



DINÂMICAS SOCIOECONÔMICAS E VULNERABILIDADE À EROÇÃO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO IGARAPÉ DO CONTRA – RO, A PARTIR DA ANÁLISE MULTICRITÉRIO

Thiago Bortoleto Rodrigues¹

Analista em Ciência e Tecnologia/CENSIPAM/RO
thiago.rodrigues@sipam.gov.br

Dorisvalder Dias Nunes²

Coordenador do Laboratório de Geografia e Planejamento Ambiental
da Universidade Federal de Rondônia
dorisval@unir.br

Selma Maria de Arruda Silva³

Pesquisadora Associada ao Laboratório de Geografia e
Planejamento Ambiental da Universidade Federal de Rondônia
selmaprofgeo@hotmail.com

Para citar este artículo puede utilizar el siguiente formato:

Thiago Bortoleto Rodrigues, Dorisvalder Dias Nunes y Selma Maria de Arruda Silva (2019): “Dinâmicas socioeconômicas e vulnerabilidade à erosão na bacia hidrográfica do Igarapé do Contra – RO, a partir da análise multicritério”, Revista Caribeña de Ciencias Sociales (agosto 2019). En línea

<https://www.eumed.net/rev/caribe/2019/08/erosao-bacia-hidrografica.html>

RESUMO

Processos erosivos associados ao desmatamento na Amazônia Rondoniense tendem a afetar o modelo produtivo vigente, somados à perda de solo fértil e ao assoreamento dos rios. O objetivo deste trabalho foi o de verificar os efeitos da alteração da cobertura vegetal original da Bacia Hidrográfica do Igarapé do Contra (BHIC), a fim de avaliar como esta alteração define o grau de Vulnerabilidade Natural à Erosão (VNE), a partir da Análise Hierárquica Multicriterial. Dois cenários foram produzidos: Cenário natural (*Cn*) e Cenário antrópico (*Ca*). A Ecodinâmica foi o eixo teórico e a metodologia firmou-se em dois modelos: o de Crepani et al. (2001) e o da AHP – Analytic Hierarchy Process (SAATY, 1977; 1980). No *Cn*, mais de 97% das áreas foram classificadas como estáveis. No *Ca*, 42,67% das áreas permaneceram classificadas como estáveis, e 44,65% passaram a fazer parte da classe intergrade. Ainda, 12,68% foram classificadas como instáveis/vulneráveis à erosão, como resultado da expansão da pecuária e da construção das hidrelétricas do alto rio Madeira.

Palavras-chave: VNE; AHP; Cobertura e Uso; Bacia Hidrográfica; Rondônia.

¹ Graduado em Ciências Biológicas pela Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC e Mestre em Geografia pela Fundação Universidade Federal de Rondônia – UNIR.

² Geógrafo e Doutor em Ciências Sócioambientais pelo NAEA/UFPA. Professor do Departamento de Geografia da Universidade Federal de Rondônia.

³ Licenciada e Bacharel em GEOGRAFIA pela Universidade Federal de Mato Grosso e Mestre em Geografia pela Fundação Universidade Federal de Rondônia.

ABSTRACT

Erosive processes associated with deforestation in the Amazon rainforest, this study area situated in Rondonia state, tend to affect the current productive model, in addition to the fertile soil loss and siltation of the rivers. The goal of this work was to verify the effects of alteration in the original vegetation cover at Igarape do Contra Watershed (ICW), in order to evaluate how this change defines the degree of Natural Erosion Vulnerability (NEV), from the Hierarchical Multicriterial Analysis. Two Scenarios were produced: Natural Scenario (*Ns*) and the Anthropic Scenario (*As*). Ecodynamics was the theoretical axis and the methodology was based on two models: Crepani et al. (2001), and the AHP - Analytic Hierarchy Process (SAATY, 1977; 1980). In *Ns*, over 97% of the area was classified as stable. In *As*, 42.67% of the area remained classified as stable, and 44.65% became part of the intergrade class. Also 12.68% was classified as unstable/vulnerable to erosion as a result of livestock expansion and the construction of hydroelectric dams on the upper Madeira river.

Key-words: VNE; AHP; Coverage and Use; Hydrographic basin; Rondonia.

1. Introdução

Na Amazônia, as dinâmicas socioeconômicas em curso têm causado alterações ao meio ambiente, onde contínuas e extensas áreas de vegetação nativa são convertidas em paisagens antropizadas, entendidas como alterações das coberturas e usos do solo provocados pelo homem em busca do modelo de desenvolvimento, passíveis de identificação e de diferenciação por dados de Sensoriamento Remoto (RODRIGUES, 2015). Em Rondônia, a maior parte das paisagens antropizadas é destinada à pecuária, que sem os devidos cuidados socioambientais causam impactos negativos ao meio ambiente, como: desmatamentos ilegais, queimadas e desencadeamento de processos erosivos (BATISTA, 2014; NUNES et al., 2015; BRASIL, 2015).

Nos mais de 30 anos de registros do Projeto de Monitoramento do Desmatamento na Amazônia Legal por Satélite – PRODES, observou-se que Rondônia é, proporcionalmente, um dos estados mais afetados pela remoção da cobertura da vegetação nativa e, Porto Velho, configura-se como um dos municípios onde mais se desmata no Brasil (ESCADA; MAURANO; DA SILVA, 2013; BRASIL, 2014; RODRIGUES, 2015).

Em Porto Velho, os conflitos oriundos pela posse da terra, pela extração de recursos minerais, pela expansão do agronegócio e pela implantação de hidroelétricas constituem o conjunto principal de alterações da paisagem, com destaque para alguns distritos onde esses conflitos aparecem com mais frequência, como são os casos da Vila de União Bandeirantes e, recentemente, da Vila de Rio Pardo. Esses conflitos desencadeiam, para além do desmatamento muitas vezes ilegal, um desordenado uso da cobertura da terra, com elevadas taxas de queimadas e abertura de novas estradas em desacordo com as normas legais estabelecidas no Zoneamento Socioeconômico Ecológico de Rondônia – ZSEE-RO, setores circunscritos à área de estudo da Bacia do Igarapé do Contra - BIC (NUNES, 2004; 2014; RODRIGUES, 2015).

Neste cenário, as preocupações com os demais problemas ambientais associadas a remoção da proteção do solo exercida pela vegetação nativa, colocam em relevo os impactos ambientais marcados pela ampliação de processos erosivos. Estes caracterizam-se, de um lado, pela perda de solo e, de outro, pelo assoreamento de corpos hídricos, potencializando danos econômicos de modo a interferir na produção agrícola e de bens e serviços ecológicos necessários à manutenção dos

processos produtivos locais. De modo que, neste trabalho, a erosão será entendida como “um processo de desprendimento e arraste das partículas do solo” (RUBIRA; MELO; OLIVEIRA, 2016, p. 189).

