



UNIVERSIDADE DO ESTADO DO RIO GRANDE DO NORTE

FACULDADE DE CIÊNCIAS ECONÔMICAS

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

MESTRADO ACADÊMICO EM GEOGRAFIA



ALBERGMA ESTEVÃO DE QUEIROZ MAGALHÃES CAVALCANTE

**ANÁLISE DA DEGRADAÇÃO E DA FRAGILIDADE AMBIENTAL DA
BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO APODI-MOSSORÓ - RN**

MOSSORÓ-RN

2021

ALBERGMA ESTEVÃO DE QUEIROZ MAGALHÃES CAVALCANTE

**ANÁLISE DA DEGRADAÇÃO E DA FRAGILIDADE AMBIENTAL DA
BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO APODI-MOSSORÓ - RN**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia, da Universidade do Estado do Rio Grande do Norte, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Geografia.

Área de concentração: Paisagens Naturais e Meio Ambiente

Linha de pesquisa: Estudos Socioambientais

Orientador: Prof. Dr. Alfredo Marcelo Grigio.

Coorientador: Prof. Dr. Marco Antônio Diodato.

MOSSORÓ-RN

2021

© Todos os direitos estão reservados a Universidade do Estado do Rio Grande do Norte. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do(a) autor(a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu(a) respectivo(a) autor(a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

Catálogo da Publicação na Fonte.
Universidade do Estado do Rio Grande do Norte.

C376a Cavalcante, Albergma Estevão de Queiroz Magalhães
ANÁLISE DA DEGRADAÇÃO E DA FRAGILIDADE
AMBIENTAL DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO APODI-
MOSSORÓ - RN. / Albergma Estevão de Queiroz Magalhães
Cavalcante. - MOSSORÓ-RN, 2021.
77p.

Orientador(a): Prof. Dr. Alfredo Marcelo Grigio.
Coorientador(a): Prof. Dr. Marco Antônio Diodato.
Dissertação (Mestrado em Programa de Pós-
Graduação em Geografia). Universidade do Estado do Rio
Grande do Norte.

1. Manejo de bacias hidrográficas. 2. Deterioração
Ambiental. 3. Geoprocessamento. I. Grigio, Alfredo
Marcelo. II. Universidade do Estado do Rio Grande do
Norte. III. Título.

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pela Diretoria de Informatização (DINF), sob orientação dos bibliotecários do SIB-UERN, para ser adaptado às necessidades da comunidade acadêmica UERN.

ALBERGMA ESTEVÃO DE QUEIROZ MAGALHÃES CAVALCANTE

ANÁLISE DA DEGRADAÇÃO E DA FRAGILIDADE AMBIENTAL DA BACIA
HIDROGRÁFICA DO RIO APODI-MOSSORÓ - RN

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia, da Universidade do Estado do Rio Grande do Norte, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Geografia.

Área de concentração: Paisagens Naturais e Meio Ambiente

Linha de pesquisa: Estudos Socioambientais

Orientador: Prof. Dr. Alfredo Marcelo Grigio.

Coorientador: Prof. Dr. Marco Antônio Diodato.

Aprovada em: ___/___/___.

Banca Examinadora

Prof. Dr. Alfredo Marcelo Grigio (Orientador)
Universidade do Estado do Rio Grande do Norte (UERN)

Prof. Dr. Marco Antônio Diodato (Examinador externo)
Universidade do Federal do Semiárido (UFERSA)

Profª. Dra. Gabriela Cemirames de Sousa Gurgel (Examinadora interna)
Universidade do Estado do Rio Grande do Norte (UERN)

Prof. Dr. Filipe da Silva Peixoto
Universidade do Estado do Rio Grande do Norte (UERN - Suplente)

Prof. Dr. Paulo Cesar Moura da Silva
Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA - Suplente)

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela capacidade de poder chegar até aqui com saúde, em meio à crise da pandemia em que vivemos nos dias atuais.

Aos meus pais, José Albergma Cavalcante da Silva e Telma de Queiroz Magalhães, e ao meu irmão Misael de Queiroz Magalhães Cavalcante pelo apoio.

A minha esposa, Monalisa Carlos Pinheiro Queiroz, parceira fiel que está ao meu lado nos momentos de alegria e de dor, que me ajuda a levantar nos momentos difíceis e tem parte fundamental nesta minha caminhada.

Ao meu filho, Bernardo, que é minha fonte de inspiração e que me transforma, a cada dia, num ser humano melhor.

Ao meu Orientador, Prof. Dr. Alfredo Marcelo Grigio, por ter aceitado me acompanhar neste projeto, pela paciência, companheirismo, amizade e conhecimentos repassados no processo de construção do trabalho e da ciência.

Ao Co-Orientador, Prof. Dr. Marco Antônio Diodato, pela disponibilidade e colaboração no processo de construção deste trabalho.

À Profa. Dra. Gabriela Cemirames de Sousa Gurgel, membra da banca examinadora, pela contribuição de melhoria do trabalho de pesquisa.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Geografia, que desempenham com exímio o papel de construção do saber e do ensino para a transformação de alunos em profissionais qualificados.

À turma do Mestrado em Geografia 2019.1, Aluizio Bezerra Júnior, Rosany Rossi Pereira Gomes, Janine Beatriz Torres, Francisca Ranielly de Brito Macêdo, Larissa Silva Queiroz Manoel, Mirrayla Campos Feitosa Lacerda, Silmária Katuscia Maia Barros, João Paulo Bezerra Rodrigues, Francisco de Assis Adelino Braga, Pedro Balduino de Sousa Neto, Anderson Álefe Rodrigues de Oliveira, Rebecca Micaely Alves Pedrosa e Ivi Aliana Carlos Dantas Iran Barroso, por esses anos de convivência e amizade.

Aos funcionários da pós-graduação, sobretudo, ao secretário Diego Ezau Pereira de Araujo, por toda disponibilidade, prestatividade e carinho com todos

A todos os professores da Engenharia Florestal – UFCG/CSTR, que tiveram sua parcela de contribuição na minha formação acadêmica.

