo grau de VNE, os valores medianos para a grande camada de Latossolo Vermelho-Amarelo que cobre a área central da bacia, apresentando baixa erodibilidade, somados com o alto grau dissecação do relevo e declividade fizeram com que houvesse a elevação do grau de vulnerabilidade da bacia.

Figura 35 - VNE - Cenário sem ação antrópica



Fonte: Base de dados PLANAFLORO Rondônia (2001)

5.5.1.2 Fragilidade Ambiental Potencial da BHISF

As informações fitográficas analisada na integração a partir da metodologia apresentada por Ross (1994), apresentou somente um nível de fragilidade: baixa. O resultado já era o esperado, visto que nas maiorias dos temas a variação na distribuição dos valores de fragilidade giravam entorno de 2 e 3, como por exemplo a pedologia. Mesmo atribuindo somente o valor de fragilidade média (3) na interpretação dos temas geomorfologia e clima, destoando somente ao analisar na vegetação a Floresta Ombrófila Densa que apresenta valor muito fraco (1), a álgebra de mapas consolidou a área em fragilidade baixa, conforme mostrado o mapa síntese da fragilidade ambiental.

Tabela 43 - Área do nível de FA - Cenário sem ação antrópica

Peso	Nível de FA	Área (km2)	%
2	Fragilidade baixa	489,87	100,00%

Fonte: O autor (2019)

5.5.1.3 Vulnerabilidade Natural a Erosão com o uso de AHP

Após o estabelecimento das comparações par a par na técnica de Análise Hierárquica Processual, desenvolvida por Saaty (1977), obteve-se os seguintes pesos para os determinados temas, conforme a tabela 44.

Tabela 44 - Pesos calculados para VNE na BHISF

Temas	Pesos
Geologia	0,0345
Clima	0,0674
Solo	0,1342
Vegetação/Uso	0,2599
Geomorfologia	0,5028

Fonte: O autor (2019)

Desta forma, quando realizado a equação executada no tópico 5.4.1 para obtenção da VNE, observa-se que na distribuição dos pesos houve o maior "balanceamento" na geomorfologia em relação aos outros temas, com peso de 0,5028, enquanto o menor peso distribuído foi para geologia de 0,0354. Com isso, os valores já medianos acabam por elevando com esse "balanceamento", apresentando valores maiores que o mapa síntese sem Análise Hierárquica Processual (AHP), conforme a seguir.

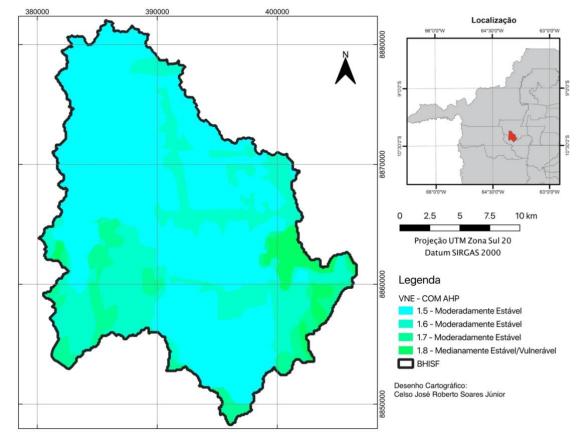


Figura 36 - VNE com AHP: Cenário sem ação antrópica

A maior concentração na área é de um ambiente moderadamente estável, representando 95,88% da área total, enquanto medianamente estável/vulnerável apresenta 4,12% da área, conforme mostra tabela 45.

Tabela 45 - Área dos graus de VNE - Cenário sem ação antrópica

Graus de Vulnerabilidade	Área (km2)	% de área	Agrupamento dos graus de vulnerabilidade
1,5 (Moderadamente estável)	302,59	61,77%	
1,6 (Moderadamente estável)	126,47	25,82%	95,88%
1,7 (Moderadamente estável)	40,61	8,29%	
1,8 (Medianamente estável/vulnerável)	20,20	4,12%	4,12%
Total	489,87	100,00%	100,00%

Fonte: O autor (2019)

5.5.1.4 Fragilidade Ambiental com o uso de AHP

A análise hierárquica processual para a fragilidade ambiental apresentou os pesos conforme tabela 46.

Tabela 46 - Pesos da FA na BHISF

Temas	Pesos
Clima	0,0569
Solo	0,1219
Vegetação/Uso	0,2633
Geomorfologia	0,5579

Fonte: O autor (2019)

Com base nos pesos acima, o valor de geomorfologia também apresentou maior distribuição no seu peso (0,5579) em relação aos outros, e o clima apresentou menor valor no seu peso (0,0569). As áreas que obtiveram o menor nível de fragilidade, quando realizada a álgebra de mapas, ocorreu na maioria das áreas onde apresentavam Florestas Ombrófilas Densas, de nível de fragilidade muito fraca (1), enquanto os rastros de Florestas Ombrófilas abertas que representava a fragilidade fraca (2), tiveram a sua intensificação devido a distribuição dos pesos. Com isso a fragilidade fraca das florestas ombrófilas abertas, quando feita a análise da álgebra de mapa com as outras temáticas, passou a apresentar fragilidade média (3), conforme mostra a afigura abaixo.

380000 380000 400000 Localização

O 2.5 5 7.5 10 km

Projeção UTM Zona Sul 20
Datum SIRGAS 2000

Legenda

FRAGILIDADE - COM AHP

2 - Fragilidade baixa
3 - Fragilidade média
BHISF

Desenho Cartográfico:
Celso José Roberto Soares Júnior

Figura 37 - FA com uso de AHP: cenário sem ação antrópica

Fonte: Base de dados PLANAFLORO Rondônia (2001)

A predominância é de um ambiente com vulnerabilidade fraca (2), que representa em torno de 76,32% da área, equivalente a 373,86 km2, por sua vez o ambiente que se mostrou com vulnerabilidade média (3) equivale a 116,01 km2, em porcentagem representa 23,68%.