O objetivo deste trabalho consistiu em avaliar os efeitos da alteração da cobertura vegetal original da Bacia Hidrográfica do Igarapé do Contra (BHIC) enquanto recorte geográfico, a fim de entender como esta alteração da cobertura e uso da terra define o grau de Vulnerabilidade Natural à Erosão (VNE), a partir de Análise Hierárquica Multicriterial de modo a produzir dois cenários: Cenário natural (Cn) e Cenário antrópico (Ca). A proposta de verificação do potencial erosivo da BHIC, com base na Vulnerabilidade Natural à Erosão (VNE), tomou como referência o legado desse modelo metodológico que foi a base para a elaboração dos Zoneamentos Ecológico-Econômicos de Rondônia (ZEE-RO), cujos dados de erosão foram associados aos estudos de potencialidades sociais, o que, de certa forma, permitiu ao poder público obter uma visão sistêmica do sistema ambiental de Rondônia, o que tem lastreado muito dos programas de planejamento capitaneados por diversas instituições governamentais (BECKER; ENGLER, 1997).

As bases conceituais desse estudo pautaram-se na Teoria Geral dos Sistemas (VON BERTALANFFY, 1969) e no de Ecodinâmica de Tricart (1977), e que tem como base a dinâmica dos ecótipos integrando-se ao conceito de ecossistemas, pois estabelece relações entre o conjunto diversificado dos fluxos de informação, energia e matéria de um dado ambiente operacionalizados pelo método de VNE (CREPANI et al., 1996; 2001) e da análise multicritério AHP (Analytic Hierarchy Process) (SAATY, 1977; 1980). Estes foram integrados por um Sistema de Informação Geográfica - SIG, elaborando-se dois cenários analíticos perante os processos erosivos: a) “Cn”, representa a vulnerabilidade à erosão natural e b) “Ca”, representa a vulnerabilidade à erosão antrópica.

A vulnerabilidade será aqui entendida como o risco natural ou induzido à perda de solo de sistemas naturais, considerando-se, para tanto, o grau de estabilidade e de instabilidade de uma dada área, podendo ser determinado por índices ou valores (CREPANI et al., 2001).

Os dados de vulnerabilidade foram gerados por meio da integração das componentes ambientais que afetam o processo erosivo, formando um produto síntese que expressa os diferentes graus de vulnerabilidade à erosão que o ambiente possui em função de suas gêneses (CREPANI et al., 1996; 2001; SPÖRL, 2007). Isso significa representar as inter-relações dos atributos originários das informações quali-quantitativas de cada componente ambiental analisada (BACANI, 2010).

A fim de verificar a VNE e suas alterações provocadas pela ação antrópica, selecionou-se a Bacia Hidrográfica do Igarapé do Contra (BHIC) como área de estudo piloto, uma vez que a bacia reflete bem a problemática socioambiental oriunda da consolidação da região circunscrita à Vila de União Bandeirantes em Porto Velho, associando-se, ainda, o potencial impacto dos empreendimentos hidroelétricos do alto rio Madeira e seu efeito de arrasto (FEARNSIDE, 2000) no redirecionamento de atividades de comércio e novos negócios, migração populacional, abertura de novas estradas e seu consequente efeito na ampliação do desmatamento.

2. Materiais e Métodos

A Bacia Hidrográfica do Igarapé do Contra (BIHC) situa-se no município de Porto Velho, Estado de Rondônia, próximo ao núcleo urbano da Vila de União Bandeirantes, entre as latitudes

9°31'00"S e 9°55'00"S e as longitudes 64°29'00" W e 64°52'00"W, Datum SIRGAS2000. Possui área de 94.489,00 ha originalmente coberta por florestas ombrófilas abertas fixadas em Latossolos vermelho-amarelos distróficos (Figura 1). O clima regional é classificado, segundo Koppen, como **Am** (clima tropical úmido ou subúmido de monções), com uma precipitação média anual de 2.250 mm/ano, com um período chuvoso e um período seco de três meses, sendo este último com precipitações inferiores a 50 mm/mês (DA SILVA, 2010).

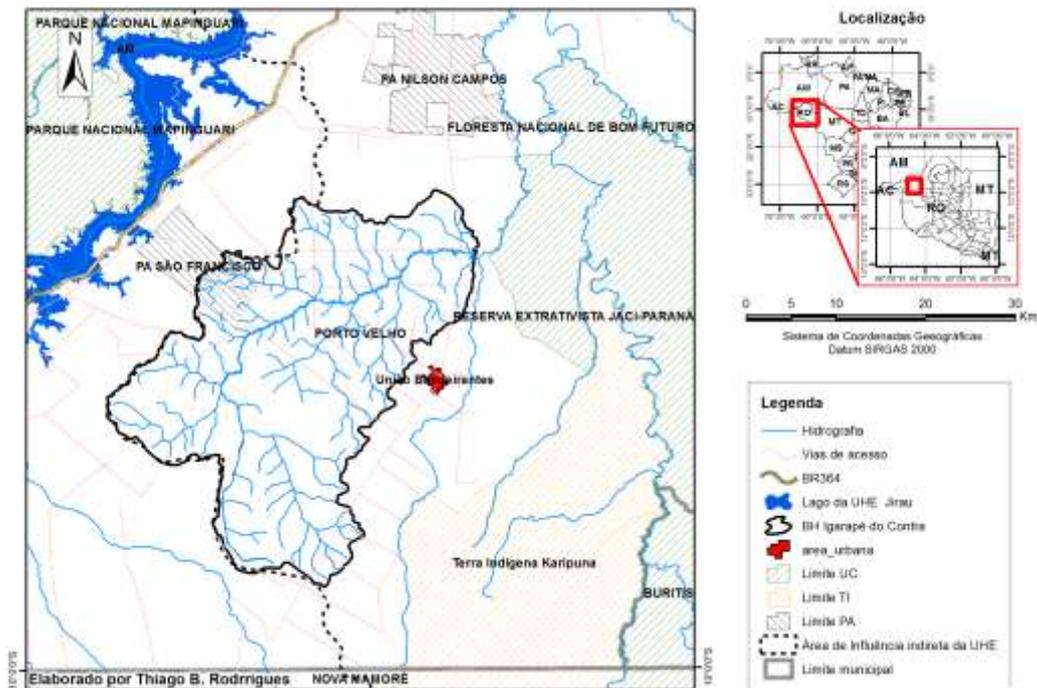


Figura 1: Mapa temático da bacia hidrográfica do Igarapé do Contra. Fonte: Bases cartográficas do IBGE (2015).

Cinco etapas foram utilizadas para nortear a pesquisa: 1) escolha e aquisição dos dados; 2) edição e geração dos dados de Uso e Cobertura da Terra, de 2014; 3) geração dos mapas temáticos de Vulnerabilidade Natural à Erosão (VNE) para cada componente fisiográfico; 4) atribuição de hierarquia e cálculo dos pesos de componentes pelo método AHP (*Analytic Hierarchy Process*); e, 5) geração e análise de dois cenários de vulnerabilidade: Cenário natural (“**Cn**”) e Cenário antrópico (“**Ca**”).