Por fim, a todos os colegas de graduação, em especial à turma da Engenharia Florestal 2013.1, que também estiveram comigo durante a minha jornada acadêmica.

Muito Obrigado!

RESUMO

Dentro dos estudos das bacias hidrográficas, a drenagem e o relevo são fundamentais para a compreensão do comportamento hidrológico, assim como a cobertura vegetal está para a prevenção das perdas de solo. Esses conceitos se tornam imprescindíveis, uma vez que a eutrofização dos corpos hídricos e os processos erosivos são responsáveis por afetar a qualidade e a disponibilidade da água. Diante disso, este trabalho tem por objetivo compreender os processos gerais de degradação e fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do Rio Apodi-Mossoró-RN, por meio da quantificação do grau de degradação, ao aplicar parâmetros biofísicos, espacialização, quantificação das áreas de conflitos e de maior fragilidade ambiental, que identifica as áreas suscetíveis à degradação ambiental. Com o levantamento conceitual dos parâmetros biofísicos, promoveu-se uma discussão sobre a dinâmica em bacias hidrográficas. Foi realizada a delimitação de forma automática, por meio do *software* livre QGis 2.18 *Las Palmas*, da bacia e das sub-bacias hidrográficas do rio Apodi Mossoró, com base nos dados do projeto SRTM. Espacializar os atributos do terreno, como: formas geométricas, drenagem, declividade, tipos de solo, uso e cobertura da terra, para identificar os fatores de riscos de deterioração ambiental por meio de três metodologias: morfometria, diagnóstico físico conservacionista, e fragilidade ambiental. A morfometria, em que foi calculado o de fator de forma, coeficiente de compacidade, índice de circularidade, declividade média e densidade de drenagem, mostrou-se como uma importante técnica de análise, pois expressa a dinâmica fluvial nas unidades destes sistemas ambientais. Mediante a aplicação do Diagnóstico Físico Conservacionista - DFC, tornou-se possível quantificar o grau de deterioração de cada sub-bacia. O total da deterioração das sub-bacias estudadas foi de 27,77%, e as sub-bacias 01 e 02 apresentaram os maiores percentuais no grau de deterioração. Por meio da metodologia da fragilidade ambiental, em que foi aplicado uma álgebra de mapas de acordo com pesos que variam de muito baixo a muito alto, em cinco níveis, relacionados às características de clima, relevo, solo, vegetação e uso da região, avaliaram-se e quantificaram-se os níveis de fragilidade potencial e emergente da bacia hidrográfica, de modo que o percentual do nível predominante de fragilidade emergente na bacia é médio, sendo 55,3%, seguido de alta fragilidade com 38,4%, resultado do efeito atenuante da vegetação, sobretudo nas áreas de maior declividade. A aplicação de técnicas de geoprocessamento é uma etapa fundamental na gestão de sistemas ambientais, criando maiores possibilidades e subsídios, junto ao comitê de bacia hidrográfica, na construção de políticas públicas que venham a manejar de forma adequada essas áreas, principalmente por se tratar de uma bacia hidrográfica de grande importância para o desenvolvimento local e regional do Rio Grande do Norte.

Palavras-chave: Manejo de bacias hidrográficas. Deterioração Ambiental. Geoprocessamento.

ABSTRACT

Within the studies of hydrographic basins, drainage and relief are fundamental for understanding the hydrological behavior, as well as the vegetation cover is for the prevention of soil losses. These concepts become essential, since the eutrophication of water bodies and erosion processes are responsible for affecting the quality and availability of water. Therefore, this work aims to understand the general processes of degradation and environmental fragility of the hydrographic basin of the Apodi-Mossoró-RN River, through the quantification of the degree of degradation by applying biophysical parameters, spatialization, quantification of conflict areas and of greater environmental fragility, which identifies areas susceptible to environmental degradation. With the conceptual survey of biophysical parameters, a discussion about the dynamics in watersheds was promoted. The delimitation was carried out automatically, using the free software QGIS 2.18 Las Palmas of the basin and hydrographic sub-basins of the Apodi Mossoró River, based on data from the SRTM project. Spatialize the attributes of the terrain, such as: geometric shapes, drainage, slope, soil types, land use and cover, to identify the risk factors for environmental deterioration through three methodologies: morphometry, physical conservationist diagnosis, applied in the first chapter and environmental fragility, which was developed in the second chapter. Morphometry, in which the form factor, coefficient of compactness, circularity index, mean slope and drainage density was calculated, proved to be an important analysis technique, as it expresses the river dynamics in the units of these environmental systems. Through the application of the Physical Conservationist Diagnosis - DFC, it became possible to quantify the degree of deterioration of each sub-basin. The total deterioration of the studied sub-basins was 27.77%, and the sub-basins 01 and 02 presented the highest percentages in the degree of deterioration. Through the methodology of environmental fragility, where a map algebra was applied according to weights ranging from very low to very high, in five levels, related to the characteristics of climate, relief, soil and vegetation and use of the region, it was evaluated the potential and emerging fragility levels of the hydrographic basin were quantified, so that the percentage of the predominant level of emerging fragility in the basin is average, being 55.3%, followed by high fragility with 38.4%, as a result of attenuating effect of vegetation, especially in the areas with the highest declivity. The application of geoprocessing techniques is a fundamental step in the management of environmental systems, creating greater possibilities and subsidies with the hydrographic basin committee in the construction of public policies that will manage these areas properly, mainly because it is a hydrographic basin. of great importance for the local and regional development of Rio Grande do Norte.