5.5.2 Cenário com ação antrópica

A produção deste cenário possui o objetivo de ter o conhecimento da influência da atuação antrópica nos valores dos graus de vulnerabilidade e níveis de fragilidade ambiental. Desta forma, foi agregado à temática de vegetação os polígonos de intervenção humana, que foram identificadas pela classificação supervisionada nas imagens Landsat 8, com isso concebe a temática vegetação/uso.

É importante salientar que nos mapas os pesos atribuídos a princípio não foram alterados. A associação dos polígonos de intervenção humanas com a temática de vegetação natural ainda continua sendo a segunda temática com maior peso, isto devido continuar possuindo a importante função de cobrir e proteger a paisagem da erosão.

5.5.2.1 VNE com ação antrópica sem o uso da AHP

Com a adição da ação antrópica na BHISF, o mapa apresentou dois (2) graus de escala de vulnerabilidade, excluindo a área de grau de vulnerabilidade estável, reduzindo significativamente o grau de moderadamente estável e aparecimento de áreas medianamente estável/vulnerável em comparação com a análise de vegetação nativa.

Tabela 47 - Área dos graus de VNE - Cenário com ação antrópica sem AHP

Graus de vulnerabilidade	Área (km2)	% de área	Agrupamento dos graus de Vulnerabilidade	
1,4 (Moderadamente estável)	12,59	2,57%		
1,5 (Moderadamente estável)	43,40	8,86%		
1,6 (Moderadamente estável)	18,07	3,69%	34,12%	
1,7 (Moderadamente estável)	93,08	19,00%		
1,8 (Medianamente estável/vulnerável)	229,81	46,91%	65,88%	
1,9 (Medianamente estável/vulnerável)	92,94	18,97%		
Total	489,87	100,00%	100,00%	

Fonte: O autor (2019)

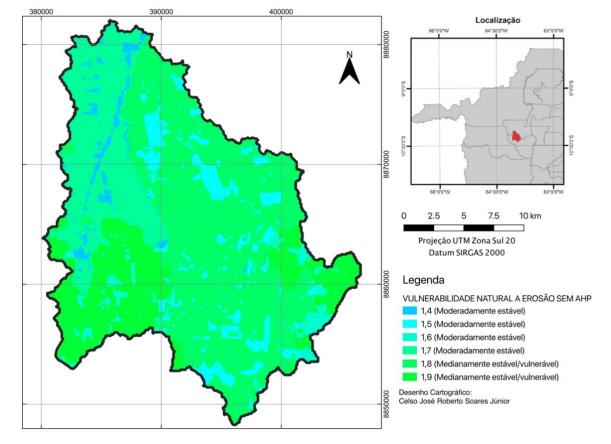


Figura 38 - VNE sem AHP: Cenário com ação antrópica

As áreas classificadas como moderadamente estáveis na BHISF foram reduzidas em aproximadamente 44%, na análise de vegetação nativa ocupava a maioria da área da bacia, após a inclusão da ação antrópica reduziu para 34,12%. Fato decorrente do gradativo processo de abertura e ocupação de novas terras, em que a pecuária é a principal atividade produtiva aplicada, com essas alterações há uma mudança drástica nas faixas da vegetação, alterando de uma floresta estratificada para uma formação de vegetação com alturas máximas de 2 metros, ou seja, com estrato mais herbáceo-arbustiva.

5.5.2.2 Fragilidade Ambiental com ação antrópica sem o uso de AHP

A introdução da ação antrópica nos mapas de fragilidade ambiental, em comparação com análise anterior de vegetação nativa, reduziu drasticamente o valor de fragilidade fraca em aproximadamente 85%, considerando sem ação antrópica área de estudo era classificada integralmente de fragilidade fraca, com a inclusão das atividades humanas passou para 15,10%. Enquanto houve o acréscimo da classificação de fragilidade média apresentando 84,90%.

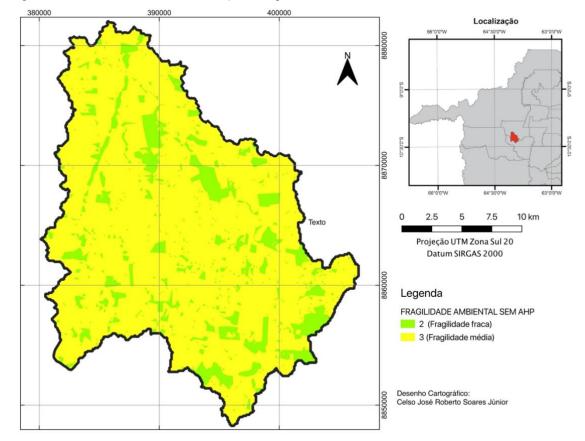


Figura 39 - FA sem AHP: cenário com ação antrópica

Tabela 48 - Área dos níveis de FA - Cenário com ação antrópica sem AHP

Níveis de Fragilidade	Área (km2)	% de área
2 (Fragilidade fraca)	73,97	15,10%
3 (Fragilidade média)	415,90	84,90%
Total	489,87	100,00%

Fonte: O autor (2019)

5.5.2.3 VNE com ação antrópica com o uso da AHP

A inserção de atividades humanas na área quando utiliza a técnica da AHP, em comparação com o mapa de vulnerabilidade sem ação antrópica com o uso da AHP, temos uma redução significante do grau de vulnerabilidade moderadamente estável, representando 15,11%. Por outro lado, o grau de vulnerabilidade medianamente estável/vulnerável saltou para 84,90% da área da bacia.