Os dados utilizados na pesquisa foram aqueles que descreveram e caracterizaram a fisiografia da área de estudo (clima, geologia, solos, geomorfologia, vegetação nativa e cobertura e uso), disponíveis para *downloads* em sites oficiais do Governo Federal, além do uso e análise de imagens dos satélites LDCM (*Landsat Data Continuity Mission*), principalmente os sensores *Tematic Mapper* (TM), do *Landsat-5*, e o *Operational Land Imager* (OLI), do *Landsat-8* (NASA, 2015), para a geração do dado de cobertura e uso da terra.

As informações foram integradas em um ambiente de Sistema de Informação Geográfica (SIG), no qual, através de técnicas de processamento digital de imagens (PDI) e de geoprocessamento, foram manipuladas para a obtenção do resultado da pesquisa. Neste ambiente, as imagens de satélite do ano de 2014 foram classificadas pelo método da Máxima-Verossimilhança (*MaxVer*) (CÂMARA et al., 1996; KAWAKUBO et al., 2005; JENSEN, 2009; MENEZES; ALMEIDA, 2012; NOVO, 2012), onde foram definidas cinco classes de mapeamento homogêneas diferenciáveis

entre si, sendo duas delas “unidades de paisagem natural”: água e vegetação nativa; e três classes “polígonos de ação antrópica”: solo exposto, vegetação arbustivo-arbórea e cicatriz de queimada.

Os dados fisiográficos foram valorados quanto ao grau de vulnerabilidade natural à erosão conforme as categorias morfodinâmicas da Ecodinâmica de Tricart (1977), operacionalizadas pela metodologia proposta por Crepani et al. (1996; 2001), que permite a representação da gradação do processo. Nesta etapa, são atribuídos, empiricamente, valores próximos a um quando as características da componente fisiográfica favorecem a pedogênese, e valores próximos a três quando as características favorecem a morfogênese (ROSS, 1994; CREPANI et al., 1996; 2001; SPÖRL, 2007).

Após esta etapa, as componentes ambientais são hierarquizadas pelo método AHP (SAATY, 1977; 1980) seguindo as recomendações de Santos et al. (2010). A partir daí, gerou-se uma matriz de decisão (comparação paritária), que une as informações qualitativas e quantitativas, caracterizando a área como um sistema composto por múltiplas variáveis que se inter-relacionam entre si e com os outros sistemas (SAATY, 1990; MELO, 2012; FRANEK; KRESTA, 2014). Desta forma, divide-se um problema complexo em um mais simples, atribuindo valores relativos de importância entre um - mínima importância - e nove - máximo de importância (SAATY, 1977; 1980; CÂMARA; DAVIS; MONTEIRO, 2001).

A matriz de decisão indica quanto o fator da coluna da esquerda é mais importante em relação a cada fator correspondente na linha superior (SAATY, 1980). Assim, temos em ordem decrescente de importância: cobertura e uso (G_{i9}); Solo (G_{i7}); Geomorfologia (G_{i5}); Clima (G_{i3}); e, Geologia (G_{i1}) (Tabela 1).

Tabela 1: Matriz de comparação dos componentes ambientais

Componentes	Geologia	Clima	Geomorfologia	Solos	Vegetação/Uso
Geologia	G_{i1} / G_{i1}	-	-	-	-
Clima	G_{i3}	G_{i3} / G_{i3}	-	-	-
Geomorfologia	G_{i5}	G_{i5}	G_{i5} / G_{i5}	-	-
Solos	G_{i7}	G_{i5}	G_{i3}	G_{i7} / G_{i7}	-
Cobertura e Uso	G_{i9}	G_{i7}	G_{i5}	G_{i3}	G_{i9} / G_{i9}
Σ_{coluna}	Σ_{geo}	Σ_{cli}	Σ_{geom}	Σ_{solo}	Σ_{uso}

Por meio da matriz de decisão são gerados os pesos (“P”) que expressam a importância relativa de cada componente ambiental. Estes são calculados pela soma dos valores da linha correspondente de cada componente fisiográfico, dividido pelo número total de componentes utilizados e, deste modo, os pesos são interpretados como a média de todas as formas possíveis de comparação do critério (SAATY, 1980; MARTINS, 2009).

Com base no resultado das etapas anteriores, passamos para a etapa de elaboração dos cenários de vulnerabilidade, por meio da álgebra de mapas, utilizando a equação a seguir:

$$C = [P_{Geo} * V_{Geo}] + [P_{Geom} * V_{Geom}] + [P_{Sol} * V_{Sol}] + [P_{Clim} * V_{Clim}] + [P_{uso} * V_{uso}] \quad (1)$$

Onde:

C, é o mapa de Vulnerabilidade para o cenário;

P, corresponde ao peso estatístico para cada sistema componente; e, **V**, é a atribuição dos graus de vulnerabilidade.

3. Resultados e Discussões

Para a elaboração dos dois cenários propostos, com seus respectivos mapas-síntese de vulnerabilidade, foram inicialmente elaborados e analisados os dados temáticos de vulnerabilidade natural à erosão (VNE) de cada componente fisiográfico. Os resultados referentes à componente geologia são apresentados na Tabela 2, onde para cada unidade litológica foi atribuído um valor de vulnerabilidade.

Tabela 2 – Valores de vulnerabilidade da componente Geologia

Unidade Litológica	Valor de vulnerabilidade	Grau de vulnerabilidade	Área (ha)	%
Suíte Intrusiva Serra da Providência	1,2	Estável	17.148,74	18,15
Complexo Metamórfico Nova Mamoré	2,1	Estável/vulnerável	21.593,10	22,85
Cobertura Detrito-Laterítica	2,3	Moderadamente vulnerável	23.418,21	24,79
Formação Jaci-Paraná Lateritos imaturos concrecionário	2,5			
Formação Palmeiral (indiviso)	2,6			
Complexo Jamari	2,9	Vulnerável	32.319,72	34,21
Sedimentos Aluvionares – Areias	3			

Fonte: Adaptado de Crepani et al. (2001) e Brasil (1978).

Esta componente foi a que apresentou maior variedade de graus de vulnerabilidade, mostrando uma tendência do tema em favorecer os processos de morfogênese. A maior parte da bacia hidrográfica, 59% da área, foi classificada como instável na categorização morfodinâmica. Deste percentual, 24,79% foram classificados com grau moderadamente vulnerável, regiões ao Norte e ao Centro-Leste da bacia representadas pela Cobertura Detrito-Laterítica, Formação Jaci Paraná-Lateritos Imaturos Concrecionário e Formação Palmeiral (RIZZOTTO et al., 2005). Os demais 34,21% foram classificados como vulneráveis, representados por formações geológicas de caráter sedimentar, ou seja, Sedimentos Aluvionares de areia associados diretamente ao leito e às margens dos contribuintes da bacia e, pela Unidade Litológica Complexo do Jamari que, apesar de ser ígnea metamorfizada, também foi incluída nesta categoria devido a sua gênese, ocupando toda região central da bacia.