Keywords: Watershed management. Ambiental deterioration. Geoprocessing.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Esboço da definição teórica de geossistema.....	15
Figura 2 - Esquema do ciclo hidrológico em bacias hidrográficas	17
Figura 3 - Subsistemas componentes do sistema da bacia hidrográfica.....	19
Figura 4 - Caracterização hipsométrica da bacia hidrográfica do rio Apodi-Mossoró.	29
Figura 5 - Mapa dos tipos de solo da bacia hidrográfica do rio Apodi-Mossoró.	30
Figura 6 - Principais reservatórios de armazenamento de água	31
Figura 7 - Localização das 19 Sub Bacias e Bacia Hidrográfica do rio Apodi-Mossoró.....	36
Figura 8 - Gráfico referente aos valores morfométricos de cada sub-bacia inserida na bacia hidrográfica do rio Apodi-Mossoró.....	41
Figura 9 - Padrão dos principais tipos de uso da terra da bacia hidrográfica do rio Apodi-Mossoró.	42
Figura 10 - Uso e cobertura da terra em 19 sub-bacias inseridas na bacia do rio Apodi-Mossoró.	44
Figura 11 - Mapa da ocorrência de focos de queimadas nas 19 sub-bacias localizadas na bacia hidrográfica do rio Apodi-Mossoró.....	45
Figura 12 - Mapa de aptidão de uso das 19 sub-bacias inseridas no rio Apodi-Mossoró.....	48
Figura 13 - Gráfico da deterioração físico-conservacionista das 19 sub-bacias inseridas na bacia hidrográfica do rio Apodi-Mossoró	50
Figura 14 - Localização da Bacia Hidrográfica do rio Apodi-Mossoró.....	56
Figura 15 - Mapa de declividade média, classificação dos solos e de uso da Bacia hidrográfica do rio Apodi-Mossoró.....	58
Figura 16 - Declividade média da bacia hidrográfica do rio Apodi-Mossoró.....	61
Figura 17 - Nível de fragilidade com base nos tipos de solo presentes na bacia hidrográfica do rio Apodi-Mossoró	62
Figura 18 - Espacialização da cobertura e uso da terra na bacia hidrográfica do rio Apodi-Mossoró	63
Figura 19 - Mapa de fragilidade emergente da Bacia do rio Apodi-Mossoró.....	65

LISTA DE TABELA

Tabela 1 - Bandas do <i>Landsat 8 Operational Land Imager</i> e do <i>Thermal Infrared Sensor</i>	26
Tabela 2 - Índices morfométricos adotados.....	38
Tabela 3 - Classes de aptidão de uso da terra	39
Tabela 4 - Códigos e critérios de estratificação para o diagnóstico físico conservacionista. .	40
Tabela 5 - Quantificação de uso da terra em hectares das 19 sub-bacias localizadas na bacia hidrográfica do rio Apodi-Mossoró.....	46
Tabela 6 - Intervalo de classes para aptidão de uso com base nos dois valores do coeficiente de rugosidade (RN).....	47
Tabela 7 - Quantificação das áreas de conflito, cobertura florestal e grau de deterioração	48
Tabela 8 - Análise de deterioração de cada fator estudado nas 19 sub-bacias inseridas na bacia hidrográficas do rio Apodi-Mossoró.....	50
Tabela 9 - Classificação da fragilidade de acordo com a variável pluviosidade de Ross (2012)	58
Tabela 10 - Classificação da fragilidade de acordo com a declividade, segundo Ross.....	59
Tabela 11 - Classes de fragilidade do solo de acordo com Ross (1994).	59
Tabela 12 - Classes de proteção dos usos e coberturas da terra proposto por Ross (1994).....	59
Tabela 13 - Soma das pontuações (A = Pluviosidade; B = Declividade; C = Pedologia; D = Uso e ocupação da terra) e definição das classes de Fragilidade Potencial e Emergente	60
Tabela 14 - Classe de fragilidade para variável climática	60
Tabela 15 - Classificação e quantificação da declividade predominante na bacia hidrográfica do rio Apodi-Mossoró	61
Tabela 16 - Classificação e quantificação dos tipos de solos da bacia hidrográfica do rio Apodi Mossoró	62
Tabela 17 - Classificação e quantificação dos tipos de cobertura da bacia hidrográfica do rio Apodi-Mossoró.....	63
Tabela 18 - Soma das pontuações (A = Pluviosidade; B = Declividade; C = Pedologia; D = Uso e ocupação da terra) e definição das classes de Fragilidade Potencial e Emergente	65

LISTA DE SIGLAS

ANA -	Agencia Nacional das Águas
CAAA -	Caatinga Arbustiva Arbórea Aberta
CAAF -	Caatinga Arbustiva Arbórea Fechada
DD -	Densidade de Drenagem
DFC -	Diagnóstico Físico Conservacionista
DM -	Declividade Média
EMBRAPA -	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
FF -	Fator de Forma
GTP -	Geossistema Território e Paisagem
IBGE -	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IC -	Índice de Circularidade
INPE -	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
ILPF -	Integração de Lavoura, Pecuária e Floresta
KC -	Coefficiente de Compacidade
MDE -	Modelo Digital de Elevação
ODS -	<i>Objetivos de Desenvolvimento Sustentável</i>
OLI -	Operational Land Imager
ONU -	Organização das Nações Unidas
PNRH -	Política Nacional de Recursos Hídricos
RN -	Rio Grande do Norte
SIG -	Sistemas de Informação Geográficas
SIRGAS 2000 -	Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas 2000.
TIRS -	Thermal Infrared Sensor
UTM -	Universal Transversa de Mercator.
USGS -	United States Geological Survey
VCAN -	Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO GERAL	12
1.1	OBJETIVOS	14
1.1.1	Objetivo Geral.....	14
1.1.2	Objetivos Específicos	14
2	REFERENCIAL TEÓRICO	15
2.1	SISTEMAS GEOSSISTEMA – TERRITÓRIO – PAISAGEM (GTP)	15
2.2	BACIAS HIDROGRÁFICAS	17
2.2.1	Manejo de Bacias hidrográficas.....	18
2.2.2	Políticas ambientais em bacias hidrográficas	19
2.2.3	Objetivos da Agenda 2030 para o desenvolvimento sustentável em bacias hidrográficas 20	
2.3	FRAGILIDADE AMBIENTAL	21
2.4	MORFOMETRIA	22
2.5	DIAGNÓSTICO FÍSICO-CONSERVACIONISTA (DFC).....	23
2.6	SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA	24
2.6.1	Sensoriamento Remoto	25
3	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	28
4	PRIMEIRO ARTIGO	32
4.1	INTRODUÇÃO	34
4.2	MATERIAIS E MÉTODOS	35
4.2.1	Localização e Caracterização da Área de Estudo	35
4.2.2	Materiais Utilizados.....	37
4.2.3	Delimitação da Bacia Hidrográfica.....	37
4.2.4	Parâmetros Morfométricos	38
4.2.5	Processamento e Classificação de Uso e Cobertura da Terra e Quantificação de Áreas Queimadas	38
4.2.6	Diagnóstico Físico-Conservacionista	39
4.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	40
4.3.1	Aspectos da Morfometria das Sub-Bacias Hidrográficas	40
4.3.2	Caracterização do Uso e Cobertura da Terra	42
4.4	CONCLUSÃO	50