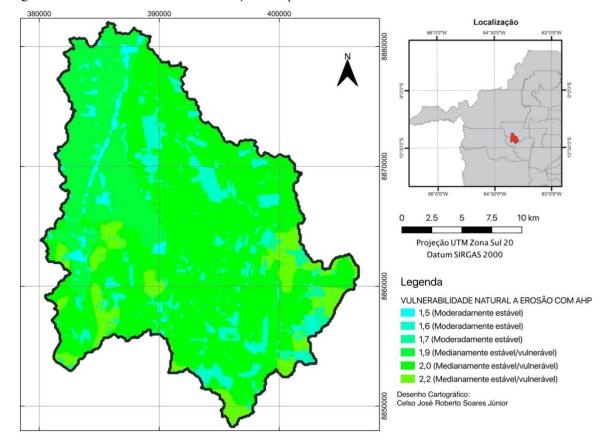


Figura 40 - VNE com AHP: cenário com ação antrópica

Tabela 49 - Área dos graus de VNE com atividade antrópica com AHP

Graus de vulnerabilidade	Área (km2)	% de área	Agrupamento de Grau de vulnerabilidade
1,5 (Moderadamente estável)	13,51	2,76%	
1,6 (Moderadamente estável)	50,04	10,21%	15,11%
1,7 (Moderadamente estável)	10,49	2,14%	
1,9 (Medianamente estável/vulnerável)	92,64	18,91%	
2,0 (Medianamente estável/vulnerável)	281,56	57,48%	84,89%
2,2 (Medianamente estável/vulnerável)	41,63	8,50%	
Total	489,87	100,00%	100,00%

Fonte: O autor (2019)

5.5.2.4 Fragilidade Ambiental com ação antrópica com o uso da AHP

A utilização da técnica de AHP quando há a atividade humana na análise, não aumenta o nível de fragilidade quando comparada sem a utilização da técnica. Contudo, há a redução de áreas em que antes apresentava fragilidade baixa, representando 76,32%, passou a representar somente 14,98%. Por sua vez, a fragilidade média saltou de 23,68% para 85,02%.

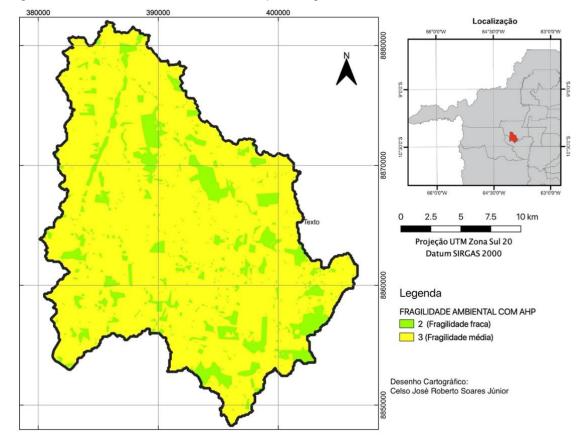


Figura 41 - FA com uso de AHP: cenário com ação antrópica

Fonte: Base de dados PLANAFLORO Rondônia (2001)

Tabela 50 - Área dos níveis de FA - Cenário com ação antrópica com uso da AHP

Níveis de Fragilidade	Área	% de área
2 (Fragilidade fraca)	73,37	14,98%
3 (Fragilidade média)	416,50	85,02%
Total	489,87	100,00%

Fonte: O autor (2019)

5.6 Discussão sobre os cenários

Ao colocar lado a lado os cenários de vulnerabilidade natural a erosão e fragilidade ambiental com a utilização da ferramenta AHP percebe-se que não há, para essa área de estudo, grandes divergências nas áreas em que ocorre um maior desequilíbrio morfogenético/pedogenético. Inclusive as áreas que apresentam fragilidade fraca e unidades territoriais básicas estáveis são semelhantes nos dois métodos.

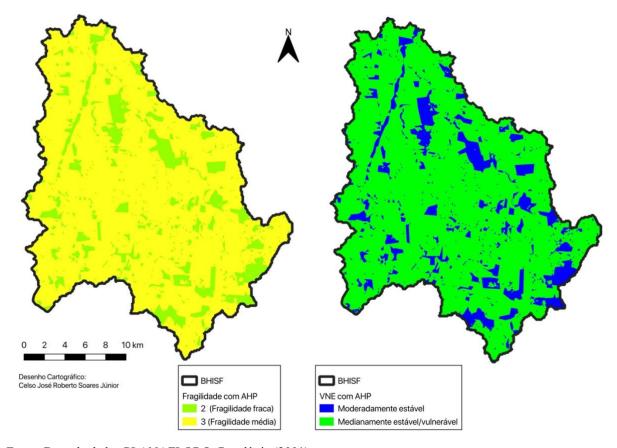


Figura 42 - Comparação dos cenários de FA e VNE

Fonte: Base de dados PLANAFLORO, Rondônia (2001)

Tabela 51- Par a par cenários de FA e VNE

Metodologia	Área de menor influência morfogenética (km2)	Área de maior influência morfogenética (km2)
Fragilidade Ambiental (Ross, 1994)	73,37	416,50
Vulnerabilidade Natural a Erosão (Crepani et al. 2001)	74,04	415,83

Fonte: O autor (2019)

Percebe-se que há também a similaridade com os mapas temáticos de uso e cobertura da terra, como podemos ver abaixo.

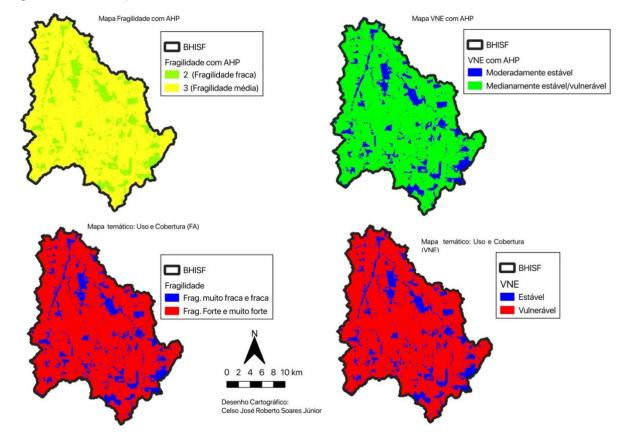


Figura 43 - Semelhança dos cenários de FA e VNE com Uso e Cobertura da Terra

Fonte: Base de dados PLANAFLORO, Rondônia (2001)

Nos mapas temáticos de Uso e cobertura da terra, as áreas que apresentavam fragilidade muito fraca e fraca e vulnerabilidade estável foram identificadas como florestas e água, enquanto as outras áreas destoaram significativamente, recebendo altos índices de vulnerabilidade e fragilidade ambiental.