Nos demais 41% da área total da bacia, 18,15% foram classificados como estáveis, associados às formações de rochas ígneas representadas pela Suíte Intrusiva Serra da Providência, porção Norte da bacia, margem direita do tributário principal e, uma outra área a Leste. Ainda, 22,85% foram classificados como vulnerabilidade intermediária à erosão natural, representado pelo Complexo Metamórfico Nova Mamoré, local, onde tudo indica, os processos morfogenéticos e pedogenéticos possuem similar influência na estrutura da paisagem. É nesta unidade que estão as nascentes principais da bacia, localizadas ao Sul, cujo relevo apresenta as altitudes mais elevadas da bacia.

Em relação a componente clima, foram calculados a intensidade pluviométrica (média de precipitação anual em mm/ano, dividida pelo período de meses chuvosos da região) e o fator de

erosividade médio (R) pela equação desenvolvida por Oliveira Junior e Medina (1990). Com estas informações associadas, foi possível classificar toda a bacia como moderadamente estável, atribuindo-lhe o valor do grau de vulnerabilidade de 1,5. Este valor foi obtido da média aritmética do valor grau de vulnerabilidade atribuído à intensidade pluviométrica somado ao valor do grau atribuído ao índice de erosividade.

O componente geomorfológico foi classificado em três graus de vulnerabilidade, em que mais de 90% da bacia hidrográfica foi classificada como estável, formada de modelados predominantemente planos e com baixa amplitude altimétrica, que se refletem em baixos valores de dissecação do terreno. As áreas classificadas como moderadamente estáveis (7,4%) e medianamente estáveis/vulneráveis (0,75%) foram as áreas que apresentaram os maiores valores de amplitude altimétrica e de dissecação, pois toda a bacia possui unidades geomorfológicas de mesma gênese, sendo possível diferenciá-las de acordo com as características básicas do modelado (Tabela 3).

Tabela 3 – Valores de vulnerabilidade da componente Geomorfologia

Sigla	Valor de Vulnerabilidade	Grau de Vulnerabilidade	Área (ha)	%
263Dt11	1	Estável	86.780,7	91,85
263Dt31	1,7	Moderadamente estável	6.990,09	7,40
257Dt33	2	Estável/vulnerável	708,997	0,75
257Da33	2,2			

Fonte: Adaptado de Brasil (2009) e Crepani et al. (2001). Onde:

257Da33 - Planaltos Residuais do Madeira - Ji-Paraná Embasamentos em Estilos Complexos dissecação diferencial aguçadas; **257Dt33** - Planaltos Residuais do Madeira - Ji-Paraná Embasamentos em Estilos Complexos dissecação diferencial tabular; e, **263Dt11 e 263Dt31** - Depressão do Madeira - Ji-Paraná Depósitos Sedimentares Inconsolidados dissecação diferencial tabular.

Para a componente pedológica foram identificadas três classes de vulnerabilidade, ocorrendo a predominância do grau de vulnerabilidade estável representado, exclusivamente, pelo Latossolo vermelho-amarelo distrófico, que cobrem 97% de toda a bacia, cujo valor atribuído foi de 1,2 devido a suas características gênicas que lhes conferem uma estabilidade perante os processos morfodinâmicos. A classe de solo mais vulnerável da bacia foi das áreas correspondentes aos Argissolos Vermelho-Amarelos Distróficos que ocorrem em uma mancha Oeste da bacia (Tabela 4).

Tabela 4 – Valores de vulnerabilidade da componente pedológica

Tipos de solos	Valor de Vulnerabilidade	Grau de Vulnerabilidade	Área (ha)	%
LVAd - Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico	1,2	Estável	92436,35	97,84
RQo - Neossolo Quartzarênico Órtico	2,4	Moderadamente/vulnerável	1441,21	1,52
RLd - Neossolo Litólico Distrófico	2,6			
PVAd - Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico	2,7	Vulnerável	602,19	0,64

Fonte: Adaptado de Brasil (1978; 2007) e Crepani et al. (2001).

A informação de vegetação nativa foi considerada como dado de cobertura e uso na elaboração do **Cn**, uma vez que este dado foi levantado na década de 1970 pelo RADAMBRASIL

(BRASIL, 1978). A partir das análises das imagens *Landsat* desse período, foi possível observar que não havia intervenções antrópicas na área da bacia, possibilitando a verificação da condição de VNE do ecossistema em fitoestasia (MOREIRA, 2009). Desta forma, toda a área foi considerada estável na categoria morfodinâmica, pois só existiam Florestas Ombrófilas e suas subdivisões nesta área. Foram atribuídos valores de vulnerabilidade entre 1 e 1,3 para as fâcies florestais (Tabela 5).

Tabela 5 – Valores de vulnerabilidade da componente Vegetação Nativa

Combinação das Fâcies	Valor de Vulnerabilidade	Grau de Vulnerabilidade	Área (ha)	%
Dse	1	Estável	94.479,75	100
Asp+Dse+Asc	1,1			
Asc+Asb	1,2			
Asp+Asc	1,2			
Asp+Asc+Asb	1,3			

Fonte: Adaptado de Brasil (1978; 2012) e Crepani et al. (2001). Onde:

Asc = Floresta ombrófila aberta submontana com cipós;

Asp = Floresta ombrófila aberta submontana com palmeiras;

Asb = Floresta ombrófila aberta submontana com bambu; e,

Dse = Floresta ombrófila densa dossel emergente. Nas combinações ex: Asp+Asc o primeiro componente recobre uma área $\geq 50\%$.

A situação da área se altera quando da elaboração do mapa de vulnerabilidade de Cobertura e Uso do **Ca**. Neste caso, foi utilizado o dado gerado pela incorporação dos polígonos de ação antrópica, identificados na classificação supervisionada das imagens *Landsat-8* ao tema Cobertura e Uso do **Cn**, dado este composto por feições naturais e feições antrópicas. Com a presença destas novas classes, foram identificados quatro graus de vulnerabilidade na bacia conforme Tabela 6.