5	SEGUNDO ARTIGO	52
5.1	INTRODUÇÃO	54
5.2	METODOLOGIA	56
5.2.1	Caracterização da Área	56
5.3	MATERIAL E MÉTODOS	57
5.4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	60
5.5	CONCLUSÃO	66
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	67
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	68

1 INTRODUÇÃO GERAL

A bacia hidrográfica é considerada como principal unidade ecológica que possibilita a análise da paisagem e compreensão das relações dos ecossistemas (RODRIGUES; SILVA, 2013). É considerada, por Chistofolletti (1999), como sistema aberto, ou seja, tanto recebe energia como perde. De acordo com Gaspari *et al.* (2013), é formada por uma rede de drenagem que tem características hidrológica, ecológica, ambiental e socioeconômica. Assim, pode ser compreendida por meio dos aspectos topográficos e de relevo, formada por divisor de águas, vertentes e talwegues.

A Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, institui a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), em que são criados os comitês de bacias hidrográficas, órgão que tem em sua área de atuação a promoção de debate sobre as questões relacionadas aos recursos hídricos (BRASIL, 1997).

O manejo adequado das bacias hidrográficas tem como benefícios a conservação e a preservação da biodiversidade, produção de água, uso sustentável dos recursos da terra e recursos hídricos (AGUIRRE, 2007). Logo, o seu estudo possibilita melhor gestão e abastecimento, principalmente, em períodos de seca. Desse modo, faz-se necessário o conhecimento das características físicas de uma determinada região hidrológica e seus componentes.

De acordo com Villela e Matos (1975) e Pirajá e Rezende Filho (2019), as características físicas permitem o entendimento da dinâmica hidrológica, por meio de informações sobre a área e sistema de drenagem, como também as características do relevo, nas quais são obtidos parâmetros morfométricos, como: área, perímetro, fator de forma, índice de circularidade, coeficiente de compacidade, comprimento dos canais de drenagem, densidade de drenagem, declividade média e coeficiente de rugosidade.

Os parâmetros morfométricos proporcionam informações relevantes sobre a dinâmica hidrológica, possibilitando a previsão de eventos como enchentes (PEREIRA *et al.*, 2019), a susceptibilidade a erosões (CLAUDINO *et al.*, 2020) e, conseqüentemente, o nível de degradação (BARACUHY, 2001) e fragilidade ambiental (ROSS, 1994) dos sistemas ambientais.

No manejo de bacias hidrográficas, o diagnóstico constitui a primeira etapa do planejamento e tem como objetivo, mediante a caracterização do meio biofísico, identificar os principais problemas e conhecer a relação causa-efeito dos processos de degradação (AGUIRRE, 2007). A falta de planejamento desencadeia processos erosivos, perda de produtividade agrícola e pecuária, redução da qualidade e disponibilidade hídrica.

Para o melhor gerenciamento dos recursos ambientais em bacias hidrográficas, Campos *et al.* (2015) afirmam que a utilização de sistemas de informação geográfica proporciona maior eficiência no processo da tomada de decisão. A aplicação de sensoriamento remoto possibilita a exploração do potencial das informações obtidas por meio das imagens de satélite (CREPANI *et al.*, 1996).

A presente pesquisa busca responder de que forma a análise dos parâmetros biofísicos auxilia na compreensão dos processos de degradação, fornecendo subsídios para mitigação dos processos de degradação na bacia hidrográfica do rio Apodi-Mossoró – RN, a partir de dados processados em ambiente de Sistemas de Informação Geográfica (SIG).

Portanto, determinar o percentual de degradação e o nível de fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do rio Apodi-Mossoró – RN apresenta uma relevância significativa para determinar as áreas mais suscetíveis aos conflitos de uso e o planejamento na mitigação dos problemas decorrentes da ação antrópica. Dentre as principais atividades com impacto no desenvolvimento econômico da região, são destacadas: extração do petróleo, produção salineira, carcinicultura e atividades agropecuárias.

Diante disso, o presente trabalho se encontra estruturado da seguinte forma: apresentação do arcabouço teórico que se pautou por meio dos principais conceitos: Sistemas Geossistema – Território – Paisagem (GTP); Bacias Hidrográficas: manejo e suas políticas; Fragilidade Ambiental; Morfometria; Diagnóstico Físico Conservacionista; Sistemas de Informação Geográficas e Sensoriamento Remoto, fundamentais no processamento e análise.

Em seguida, é feita uma breve caracterização da área de estudo, em que estão descritos sua localização, tamanho, aspectos geológicos, geomorfológicos, pedológicos, climáticos, vegetação e as principais barragens da bacia hidrográfica.

Na sequência é apresentado o primeiro capítulo, na forma de artigo, que buscou tratar dos aspectos físicos e ambientais da bacia hidrográfica, por meio dos parâmetros morfométricos e uso da terra em 19 sub-bacias, para identificar os níveis de degradação ambiental decorrentes das características naturais, bem como, de uso inadequado que aceleram sobretudo os processos erosivos.