Com a realização da técnica AHP houve a atribuição dos pesos de maior importância para menor importância na seguinte ordem geomorfologia, vegetação/uso, solo, clima e geologia (somente para VNE). Pode-se observar que o tema vegetação/uso é a segunda mais importante, com a majoração houve um destaque da área de floresta no uso e cobertura da terra quando realizado o cálculo de vulnerabilidade natural a erosão e fragilidade ambiental com AHP, resultando nas duas análises as mesmas áreas de fragilidade fraca e vulnerabilidade estável.

Há a diferenciação quando comparada a metodologia de Crepani et al. (2001) sem o uso da AHP com uso de AHP.

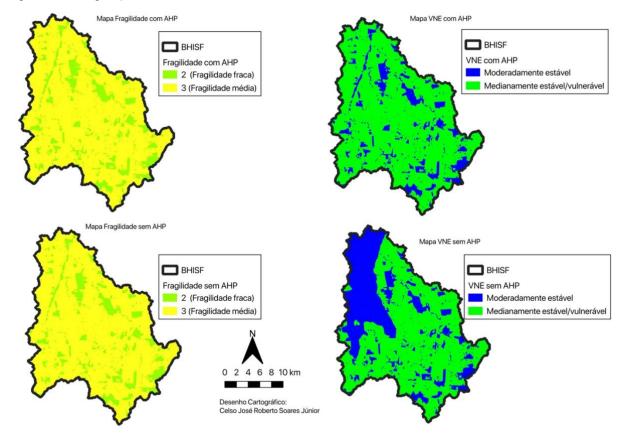


Figura 44 - Comparação dos cenários de FA e VNE com e sem uso da AHP

Fonte: Base de dados PLANAFLORO, Rondônia (2001)

Tabela 52 - Comparação dos cenários de FA e VNE com e sem uso da AHP

Metodologia	Área de menor influência morfogenética (km2)	Área de maior influência morfogenética (km2)
Fragilidade Ambiental (Ross, 1994) sem AHP	73,97	415,90
Fragilidade Ambiental (Ross, 1994) com AHP	73,37	416,50
Vulnerabilidade Natural a Erosão (Crepani et al. 2001) sem AHP	167,14	322,75
Vulnerabilidade Natural a Erosão (Crepani et al. 2001) com AHP	74,04	415,83

Fonte: O autor (2019)

Neste caso, na metodologia VNE sem o uso da AHP, apresenta uma grande área moderadamente estável, isto devido aquela localidade possuir uma grande influência do solo latossolo vermelho-amarelo distrófico, representando na escala de vulnerabilidade valor de 1,0 (estável), quando colocada na equação de Crepani et al. (2001) acarreta na diminuição das escalas dos outros temas. Enquanto na Fragilidade Ambiental recebe o valor de fragilidade fraca

(2,0) não conseguindo, quando realizada a equação com os outros temas, obter, para aquela área do solo, um valor generalizado de fragilidade fraca.

6 CONCLUSÕES

- A maior origem de desmatamento na BHISF, conforme os dados levantados da cobertura e uso, é a pecuária, estabelecida como a principal atividade da bacia, representa 84,11% da área total da área de estudo.
- Devido as grandes taxas de incremento de desmatamento no início de 2001, alcançando em 2004 em torno de 11% da área total desmatada em um ano, a bacia hidrográfica do igarapé São Francisco pode ser apontada como uma boa amostra de expansão de fronteira agrícola.
- As áreas que se apresentaram menos vulneráveis à erosão e menor fragilidade ambiental foram situadas em zonas com a cobertura vegetal preservadas, onde há a prevalência dos processos pedogenéticos em relação aos processos morfogenéticos.
- Ainda que a área de estudo apresente bastante atividades antrópicas, cerca de 84% com atividades de pecuária extensiva, cultura permanente e sistema agropastoril, as análises realizadas através da metodologia de Crepani et al. (2001) e Ross (1994, 2000) indica que a bacia apresenta o equilíbrio entre a morfogênese e a pedogênese, sendo classificada por ambas as metodologias de vulnerabilidade/fragilidade média.
- Com a adaptação feita nesta pesquisa para a análise de Fragilidade Ambiental, o que tornou o cálculo da metodologia semelhante à método de Crepani et al. (2001), porém com diferentes valores distribuídos nas temáticas, observou que por utilizar a média nas apreciações há uma pressuposição de que todos os temas possuem a mesma importância para estabelecer os graus de vulnerabilidade natural a erosão e fragilidade ambiental. Desta forma, as análises apresentam um esmaecimento dos valores extremos e os valores intermediários se tornam preponderante. Com isso a utilização da AHP nas metodologias se torna satisfatória, isto porque a relação de pesos entre as variáveis demonstrou algumas similitudes com a realidade da área da bacia, ou seja, é considerado nos processos erosivos as inúmeras influências das variáveis físicas com seus determinados níveis de importância.
- Conforme o ZSEE-RO, a BHISF possui 78% da sua área localizada na subzona 1.2 e 22% na subzona 1.3. Observando que a subzona 1.3 deveria priorizar o aproveitamento dos recursos naturais daquela área não estimulando a expansão agropecuária, conforme lei complementar, os levantamentos mostraram que desde 2001 houve um aumento gradativo da exploração de terras, através da produção pecuária, dessa maneira a área