Tabela 6 – Valores de vulnerabilidade da componente Vegetação considerando a Cobertura e Uso

Usos e Coberturas	Valor de Vulnerabilidade	Grau de Vulnerabilidade	Área (ha)	%
Água	0	Estável	40.320,88	42,67
Dse	1			
Asp+Dse+Asc	1,1			
Asc+Asb	1,2			
Asp+Asc	1,2			
Asp+Asc+Asb	1,3	Moderadamente estável	13.914,07	14,73
Veg. arbustivo-arbórea	1,7			
Solo exposto/veg. herbácea-arbustiva	2,2	Estável / vulnerável	28.272,72	29,92
Cicatriz de queimada	3	Vulnerável	11.976,46	12,68

Fonte: Adaptado de Brasil (1978; 2012) e Crepani et al. (2001). Onde:

Asc = Floresta Ombrófila Aberta submontana com cipós;

Asp = Floresta Ombrófila Aberta submontana com palmeiras;

Asb = Floresta Ombrófila Aberta submontana com bambu; e,

Dse = Floresta Ombrófila Densa dossel emergente. Nas combinações ex: Asp+Asc o primeiro componente recobre uma área $\geq 50\%$.

Devido as substituições da componente florestal, a qual cobria 100% da área da bacia garantindo classificação de estabilidade para a mesma, constatou-se uma alteração considerável no grau de vulnerabilidade à erosão da bacia, pois 44,65% da área passaram a fazer parte da categoria morfodinâmica intergrade, e 12,68% passaram a ser categorizadas como instáveis, vulneráveis perante o processo de erosão. Esta substituição vegetal Floresta por vegetação do tipo herbácea está intimamente relacionada à expansão da atividade agropecuária na bacia (NUNES et al., 2015).

Após esta etapa de elaboração e análise dos mapas-síntese de VNE de cada componente fisiográfico, aplicamos o método AHP, onde as mesmas foram hierarquizadas em ordem decrescente da seguinte maneira: Cobertura e Uso ($G_{i9} = 9$); Solo ($G_{i7} = 7$); Geomorfologia ($G_{i5} = 5$); Clima ($G_{i3} = 3$); e, Geologia ($G_{i1} = 1$). O passo seguinte foi iniciar os cálculos com a construção da matriz de decisão representada na Tabela 7.

Tabela 7 – Matriz de decisão para a Bacia.

Componentes Fisiográficas	Geologia	Clima	Geomorfologia	Solos	Vegetação/Uso
Geologia	1	1/3 = 0,33	1/5 = 0,2	1/7 = 0,1428	1/9 = 0,111
Clima	3	1	1/3 = 0,33	1/5 = 0,2	1/7 = 0,1428
Geomorfologia	5	3	1	1/3 = 0,33	1/5 = 0,2
Solos	7	5	3	1	1/3 = 0,33
Vegetação/Uso	9	7	5	3	1
∑ da coluna	25	16,333	9,533	4,676	1,787

Esta matriz de decisão tem seus valores normalizados para ser usada no cálculo do peso de cada componente, resultando nos dados da Tabela 8. Estes valores representam a porcentagem, o peso de contribuição de cada componente fisiográfico ao processo erosivo.

Tabela 8 – Demonstração do cálculo dos pesos pelo método AHP.

Componentes Fisiográficas	Cálculo dos Pesos (média)	Peso
Geologia	$(0,04+0,02+0,021+0,031+0,062)/5$	0,035
Clima	$(0,12+0,061+0,035+0,043+0,08)/5$	0,068
Geomorfologia	$(0,2+0,184+0,105+0,071+0,112)/5$	0,134
Solos	$(0,280+0,306+0,315+0,214+0,187)/5$	0,26
Cobertura/Uso	$(0,36+0,429+0,524+0,642+0,56)/5$	0,503
Total		1

Para garantir que a hierarquização e os cálculos dos pesos estivessem coerentes, aplicou-se a fórmula da razão da consistência (RC) elaborada por Saaty (1977), onde se obteve um valor de 0,0537 (ou ~5,4%), valor menor do que 0,10 (valor de referência). Desta forma, pode-se afirmar que a matriz é consistente e que as atribuições de hierarquia e de cálculo dos pesos são significativos e coerentes, permitindo a continuidade da metodologia gerando os mapas e a vulnerabilidade dos Cenários **Cn** e **Ca** por meio da Equação 1.

Para o **Cn**, a componente Cobertura e Uso, formada somente por vegetação nativa de fâcies florestais (variável com maior peso), resultou em um mapa-síntese que representou o equilíbrio dinâmico da paisagem em um ambiente fitoestático, visto que 100% da área foi considerada morfodinamicamente estável perante os processos erosivos (Tabela 9 e Figura 2).

Tabela 9 - Graus de vulnerabilidade do Cn.

Nº de pixels	Valor de Vulnerabilidade	Grau de Vulnerabilidade	Área (ha)	%
285	1	Estável	92.438,82	97,84
51.681	1,1			
949.726	1,2			
25.406	1,3			
54	1,4			
3.032	1,5	Moderadamente estável	2.043,09	2,16
7.847	1,6			
11.768	1,7			

Fonte: Adaptado de Brasil (1978) e Crepani et al. (2001).

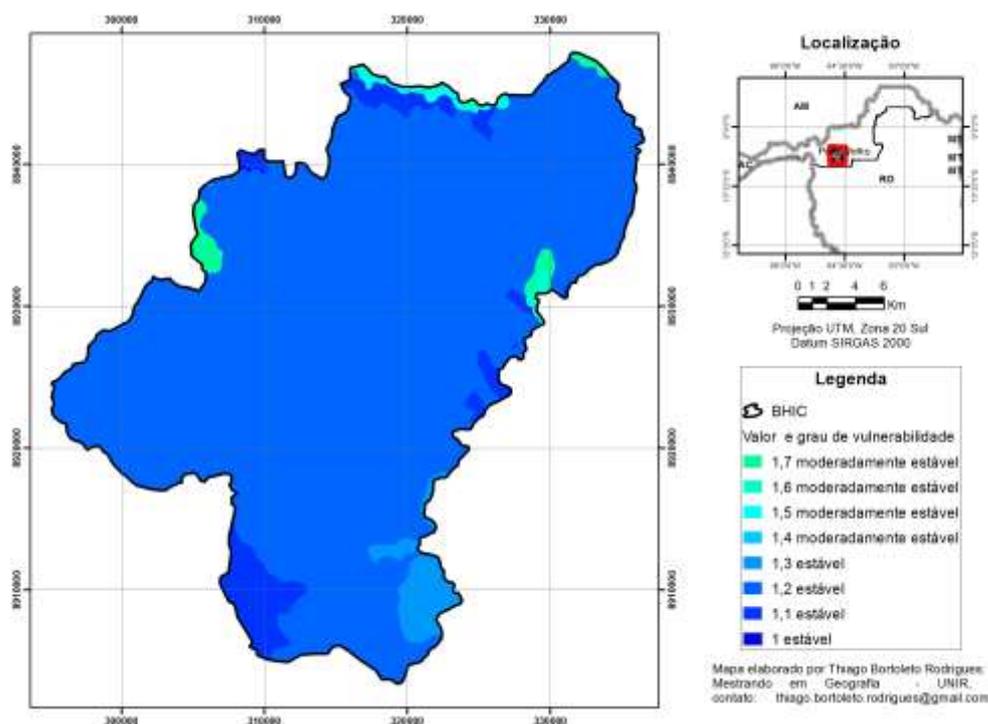


Figura 2: Mapa de vulnerabilidade à erosão do Cn.