No segundo capítulo, também em formato de artigo, tratou-se da fragilidade ambiental da bacia hidrográfica, por meio da metodologia de Ross, em que é atribuído um nível de fragilidade, a partir dos princípios da ecodinâmica, possibilitando assim identificar áreas suscetíveis de degradação do meio físico e ambiental. Tanto o primeiro quanto o segundo capítulo serão submetidos à publicação em revistas, de acordo com as colaborações da banca examinadora.

E por fim, encerra-se o trabalho apresentando as considerações finais obtidas com o referido trabalho, seguido da apresentação das referências utilizadas no trabalho.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Compreender os processos gerais de degradação e fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do Rio Apodi-Mossoró-RN, por meio da quantificação do grau de degradação, ao aplicar parâmetros biofísicos, espacialização, quantificação das áreas de conflitos e de maior fragilidade ambiental, que identifica as áreas suscetíveis à degradação ambiental.

1.1.2 Objetivos Específicos

- a) Conceituar os parâmetros biofísicos e promover uma discussão sobre a dinâmica em bacias hidrográficas;
- b) Delimitar, de forma automática, por meio do *software* livre QGis 2.18 *Las Palmas*, a bacia e as sub-bacias hidrográficas do rio Apodi-Mossoró, com base nos dados do projeto Shuttle Radar Topography Mission - SRTM;
- c) Identificar e espacializar atributos do terreno: (i) Formas geométricas, (ii) Drenagem (iii) Declividade; (iv) Tipos de solo; (v) Uso e cobertura da terra;
- d) Identificar os fatores de riscos de deterioração ambiental por meio de três metodologias: morfometria, diagnóstico físico conservacionista e fragilidade ambiental.

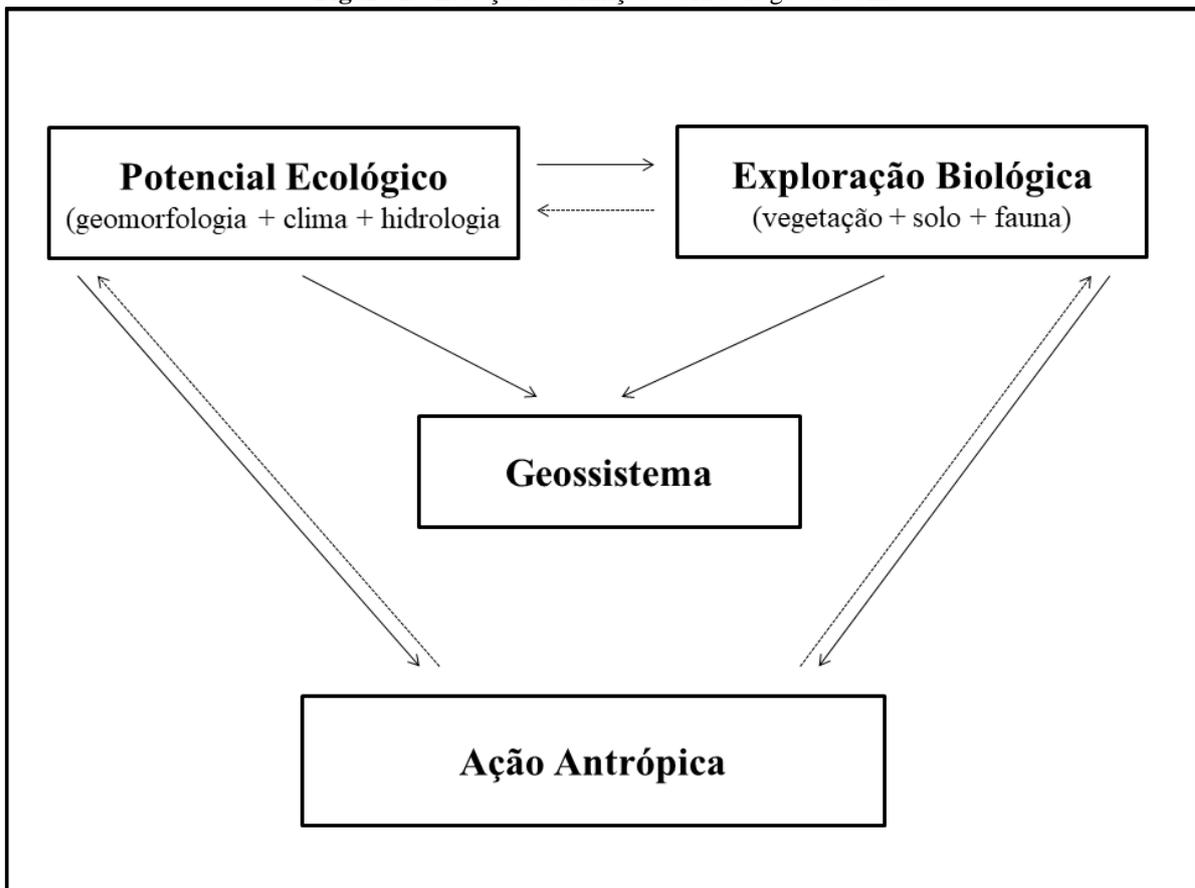
2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 SISTEMAS GEOSISTEMA – TERRITÓRIO – PAISAGEM (GTP)

Ao descrever a síntese da paisagem, Bertrand e Bertrand (2007) afirmam que todas as delimitações geográficas são arbitrárias, contudo, possibilitam observar as paisagens com dominância física sob a condição de fixar seus limites a partir de uma taxonomia. Tal delimitação deve servir como meio de aproximação em relação à realidade geográfica, de modo que os sistemas taxonômicos se classificam em função do espaço.

A análise integrada da paisagem (Figura 1) foi uma contribuição de Bertrand (1972) e é um marco na geografia física, em que o conceito de paisagem não é apenas a soma de elementos, mas o resultado de uma dinâmica de elementos antrópicos, biológicos e físicos, de modo dialético, indissociável e em perpétua evolução num determinado recorte do espaço (BERNARDINO; OLIVEIRA; DINIZ, 2018).

Figura 1 - Esboço da definição teórica de geossistema.



Fonte: Bertrand e Bertrand (2007).