- requer a atenção do poder público visto o surgimento de novas propriedades rurais naquela subzona.
- Em comparação entre o modelo de vulnerabilidade natural a erosão desenvolvido por Crepani et al. (2001) e Fragilidade Ambiental de Ross (1994, 2000), percebe-se que houve semelhança nas porcentagens de áreas de equilíbrio morfogenético e pedogenético, com valores próximos a 85%, assim como também as áreas onde há a predominância da pedogênese sobre a morfogênese, representada por 15%. Neste caso para a área de estudo, não apresenta destoamentos significativos na aplicação dos dois métodos com o uso da AHP.
- A aplicação dos estudos de vulnerabilidade natural a erosão e fragilidade ambiental com o objetivo de compreender a dinâmica dos fenômenos que atuam e que estabelecem a evolução de uma determinada área, assim como também as formas de adaptação daquele lugar, são bastante eficazes. Contudo, para que esses estudos proporcionem parâmetros seguros para um planejamento e ordenamento territorial deve-se requerer que as análises integrem dados mais detalhados, tanto espacialmente quanto temporalmente.
- A classificação da área conforme o grau de vulnerabilidade ou fragilidade no tocante aos processos erosivos, apresenta-se como um instrumento pertinente para orientação de planos de zoneamento e planejamento ambiental da bacia estudada, que está localizada em uma zona de grande importância ambiental na área noroeste do estado de Rondônia.

REFERÊNCIAS

- AB'SABER, A. **Os domínios de natureza no Brasil: Potencialidades Paisagísticas**. São Paulo: Ateliê Editorial, 2003.
- ADAMY, A.; ROMANINI, S. J. Geologia da região de Porto Velho-Abunã. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. Brasília: DNPM/CPRM, 1990.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS ANA. **Portal HidroWeb**. 2018. Disponível em: https://www.snirh.gov.br/hidroweb/publico/apresentacao.jsf. Acesso em: 12 dez. de 2018.
- ALMEIDA, T. M. de. **Análise geossistêmica aplicada ao estudo da fragilidade ambiental na bacia hidrográfica do rio São João de Tiba, Bahia**. 2014. 268 p. Tese (Doutorado em Geografia) Universidade Federal do Ceará.
- AVELINO, P. H. M. Análise Geo Ambiental Multitemporal para fins de Planejamento Ambiental: Um exemplo aplicado à Bacia Hidrográfica do Rio Cabaçal Mato Grosso Brasil. 2006. 326 p. Tese (Doutorado em Ciências em Geografía) Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- BAASCH, S. S. N. Um sistema de suporte multicritério aplicado na gestão dos resíduos sólidos nos municípios catarinenses. 1995. 204 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) Universidade Federal de Santa Catarina.
- BARBOSA, G. R. Utilização das Redes Neurais Artificiais para redução da subjetividade da Técnica AHP Aplicado a Vulnerabilidade Ambiental: Estudo de Caso do Córrego do Fundo, Carmo do Paranaíba MG. 2015. 96 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) Universidade Federal de Uberlândia.
- BASTOS, E. M. Vulnerabilidade/Fragilidade ambiental à erosão no município de Nossa Senhora da Glória /SE. 2016. 155 p. Dissertação (Mestrado em Geociências) Universidade Federal de Sergipe.
- BATISTA, J. F. A evolução da pecuária bovina em Rondônia e sua influência sobre a configuração territorial e a paisagem (1970 2012). 2014. 262 p. Tese (Doutorado em Geografia) Universidade Federal do Paraná.
- BECKER, B. K.; EGLER, C. A. G. **Detalhamento da metodologia para execução do zoneamento ecológico econômico pelos estados da Amazônia Legal**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, dos Recursos Naturais e da Amazônia Legal, 1996. 43 p.
- BERTALANFFY, L. von. **Teoria Geral dos Sistemas**. Petrópolis: Vozes, 1975. BERTRAND, G. Paisagem e Geografia Física Global: esboço metodológico. Cadernos de Ciências da Terra, São Paulo, v. 13, 1972.
- BETTENCOURT, J. S. et al. Mesoproterozoic rapakivi granites of the Rondoônia Tin Province, southwestern border of the Amazonian craton, Brazil I. Reconnaissance U–Pb

geochronology and regional implications. **Precambrian Research**, v. 95, n. 1-2, p. 41 - 67, abril 1999.

BOTELHO, R. G. M.; SILVA, A. S. Bacia Hidrográfica e qualidade ambiental. In: **Reflexões sobre a Geografia Física no Brasil**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2004. p. 153 – 188.

BOURLON, N.; BERTHON, D. Desenvolvimento sustentável e gerenciamento das bacias hidrográficas na América Latina. **Revista Técnica e Informativa da CPRM**, n. 10, junho 1998.

BRASIL. **Manual Técnico de Geologia**. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e estatística IBGE, 1998. 302 p.

BRASIL. Levantamento de informações para subsidiar o estudo de viabilidade do aproveitamento hidrelétrico (AHE) do rio Madeira. Porto Velho: CPRM - Serviço Geológico do Brasil, 2005. 406 p.

BRASIL. **Manual Técnico da Vegetação Brasileira**. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, 2012. 271 p.

BRASIL. **Manual Técnico de Uso da Terra**. 3. ed. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, 2013a. 171 p.

BRASIL. Plano de Ação para prevenção e controle do desmatamento na Amazônia Legal (PPCDAm). Brasília: Ministério do Meio Ambiente, IBAMA - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis, 2013b. 174 p.

BRASIL. **Manual Técnico de Pedologia**. 3. ed. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e estatística IBGE, 2015. 425 p.

BRAUN-BLANQUET, J.; JO, J. L.; BOLÒS, O. de. **Fitosociología**: bases para el estudio de las comunidades vegetales. 1979.