A estabilidade da área para o **Cn** era o esperado, considerando que as características regionais do relevo são muito planas a suavemente onduladas, com baixa amplitude altimétrica e baixa dissecação, com poucas regiões classificadas como moderadamente estável devido ao declive ser um pouco mais acentuado. Praticamente toda a bacia é coberta por Latossolos amarelo-vermelhos distróficos que apresentam baixa erodibilidade, além de estarem bem protegidos da ação erosiva da chuva e dos ventos pela cobertura dominante da Floresta Ombrófila Aberta e suas fâcies.

Os mapas de vulnerabilidade natural à erosão de cada componente fisiográfico, analisados individualmente, indicaram certa estabilidade morfodinâmica, uma vez que quatro das cinco componentes usadas na análise apresentaram mais de 90% de suas unidades categorizadas como estáveis ou moderadamente estáveis, sendo que duas componentes (clima e vegetação nativa) apresentaram 100% da área como estável, e somente o tema geologia apresentou mais de 50% de suas classes com grau vulnerável ou moderadamente vulnerável, não refletindo no mapa-síntese final, pois este tema teve sua influência calculada de 0,035 (valor do peso), representando menos de 0,5% de contribuição para os processos erosivos.

Na elaboração do **Ca** é perceptível a influência da ação antrópica na modificação dos valores de vulnerabilidade natural à erosão ao se considerar o cenário anterior. Para isso, foi incorporado ao dado de Cobertura e Uso do **Cn** os polígonos de ação antrópica identificados nas imagens *Landsat 8-OLI*, formando o componente Cobertura e Uso do **Ca**.

No **Ca**, todas as componentes fisiográficas continuaram com a mesma hierarquização e com o mesmo peso atribuídos no cenário anterior. Na componente "Cobertura e Uso" do **Ca**, a ação antrópica direta evidenciou alteração no padrão de cobertura e proteção do solo, sendo possível a separação de novas classes homogêneas, enquanto os demais temas permaneceram em seu equilíbrio, sem alterações evidentes que permitissem outra categorização da componente devido a escala do dado utilizado. Tudo indica, então, que o avanço da pecuarização potencializado pela

construção das hidroelétricas do alto rio Madeira refletiu na alteração de classificação da componente Cobertura e Uso (Tabela 10).

Tabela 10 – Graus de vulnerabilidade do Ca.

Nº de pixels	Valor de Vulnerabilidade	Grau de Vulnerabilidade	Área (ha)	%
225	1	Estável	39.279,24	41,57
22.269	1,1			
412.493	1,2			
1.449	1,3			
140.980	1,4	Moderadamente estável	39.685,41	42,00
10.618	1,5			
69.504	1,6			
219.847	1,7			
30.893	1,8	Estável/ vulnerável	15.468,84	16,37
2.530	1,9			
13.989	2			
109.530	2,1			
14.934	2,2	Moderadamente vulnerável	48,42	0,05
11	2,4			
125	2,5			
402	2,6			

Fonte: Adaptado de Brasil (1978) e Crepani et al. (2001).

A nova classificação dessa componente Cobertura e Uso na área de estudo passou a apresentar quatro graus da escala de vulnerabilidade, com a redução das áreas classificadas com o grau estável e o aparecimento do grau estável/vulnerável em porcentagem significativa na porção Leste de toda a bacia, conforme indicado na Figura 3, além de pequenas áreas que já demonstraram graus de vulnerabilidade classificados como sendo moderadamente/vulnerável.

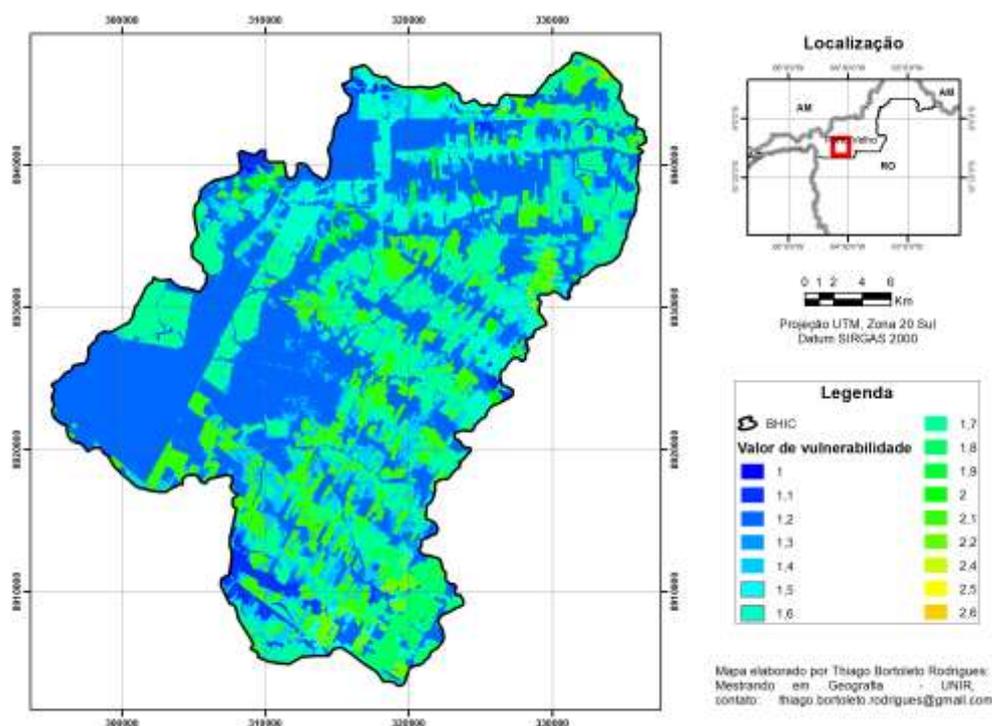


Figura 3: Mapa de vulnerabilidade à erosão do Ca.

As áreas da BHIC classificadas com grau estável no **Cn** foram reduzidas, passando de 100% para 41,57% da cobertura da bacia, sendo que boa parte desta porcentagem foi reclassificada para moderadamente estável (42% do total da bacia). Isso é decorrente do constante e crescente processo

de abertura e ocupação de novas terras na região, onde a principal atividade produtiva empregada – a pecuária – convencionalmente exige uma alteração drástica nos estratos da vegetação, passando de uma região com floresta ombrófila estratificada para uma formação vegetal mais herbáceo-arbustiva, com baixa estratificação com, no máximo, 2 metros de altura e árvores espaciais.