O conhecimento da paisagem deve ser organizado por meio do sistema de classificação das paisagens, propondo uma comparação sistemática entre elas e auxiliando no

mapeamento e na avaliação dos recursos naturais. Bertrand (1972) propõe seis níveis têmporo-espaciais, em que, zona, domínio e região são classificados como unidades superiores, e as unidades inferiores são os geossistemas, geofácies e geótopo. A taxonomia das paisagens são os elementos que constituem a classificação, havendo variação nas dimensões espaciais, critérios definidos e identificados por divisão lógica ou por agrupamento, podendo ser subordinados ou não.

Cavalcanti e Corrêa (2016) trazem a definição de Paisagem (*Landschaft*) de Solnetsev como sendo formada por meio da inter-relação de tratos de área mesorregional (10 a 10² km²), que são conceituados de geossistema, por Bertrand, e macrogeocoros, para Sochava, em que os geossistemas têm uma variação da maior dimensão global ao menor processo de sucessão florestal. A paisagem apresenta estruturas geológicas, morfológicas e hidrológicas, que atuam entre si, formando um mesoclima, uma área geneticamente homogênea.

No modelo GTP, proposto por Bertrand e Bertrand (2007), como afirmam Romeiro e Gontijo (2019), o Geossistema analisa a estrutura e funcionamento biofísico num determinado espaço, o Território relaciona a socioeconomia ao geossistema, e a Paisagem é composta pelo geossistema e o território sendo influenciados pela sociedade.

De acordo com Pissinati e Archela (2009), o meio ambiente responde ao comportamento de construções civis e aos tipos de uso do solo, esses podem ser considerados como elementos dos geossistemas, que engloba o homem tanto como elemento antrópico como biótico, no entanto, a interferência antrópica no meio promove, de forma gradativa, certo grau de instabilidade, em que um elemento condiciona o comportamento dos outros.

Teles e Pimentel (2015) consideram que o GTP propõe uma nova forma de pensar sobre a relação sociedade versus natureza, em que a abordagem ambiental, em diferentes escalas, mostra avanço na discussão sobre o meio ambiente na geografia. A relevância de considerar a escala no estudo da paisagem e em suas unidades de compartimentos na sobreposição dos mapas está em possibilitar uma visão horizontal do que se revela no plano vertical do transecto (DIAS e SANTOS, 2007).

De acordo com Costa, Fontes e Sousa (2012), a partir do GTP, podem ser visualizadas as inter-relações entre natureza e sociedade, de modo que os três elementos do GTP atuam mutuamente entre si e são imprescindíveis no estabelecimento de critérios no planejamento do território e gerenciamento do sistema ambiental.

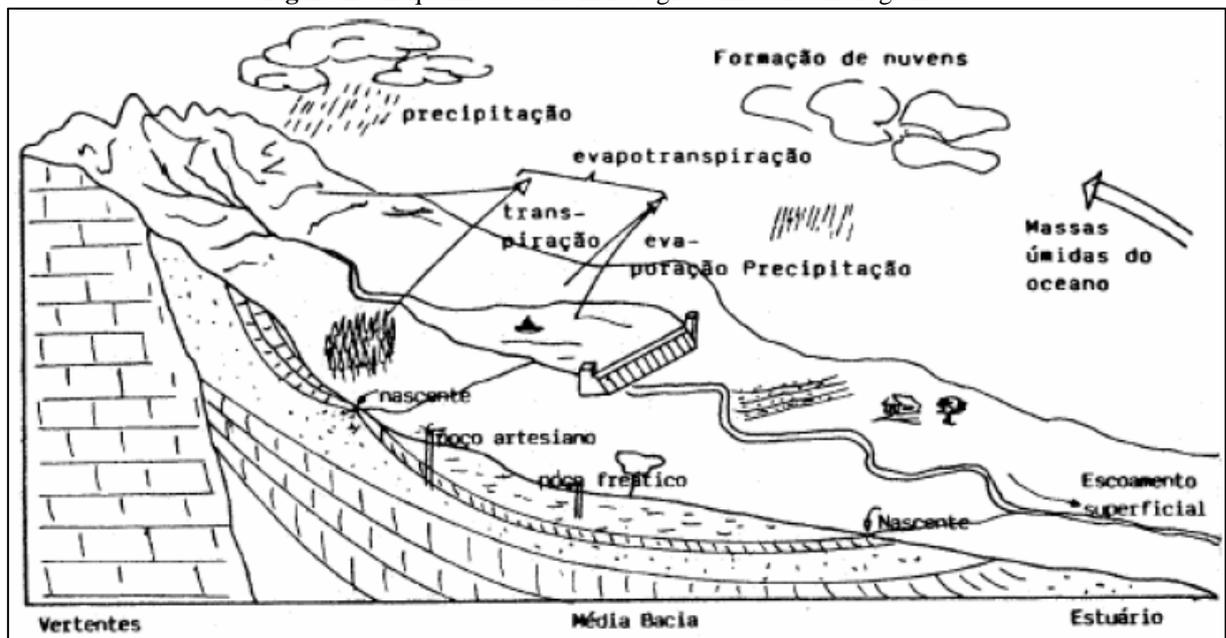
Nem a natureza nem a sociedade são os mesmos que eram, e tudo se transforma de forma permanente. A partir de uma necessidade de mudança de paradigma na geografia, surge o sistema GTP que, de maneira integrada, busca compreender os fenômenos entre sociedade e

natureza, em que, no espaço geográfico, geossistema, território e paisagem coexistem. (SOUZA, 2010)

2.2 BACIAS HIDROGRÁFICAS

Gaspari *et al.* (2013) relatam que a hidrologia estuda a existência, distribuição e características físico-químicas dos recursos hídricos, e essa dinâmica está presente nas bacias hidrográficas, que são consideradas um sistema contínuo e que tem características hidrológicas, ecológica, ambiental e socioeconômica. Desse modo, Lima (2008) apresenta os processos relacionados ao balanço hídrico de uma bacia hidrográfica (Figura 2).

Figura 2 - Esquema do ciclo hidrológico em bacias hidrográficas



Fonte: Lima (2008).