BRITTO, M. C. de; FERREIRA, C. de C. M. PAISAGEM E AS DIFERENTES ABORDAGENS GEOGRÁFICAS. **Revista de Geografia - PPGEO - Universidade Federal de Juiz de Fora**, v. 2, n. 1, p. 1 – 10, outubro 2011. Acesso em: 22 de out. de 2018.

CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M. V. Introdução à ciência da geoinformação. São José dos Campos: INPE, 2001. 345 p.

CAMARGO, L. H. R. de. **A ruptura do meio ambiente:** conhecendo as mudanças ambientais do planeta através de uma nova percepção da ciência - a Geografia da complexidade. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2005. 237 p.

CHRISTOFOLETTI, A. **Análise de sistemas em geografia:** introdução. São Paulo: Hucitec, 1979. 106 p.

CHRISTOFOLETTI, A. Geomorfologia. São Paulo: Edgar Blucher Ltda, 1980.

- CHRISTOFOLETTI, A. (ed.). **Modelagem de sistemas ambientais**. São Paulo: Edgar Blucher Ltda., 1999. 236 p.
- CREPANI, E. et al. Curso de Sensoriamento Remoto aplicado ao zoneamento ecológicoeconômico. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1996.
- CREPANI, E. et al. **Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento Aplicados ao Zoneamento Ecológico-Econômico e ao Ordenamento Territorial**. São José dos Capos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2001. 124 p.
- FAGUNDES, M. G. Estudo comparativo da variação de escala na fragilidade ambiental e vulnerabilidade natural do solo na Bacia Hidrográfica do Rio Jundiaí. 2013. 124 p. Dissertação (Mestrado em Geografia Física) Universidade de São Paulo.
- FEARNSIDE, P. M. Amazonia, desforestation of. In: **Encyclopedia of Global Change**: Enverionmental change human society. New York: Oxford University Press, 2001. p. 31 38.
- FEARNSIDE, P. M. Deforestation in Brazilian Amazonia history, rates, and consequences. **Conservation biology**, v. 19, n. 3, p. 680 688, 2005.
- FERREIRA, C. C. **Proposta de zoneamento ambiental das paisagens para o alto curso da bacia hidrográfica do rio Sucuriú, Mato Grosso do Sul-Brasil.** 2016. 211 p. Dissertação (Doutorado em Geografia) Universidade Estadual Paulista Julio de Mesquita Filho (UNESP).
- FERREIRA, V. de O. Unidades de paisagem da bacia do rio Jequitinhonha, em Minas Gerais subsídios para a gestão de recursos hídricos. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v. 12, n. 37, abril 2011. Disponível em:

http://www.seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/article/view/ 16456. Acesso em: 25 de nov. de 2018.

- FLORENZANO, T. G. **Iniciação em sensoriamento remoto**. 3. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2011.
- GRIGORIEV, A. A. The Theoretical Fundaments of Modern Physical Geography. **The Interaction of Sciences in the Earth**, 1968.
- GUERRA, A. J. T.; MARÇAL, M. dos S. **Geomorfologia Ambiental**. 1. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2006. 192 p.
- IMAZON. **A Amazônia em números**. 2013. Disponível em: https://imazon.org.br/imprensa/a- amazonia-em-numeros/. Acesso em: 19 de fev. de 2019.
- INPE. **PRODES Digital.** 2014. Disponível em: http://www.obt.inpe.br/prodesdigital/metodologia.html. Acesso em: 11 de fev. de 2019.
- INSTITUTO NACIONAL DE COLONIZAÇÃO E REFORMA AGRÁRIA INCRA. **Superintendência Regional Rondônia SR 17 Assentamentos Informações Gerais**. 2015. Disponível em: http://painel.incra.gov.br/sistemas/index.php. Acesso em: 15de mai. de 2019.

- KIKER, G. A. et al. Application of multicriteria decision analysis in environmental decision making. **Integrated environmental assessment and management**, 2005.
- KLOOSTERMAN, J. B. **Uma província do tipo nigeriano no sul da Amazônia**. Eng. Min. Met., v. 48, n. 278, p. 59 64, 1968.
- LABORATÓRIO DE GEOGRAFIA E PLANEJAMENTO AMBIENTAL UNIR (LABOGEOPA). **Acervo Fotográfico**. Porto Velho, 2018.
- LEAL, J. et al. Geologia. In: BRASIL (Ed.). **Projeto RADAMBRASIL. Folha SC.20 Porto Velho; geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra**. Rio de Janeiro: DNPM, 1978. cap. 1, p. 17 184.
- LIMA, F. R.; MARTINELLI, M. As unidades ecodinâmicas na cartografía ambiental de síntese. 1º Simpósio de Pós-graduação do Estado de São Paulo, 1º SIMPGEO/SP, Rio Claro, 2008. Disponível em:
- http://observatoriogeograficoamericalatina.org.mx/egal12/Nuevastecnologias/Cartografiatema tica/08.pdf. Acesso em: 09 de nov. de 2018.
- LORANDI, R.; CANÇADO, C. J. Parâmetros Físicos para Gerenciamento de Bacias Hidrográficas. In: SCHIAVETTI, A.; CAMARGO, A. F. M. (Ed.). Conceitos de bacias hidrográficas: teorias e aplicações. Ilhéus: Editus, 2002. cap. 2, p. 37 66.
- LUIZ, J. C. As unidades de paisagem na bacia do rio Guabiroba Guarapuava-PR e a fragilidade ambiental. **Estudos Geográficos**, Rio Claro, v. 1, 2008.
- MARQUES NETO, R. A abordagem sistêmica e os estudos geomorfológicos: algumas interpretações e possibilidades de aplicação. **Revista GEOGRAFIA**, Londrina, v. 17, n. 2, 2008.
- MARQUES NETO, R. Considerações sobre a paisagem enquanto recurso metodológico para a Geografia Física. **Revista Caminhos de Geografia**, v. 9, junho 2008. Disponível em: http://www.seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/article/view/15727. Acesso em: 24 de out. de 2018.
- MARTINS, V. B. Metodologia baseada em Sistema de Informação Geográfica e Análise Multicriterial para a seleção de áreas para a construção de um repositório para combustível nuclear usado. 2009. Tese (Doutorado em Engenharia Nuclear) Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- MELO, E. C. de. Fatores de controle dos fluxos fluviais de material em suspensão em diferentes cenários climáticos na bacia do rio Solimões. 2012. 241 p. Tese (Doutorado em Meteorologia, Climatologia, Hidrologia e Interação Biosfera-Atmosfera) Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia INPA.
- MENDONÇA, F. de A. **Geografia física**: Ciência Humana? 4. ed. São Paulo: Contexto, 1996. MENESES, P. R.; ALMEIDA, T. de. Introdução ao processamento de imagens de
- sensoriamento remoto. Brasília: CNPq UNB, 2012. 276 p.