Os demais 16,37% da área da bacia foram classificados na transição entre estabilidade e instabilidade morfodinâmicas, grau medianamente estável/vulnerável associado, predominantemente, com as áreas onde o extrato vegetal é arbustivo-arbóreo ao arbóreo, geralmente às margens dos polígonos de ação antrópicas consolidadas, correspondendo ao avanço de novas frentes agropecuárias, mas também representam pastagens abandonadas, início de extração florestal e vegetações secundárias em estágios médios de recuperação (capoeiras).

O constante crescimento da antropização da bacia transformou a paisagem natural que era antes de floresta ombrófila aberta para ambiente de pastagem com gramíneas exóticas, as quais apresentam uma boa capacidade para conter a erosão, conforme estudos de Ramos et al. (2011), o que ajuda a explicar os resultados terem apontado para uma certa estabilidade dos processos morfodinâmicos (83,5% da área de estudo) considerando a importância da componente Cobertura e Uso na proteção do solo. No restante da área de estudo, 16% foram classificados como intergrades (graus medianamente estável/vulnerável) e apenas 0,5% como moderadamente vulnerável, demonstrando que, para a escala de análise, as atividades produtivas da região, se manejadas de forma adequada, não causarão impactos negativos graves quanto aos processos de perda de solo. Cenário que a realidade obtida por ocasião das expedições de campo vai em sentido contrário.

Estudos realizados por Cavalcante et al. (2008; 2011) indicaram deslocamento da atividade agropecuária do sul do Estado de Rondônia para o norte, especificamente para a região do alto rio Madeira entre 1995 a 2005, cuja expansão, segundo Nunes (2012), foi consolidada, estabelecendo estreita relação entre produção de soja, pecuária e grandes hidrelétricas na Amazônia (RIVERO et al., 2009). Isso, de uma maneira geral, explica os cenários aqui apresentados para a bacia do Igarapé do Contra e, ao que tudo indica, o cenário tenderá a se ampliar para a classe de instabilidade morfodinâmica, o que poderá favorecer processos de erosão mesmo considerando a escala de abordagem do trabalho.

Portanto, quanto mais detalhada a escala de abordagem, há uma maior probabilidade de ampliação da vulnerabilidade natural à erosão.

4. Conclusões

Quando considera-se o efeito do deslocamento sul – norte da pecuária no âmbito do Estado de Rondônia, aliado aos empreendimentos hidroelétricos, é correto afirmar que a região do alto rio Madeira está sob forte pressão antrópica, o que exige de forma contínua levantamentos de dados sobre o potencial erosivo e sua cartografia, afim que se possa projetar cenários plausíveis. Os resultados indicaram que o cenário tenderá a se ampliar para a classe de instabilidade morfodinâmica, o que poderá favorecer processos de erosão mesmo considerando a escala de abordagem do trabalho.

A associação do método de VNE de Crepani et al. (1996; 2001) com o método de análise multicritério AHP (SAATY, 1977) mostrou-se uma importante ferramenta para o planejamento e para a análise dos impactos ambientais provocados pela modificação da cobertura e uso da terra na bacia frente ao processo de erosão. Devido a abordagem sistêmica do estudo, integrando dados qualitativos e quantitativos, a metodologia aplicada permite atualização constante dos mapas-síntese, uma vez que a hierarquização e, conseqüentemente, o peso (importância) podem ser alterados devido a incorporação de novas informações, sendo conduzido para cada nova aplicação um aprimoramento das comparações paritárias.

Apesar do constante crescimento da ocupação antrópica na área de estudo (verificado no mapa VNE de cobertura e uso do **Ca**), no decorrer das últimas três décadas, cerca de 80% da bacia permaneceu estável considerando os processos morfodinâmicos, demonstrando que, para esta escala de análise - 1:250.000, as atividades produtivas da região, em a princípio, não causaram impactos negativos graves perante o processo de perda de solo.

Apesar de a classe estabilidade ter sido majoritária, no que se referiu ao potencial erosivo da área, são necessários levantamentos e consolidação de dados ambientais básicos em escalas de maior detalhe (1:50.000, 1:25.000), e mesmo considerando a tese de que gramíneas podem reter erosão numa certa medida, a que se ponderar outros efeitos entre os quais o do pisoteio do gado, a compactação solo e as diferentes tipologias de solo que caracterizam a região do alto rio Madeira. De modo que o mapeamento da erosão potencial continuará sendo uma necessidade para projetar cenários com vistas a um melhor uso da bacia em questão.

5. Referências

BACANI, V. M. (2010). **Geotecnologia aplica ao ordenamento físico-territorial da Bacia do alto rio Coxim – MG**. 222 f. Tese (Doutorado em Ciências) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo.

BATISTA, J. F. (2014). **A evolução da pecuária bovina em Rondônia e sua influência sobre a configuração territorial e a paisagem (1970 – 2012)**. 252 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Departamento de Geografia, Área Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

BECKER, B. K.; EGLER, C. A. G. (1997):” Detalhamento da metodologia para execução do zoneamento ecológico-econômico pelos Estados da Amazônia Legal”. In: BECKER, B. K.; EGLER C. A. G. **Detalhamento da metodologia para execução do zoneamento ecológico-econômico pelos Estados da Amazônia Legal**. Editora MMA. Rio de Janeiro, BR., pp. 40.

Projeto RADAMBRASIL. Folha SC 20 Porto Velho: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro: DNPM, 1978.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. **Manual técnico de Pedologia**. 2. ed. Rio de Janeiro: MPOG/IBGE, 2007.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. IBGE. **Manual técnico de Geomorfologia**. 2. ed. Rio de Janeiro: MPOG/IBGE, 2009.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. IBGE. **Manual técnico de Vegetação Brasileira**. 2. ed. Rio de Janeiro: MPOG/IBGE, 2012.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. **Dados para downloads**. 2015. Disponível em: <ftp://geoftp.ibge.gov.br/>. Consultado em 05/11/2018.

CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M. V. (2011): **Introdução à ciência da Geoinformação** Disponível em: <http://mtc-m12.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/sergio/2004/04.22.07.43/doc/publicacao.pdf>. Consultado em 03/12/2018.

CÂMARA, G. et al. (1996): Spring: Integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modelling. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/tutorial/index.html>. Consultado em 04/12/2018.

CAVALCANTE, M. M. A. (2008). **Transformações Territoriais no Alto Rio Madeira: Hidrelétricas, Tecnificação e (Re) Organização**. 112 f. Dissertação (Mestrado em geografia), Universidade Federal de Rondônia, Porto Velho.

CAVALCANTE, M. M de A., NUNES, D. D., SILVA, R. G. da C e LOBATO, L. C. H. (2011): Políticas Territoriais e Mobilidade Populacional na Amazônia: contribuições sobre a área de influência das Hidrelétricas no Rio Madeira (Rondônia/Brasil). Disponível em: <http://confins.revues.org/6924>, DOI : en cours d'attribution. Consultado em 05/01/2019.