A unidade ecológica é considerada como a principal “unidade” da ecologia da paisagem, que, por sua vez, pode ser compreendida pela organização, distribuição e relações dos ecossistemas com as paisagens. Desse modo, a bacia hidrográfica, ao ser considerada uma unidade de gestão, exige uma abordagem abrangente, tendo como problemática a integração de diversos agentes, com lógicas e raciocínios divergentes, implicando em condução, controle, direção, administração e correlação com processos econômicos, políticos, sociais, culturais e históricos (RODRIGUES; SILVA, 2013).

As bacias hidrográficas, a partir de um conceito integrador, são definidas como um sistema cujo território é formado por uma rede de drenagem que atua nas relações sociais e econômicas (GASPARI *et al.*, 2013).

De acordo com Trombeta e Leal (2016), a análise do ambiente, associada à geocologia das paisagens, apresenta-se como subsídio para o planejamento e gestão ambiental, partindo das unidades da paisagem.

Baseadas na característica sistêmica e nos elementos socioeconômicos, as bacias de drenagem são consideradas unidades que servem para mensurar os indicadores geomorfológicos. (CHISTOFOLLETTI, 1999)

De acordo com Aguirre (2007), a bacia hidrográfica é definida como área de captação que proporciona uma drenagem e descarga por saída única, havendo recursos naturais como solo, água, vegetação e fauna, que favorecem o desenvolvimento das atividades humanas.

O planejamento de uma bacia ultrapassa a percepção da utilização dos recursos naturais (hídricos), em que se torna necessária a observação tanto das potencialidades hídricas, como do turismo, fauna e flora, características geológicas e de produção, além dos impactos provocadas pela ação antrópica (PADILHA, 2008).

2.2.1 Manejo de Bacias hidrográficas

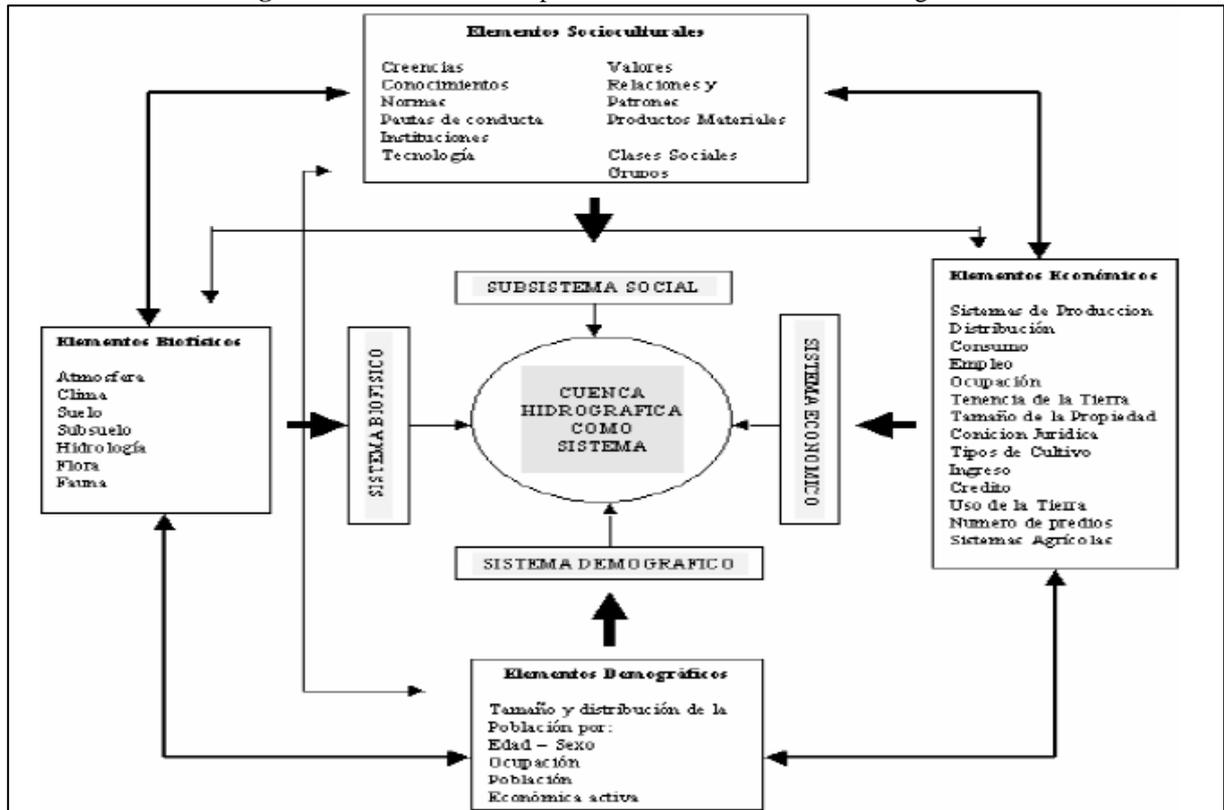
Aguirre (2007) aponta que o manejo de bacias pode variar de acordo com a realidade, função e objetivo, de modo que os tipos mais importantes são: manejo hidrológico florestal de vertentes, agro-hidrológico conservacionista, sistematização hidráulica florestal ou controle de torrentes e o gerenciamento integrado de bacias hidrográficas, importante na identificação dos efeitos de deterioração dos recursos naturais, mitigando os problemas por meio do conhecimento das relações causa-efeito.

O manejo adequado em bacias hidrográficas é fundamental, pois, como afirmam Gaspari *et al.* (2013), proporciona uma série de bens e serviços para a sociedade, e a ausência desse manejo pode desenvolver um mal funcionamento do sistema, produzindo situações como: riscos naturais, inundações, deslizamentos, perda do potencial produtivo, desertificação, erosão, conflitos de uso dos recursos, contaminação, eutrofização e a super exploração dos recursos vegetais, hídricos e pedológicos.