- MIARA, M. A.; OKA-FIORI, C. Análise por múltiplos critérios para a definição de níveis de fragilidade ambiental um estudo de caso: bacia hidrográfica do rio Cará-cará, Ponta Grossa/PR. **Revista RA'E GA** O Espaço Geográfico em Análise, Curitiba, v. 13, 2007.
- MONTEIRO, C. A. de F. Geografia e Ambiente. **Revista Orientação**, São Paulo, n. 5, p. 19 28, 1984.
- NASCIMENTO, F. R. do; SAMPAIO, J. L. F. Geografia física, geossistemas e estudos integrados da paisagem. **Revista da Casa da Geografia de Sobral**, v. 6/7, n. 1, 2005. Disponível em: http://www.uvanet.br/rcgs/index.php/RCGS/article/view/130/160. Acesso em: 02 de nov. de 2018.
- NUNES, D. D. Vulnerabilidade natural à erosão da bacia do rio Mutumparaná-Porto Velho-RO (2009-2011). Porto Velho, 2012.
- NUNES, D. D. Análise da vulnerabilidade à erosão em bacia hidrográfica na amazônia sul ocidental: estudo de caso na bacia do rio São Francisco Rondônia/2011-2014. Porto Velho, 2014.
- OLIVEIRA, A. A. B. de. A abordagem sistêmica no planejamento e gestão de bacias hidrográficas. **X Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada (Anais)**, 2003. Disponível em: http://www.cibergeo.org/XSBGFA/eixo3/3.3/001/001.htm. Acesso em: 06 de nov. de 2018.
- PAYOLLA, B. L. As rochas graníticas e sieníticas das cachoeiras Teotônio e Santo Antônio, rio Madeira, Porto Velho, Rondônia: geologia, petrografia e geoquímica. 1994. Dissertação (Mestrado em Geociências) Universidade de Brasília.
- PINTO, G. Ordenamento Territorial e Fragilidade Ambiental na Bacia do rio São Francisco Porto Velho/RO: Contradições e Perspectivas. 2016. 176 p. Tese (Doutorado em Geografia) Universidade Federal do Paraná.
- PIRES, J. S. R.; SANTOS, J. E.; PRETTE, M. E. D. A utilização do conceito de bacia hidrográfica para a conservação dos recursos naturais. In: SCHIAVETTI, A.; CAMARGO, A. F. M. (ed.). **Conceitos de bacias hidrográficas**: teorias e aplicações. Ilhéus, bahia: Editus, 2002. p. 17 36.
- PIROLI, E. L. **Introdução ao Geoprocessamento**. Ourinhos: Unesp/Campus Experimental de Ourinhos, 2010. 46 p.
- RODRIGUES, C. A Teoria Geossistêmica e sua contribuição aos estudos geográficos e ambientais. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, v. 14, 2001.
- RODRIGUES, T. B. Caracterização e análise do uso e cobertura da terra na bacia hidrográfica do Igarapé do Contra, Porto Velho-RO: implicações a partir da Vulnerabilidade a Erosão. 2015. 111 p. Dissertação (Mestrado em Geografia) Universidade Federal de Rondônia.
- RODRIGUEZ, J. M. M.; SILVA, E. V. da. A classificação das paisagens a partir de uma visão geossistêmica. Mercator **Revista de Geografia da UFC**, Ceará, v. 1, n. 1, 2002.

Disponível em: http://www.mercator.ufc.br/mercator/article/view/198/164. Acesso em: 15 de out. de 2018.

RODRIGUEZ, J. M. M.; SILVA, E. V. da. **Educação Ambiental e Desenvolvimento Sustentável:** Problemática, Tendências e Desafios. 1. ed. Fortaleza: Edições UFC, 2009. 241 p.

RONDÔNIA. **PLANAFLORO - Plano Agropecuário e Florestal de Rondônia.** Porto Velho, 2001.

RONDÔNIA. **Vinte e um anos de Zoneamento Socioeconômico e Ecológico do estado de Rondônia**: planejamento para desenvolvimento sustentável e proteção ambiental. Porto Velho: Secretaria de Estado de Desenvolvimento Ambiental – SEDAM, 2010. 60 p.

ROSA, R. Introdução ao Sensoriamento Remoto. Uberlândia: EDUFU, 2003. 142 p.

ROSA, R. Introdução ao Geoprocessamento. 2013. Disponível em: http://professor.ufabc.edu.br/~flavia.feitosa/cursos/geo2016/AULA5-ELEMENTOSMAPA/Apostila Geop rrosa.pdf. Acesso em: 30 de nov. de 2018.

ROSA, R.; BRITO, J. L. S. **Introdução ao geoprocessamento**: Sistema de Informação Geográfica. Uberlândia: EDUFU, 1996. 104 p.