CREPANI, E. et al. (1996): **Curso de sensoriamento remoto aplicado ao zoneamento ecológico-econômico**. Ed. INPE. São Paulo, São José dos Campos,

CREPANI, E. et al. (2001): **Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao zoneamento ecológico-econômico e ao ordenamento territorial**. Ed. INPE. São Paulo, São José dos Campos, pp.26.

DA SILVA, M. J. G. (2010). **Uso e Cobertura do Solo e a Variabilidade do Clima de Porto Velho-RO**. Porto Velho., 70 p. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Regional) – Núcleo de Ciências e Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Regional, Universidade Federal de Rondônia, Porto Velho, 2010.

FEARNSIDE, P. M. O avanço da soja como ameaça à biodiversidade na Amazônia. In: WATANABE, S. (ed.). **Anais do V Simpósio de Ecossistemas Brasileiros: Conservação**, vol. I: Conservação e Duna. Vitória: Ed. da Universidade Federal de Espírito Santo, 2000. p. 74-82.

FRANEK, J.; KRESTA, A. (2014): Judgment scales and consistency measure in AHP. In **Procedia Economics and Finance**, N. 12, março 2014, p. 164-173.

ESCADA, Maria Isabel Sobral; MAURANO, Luis Eduardo; DA SILVA, Jorge Hargrave Gonçalves. Dinâmica do desmatamento na área de influência das usinas hidroelétricas do complexo do rio Madeira, RO. **XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Foz do Iguaçu, v. 2013, p. 7499-7507, 2013..

BRASIL. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais-INPE. **PRODES Digital**. São Paulo-São José dos Campos. 2014. Disponível em: <http://www.obt.inpe.br/prodesdigital/metodologia.html>. Consultado em dia 05/11/2014.

JENSEN, J. R. (2009): **Sensoriamento remoto do ambiente**. Trad. José Carlos Neves Epiphânio (coord.). In **Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. Ed. Parênteses. São Paulo, São José dos Campo, pp.1-34.

KAWAKUBO, F. S. et al. Caracterização empírica da fragilidade ambiental utilizando geoprocessamento. **Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Goiânia, p. 16-21, 2005.

MARTINS, V. B. (2009). **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. 124 f. Tese (Doutorado em Engenharia Nuclear) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

MELO, E. C. (2012). **Fatores de controle dos fluxos fluviais de material em suspensão em diferentes cenários climáticos na bacia do rio Solimões.** 221 f. Tese (Doutorado em Clima e Ambiente) Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Amazonas-INPA, Manaus.

MENESES, P. R.; ALMEIDA, T. (orgs.). (2012). **Introdução ao Processamento de Imagens de Sensoriamento Remoto.** Ed. UNB. DF. Brasília, pp.264.

MOREIRA, R. (2009). (2009). **O Pensamento Geográfico Brasileiro: as matrizes da renovação.** Ed. Contexto. São Paulo, São Paulo, pp.169.

NASA. **Landsat Science.** 2015. Disponível em: <http://landsat.gsfc.nasa.gov/>. Consultado em 05/11/2017.

NOVO, E. M. L. de M. (2012). **Sensoriamento Remoto: princípios e aplicações.** Ed. Blucher. São Paulo, São Paulo, pp. 388.

NUNES, D. D. **Hidrovia do Madeira: (re) configuração, integração e meio ambiente.** 2004. 379 f. Tese (Doutorado em Desenvolvimento Sócio Ambiental) – Universidade Federal do Pará, Belém, 2004.

NUNES, D. D. **Vulnerabilidade Natural à Erosão da Bacia do Rio Mutum Paraná-Porto Velho-RO (2009-2011).** Relatório Final de Pesquisa. Porto Velho: UNIR, 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).** Relatório Final de Pesquisa. Porto Velho: UNIR, 2014.

NUNES, D. D.; WATANABE, M.; NUNES, A. C. S.; CAVALCANTE, M. M. de A. Formação socioambiental do estado de Rondônia. In: SIMONIAN, L. T. L.; BAPTISTA, E. R. (Org.). **Formação socioambiental da Amazônia. Belém: Editora do NAEA, 2015.** p. 527-622, il. mapas. ISBN: 978-85-7143-142-3. [Coleção Formação Regional da Amazônia, v. 3].

OLIVEIRA JUNIOR, R. C.; MEDINA, B. F. (1990): A erosividade das chuvas em Manaus (AM). In **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, N. 2, janeiro 1990, p. 235-239.

RAMOS, F. T. et al. (2011): Erosão por salpicamento sob diferentes sistemas de manejo em um Neossolo Quartzarênico em Cáceres (MT). In **Global Science and Technology**, N. 1, jan./abr 2011, p. 38-50.

RIZZOTTO, G. J. et al. Projeto Rio Madeira. **Levantamento de informações para subsidiar o estudo de viabilidade do aproveitamento hidrelétrico (AHE) do Rio Madeira.** Porto Velho: CPRM/Serviço Geológico do Brasil, 2005.

RIVERO, S. et al. (2009): Pecuária e desmatamento: uma análise das principais causas diretas do desmatamento na Amazônia. In **Rev. Nova Economia**, N. 1, jan./abr. 2009, p. 41-66.

RODRIGUES, T. B. (2015). **Caracterização e Análise do Uso e Cobertura da Terra na Bacia Hidrográfica do Igarapé do Contra, Porto Velho-RO: implicações a partir da Vulnerabilidade à Erosão.** 2015. 110 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal de Rondônia, Porto Velho.

ROSS, J. L. S. (1994): Análise Empírica da Fragilidade dos Ambientes Naturais e Antropizados. In **Revista do Departamento de Geografia**, N. 8, 1994, p. 63-74.

RUBIRA, F. G.; MELO, G. V.; OLIVEIRA, F. K. S. (2016): Proposta de Padronização dos Conceitos de Erosão em Ambientes Úmidos de Encosta. In **Revista de Geografia**, N. 1, abril 2016, p. 168-193.

SAATY, T. L. (1997): A scaling method for priorities in hierarchical structures. In **Journal of mathematical psychology**, N. 3, 1977, p. 234-281.

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

SAATY, T. L. (1990): How to make a decision: the analytic hierarchy process. In **European Journal of Operational Research**, N. 1, setembro 1990), p. 9-26.

SANTOS, A. R.; LOUZADA, F. L. R. O.; EUGÊNIO, F. C. (2010). **ARCGIS 9.3 total: aplicações para dados espaciais**. Ed. CAUFES. Espírito Santo, Alegres, pp. 184.

SPÖRL, C. (2007). **Metodologia para elaboração de modelo de fragilidade ambiental utilizando redes neurais**. 185 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Departamento de Geografia, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

TRICART, J. (1977). **Ecodinâmica**. Ed. IBGE/Secretaria de Planejamento da Presidência da República, Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, pp.97.

VON B. L. (1969). **System Theory: Foundations, Development, Applications**. 2. ed. Ed. George Braziller. New York: University of Alberta Edmonton.