ROSS, J. L. S. Geomorfologia: Geomorfologia. São Paulo: Editora Contexto, 1990.

ROSS, J. L. S. O Registro cartográfico dos fatos geomórficos e a questão da taxonomia do relevo. **Revista do Departamento de Geografia USP**, São Paulo, v. 6, 1992.

ROSS, J. L. S. Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais antropizados. **Revista do Departamento de Geografia**, n. 8, 1994.

ROSS, J. L. S. **Ecogeografia do Brasil**: Subsídios Para Planejamento Ambiental. 1. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2006.

SAATY, L. L. A scaling method for priorities in hierarchical structures. **Journal of Mathematical Psychology**, San Diego, v. 15, p. 234 – 281, 1977.

SAATY, T. L. The Analytic Hierarchy Process. New York: McGraw-Hill, 1980.

SAATY, T. L. Decision making for leaders: the analytic hierarchy process for decisions in a complex world. 2008.

SANCHEZ, M. C. Conteúdo e eficácia da Imagem Gráfica. **Boletim de Geografia Teorética**, Rio Claro, 1981.

SANTOS, H. G. dos et al. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed. Brasília: Embrapa, 2018. 700 p.

- SANTOS, J. de O. Fragilidade e Riscos Socioambientais em Fortaleza-CE: contribuições ao ordenamento territorial. 2011. 331 p. Tese (Doutorado em Geografía) Universidade de São Paulo.
- SCHMIDT, A. M. A. **Processo de apoio à tomada de decisão**: AHP e Macbeth. 1995. 155 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) Universidade Federal de Santa Catarina.
- SENA, J. N. O uso de sistema de informação geográfica na avaliação de diferentes alternativas de geração de cartas de suscetibilidade à erosão. 2008. 114 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) UNESP Campus Ilha Solteira.
- SHINZADO, E.; TEXEIRA, W. G.; MENDES, A. M. Geodiversidade do estado de Rondônia. In: ADAMY, A. (ed.). **Geodiversidade do estado de Rondônia**. Porto Velho: CPRM, 2010. cap. 4, p. 55 78.
- SILVA, C. A. da; NUNES, F. de P. Mapeamento de vulnerabilidade ambiental utilizando o método AHP: uma análise integrada para suporte à decisão no município de Pacoti/CE. In: ANAIS, 2009. **Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**. 2009. Disponível em:
- http://marte.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr%4080/2008/11.14.19.56/doc/5435-5442.pdf. Acesso em: 03 de dez. de 2018.
- SILVA, M. J. G. da. Uso e Cobertura do Solo e a Variabilidade do Clima de Porto Velho-RO. 2010. 70 p. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Regional) Universidade Federal de Rondônia.
- SILVA, R. C. da. Estudo Da Dinâmica Da Fragilidade Ambiental Na Bacia Hidrográfica do Rio Gravataí, RS. 2016. 330 p. Tese (Doutorado em Geografia) Universidade Federal da Bahia.
- SILVEIRA, E. L. D. Paisagem: um conceito chave na geografia. In: ENCONTRO, 2009. 12° Encontro de Geógrafos da América Latina EGAL. 2009. Disponível em: http://observatoriogeograficoamericalatina.org.mx/egal12/Teoriaymetodo/Conceptuales/23.pdf. Acesso em: 19 de nov. de 2018.
- SIPAM. Levantamento de reconhecimento dos solos do Amazonas, 1:250.000. 1. ed. Manaus: SIPAM, 2000.
- SOTCHAVA, V. B. O estudo de geossistemas. **Métodos em questão**, Instituto de Geografia USP, São Paulo, v. 16, 1977.
- SPÖRL, C. Análise da Fragilidade Ambiental relevo solo com aplicação de três modelos alternativos nas altas bacias do rio Jaguari-Mirim, Ribeirão do Quartel e Ribeirão da Prata. 2001. 165 p. Dissertação (Mestrado em Geografia) Universidade de São Paulo.
- SPÖRL, C. Metodologia para elaboração de modelos de fragilidade ambiental utilizando redes neurais. 2007. Tese (Doutorado em Geografia Física) Universidade de São Paulo.

SPÖRL, C.; ROSS, J. L. S. A Teoria Geossistêmica e sua contribuição aos estudos geográficos e ambientais. **GEOUSP - Espaço e Tempo**, 2004. Disponível em: http://www.revistas.usp.br/ geousp/article/view/123868. Acesso em: 11 de dez. de 2018.

STORANI, D. L. **Geossistemas e fragilidade de terras na bacia hidrográfica do Rio Mogi Guaçu/SP**. 2010. 111 p. Dissertação (Mestrado em Geografia) — Universidade Estadual de Campinas. Instituto de Geociências. Disponível em: http://repositorio.unicamp.br/jspui/handle/ REPOSIP/287388. Acesso em: 28 de nov. de 2018.

SUERTEGARAY, D. M. A. **Geomorfologia e Geografia Física:** uma (re) leitura. 1. ed. Porto Alegr: Unijuí, 2002. 112 p.

THÉRY, H. **Rondônia mutações de um Território federal na Amazônia federal**. Curitiba: SK Editora, 2012. 304 p.

TRICART, J. **Ecodinâmica**. Rio de Janeiro: IBGE - SUPREN, 1977. 91 p. VALE, C. C. do. Teoria geral do sistema: histórico e correlações com a geografia e com o estudo da paisagem. Entre-Lugar, Dourados, v. 3, n. 6, 2012.

VALENTE, R. de O. A. **Análise da estrutura da paisagem na bacia do rio Corumbataí, SP**. 2001. 144 p. Dissertação (Mestrado em Recursos Naturais) — Universidade de São Paulo.

WATANABE, M. **Análise integrada da paisagem da Bacia do Rio Mutum-Paraná.** 2011. 106 p. Dissertação (Mestrado em Geografia) — Universidade Federal de Rondônia.