Os principais elementos biofísicos desse sistema, citado por Aguirre (2007), são: fisiografia, que analisa os aspectos topográficos; clima, que aborda características de pressão atmosférica, temperatura e precipitação; o solo, que aponta informações importantes que estão relacionadas às principais atividades desenvolvidas pelo homem; hidrologia, que aborda

características dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos, como também, informações sobre a qualidade e disponibilidade da fauna e flora, que são de vital importância, não apenas para os processos ecológicos de um determinado ecossistema, mas também determina os níveis de proteção hidrológica (Figura 3).

Figura 3 - Subsistemas componentes do sistema da bacia hidrográfica



Fonte: Aguirre (2007).

2.2.2 Políticas ambientais em bacias hidrográficas

A Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), instituída pela Lei nº 9.433/97, cria instrumentos para a gestão, dos quais, o Plano de Recurso Hídrico, Art. 6º, que tem como objetivo fundamental e orientar a implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e o gerenciamento dos recursos hídricos (DICTORO; HANAI, 2015).

A referida lei cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos que tem como objetivo assegurar a disponibilidade de água para presentes e futuras gerações, o uso racional e integrado, prevenção contra secas, enchentes e uso inadequado, assim como o incentivo para a captação e preservação da água (BRASIL, 1997).

De acordo com o Art.7º da Lei nº 9.433, os planos no longo prazo, servem para diagnosticar a atual situação dos recursos hídricos, como também o processo de evolução de atividades produtivas e as alterações nos padrões de ocupação do solo, e os Comitês de Bacias

Hidrográficas atuam de forma integral e são responsáveis na implementação dos instrumentos da PNRH (BRASIL, 1997).

Sobral (2019) traz como medida importante, e que está ligada aos objetivos da agenda 2030, a cobrança pelo uso da água em bacias hidrográficas como sendo uma medida eficiente para evitar a escassez hídrica. Para o modelo de cobrança, os índices de pressão socioambiental e de gestão ambiental municipal são considerados como indicadores bastante úteis.

2.2.3 Objetivos da Agenda 2030 para o desenvolvimento sustentável em bacias hidrográficas

O Objetivo de Desenvolvimento Sustentável (ODS) 6, da Agenda 2030, trata da água potável e saneamento, buscando assegurar a gestão e a disponibilidade, como também o saneamento para todos, por meio de determinadas metas, tais como: alcançar o acesso universal e equitativo; melhorar a qualidade da água, reduzindo a poluição; ampliar o acesso ao saneamento; aumentar a eficiência do uso da água; implementar gestão integrada dos recursos hídricos; e fortalecer a participação das comunidades locais (ONU, 2015).

Machado (2019) define a água como um recurso finito, vulnerável e escasso. Por produzir serviços ambientais, econômicos e sociais, caracteriza-se como um elemento relevante. Por meio do objetivo 6 da Agenda 2030, busca-se gestão sustentável e saneamento para todos, apontando o comitê de bacia hidrográfica como imprescindível na gestão dos recursos hídricos e mediando conflitos entre os interesses de uso dentro da unidade territorial da bacia.

De acordo com o IBGE (2019), por meio de dados produzidos em 2016, cerca de 97,9% da população brasileira têm acesso a água potável. No Nordeste, essa média é um pouco inferior à média nacional, com 94,6%, e no estado do Rio Grande do Norte é de 96,5%. Já a meta que aponta o grau de implementação da gestão dos recursos hídricos no Brasil é de 50,5% e, quanto à cooperação de bacias hidrográficas transfronteiriças, atinge uma área de 72,7%. Sendo assim, das 8 metas, apenas 2 têm dados produzidos, e as demais ainda estão em análise/construção.

O objetivo 15 da Agenda 2030 se volta para alguns aspectos da vida terrestre com finalidade de proteção, recuperação e promoção do uso sustentável dos ecossistemas, combatendo a desertificação e buscando reverter a degradação da terra, além de deter a perda de biodiversidade, promovendo a implementação da gestão sustentável de todos os tipos de florestas, bem como, buscando assegurar a conservação dos ecossistemas de montanha,

incluindo a sua biodiversidade, como também, propondo medidas urgentes para acabar com a caça ilegal e o tráfico de espécies da flora e fauna protegidas (ONU, 2015).

Fontes *et al.* (2018) abordam o ODS 15 e citam as ações de desenvolvimento em projetos pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), que atua na conservação da biodiversidade *in situ*, *ex situ*, conservação de bactérias e de fungos, bem como, no desenvolvimento do controle biológico que atua, usando inimigos naturais, como em sistema de integração de lavoura, pecuária e floresta (ILPF), garantindo uma maior produtividade agrícola.

Em relação ao ODS 15, que trata da vida terrestre, o IBGE (2019) traz dados da meta 15.1.1, que trata da proporção florestal do território nacional, que corresponde a 58% da área total. Já em relação aos índices de cobertura florestal em regiões de montanha, de acordo com meta 15.4.2, correspondem a 97,87%. No Brasil, há a adoção de quadros legislativo, administrativo e políticos que asseguram a partilha justa e equitativa de benefícios equivalentes a meta 15.6.1. As demais metas se encontram em análise/construção, sem dados, e em outras a metodologia não é aplicável.

De acordo com Carvalho e Barcellos (2017), apesar de serem muito abrangentes e considerados ambiciosos, os ODS têm importância e boas intenções, porém o alcance de certos objetivos torna-se difícil, bem como a falta de realismo em certos indicadores, como é o caso da ODS 15, em que, a maior parte das metas foi pra 2020.

2.3 FRAGILIDADE AMBIENTAL

Tricart (1977) aponta a importância do desenvolvimento ecológico, conceitua a ecologia como a inter-relação entre os seres vivos e o meio ambiente, e expõe a capacidade de alteração do meio pelo homem. A dinâmica dos ecótopos, que é chamada pelo autor de ecodinâmica, refere-se à dinâmica do meio ambiente, em que há influência direta na biocenose, ou seja, quanto mais intensa for a ação da ecodinâmica do ambiente, mais esses ambientes estarão suscetíveis às fragilidades ambientais, e a cobertura vegetal atua como agente atenuante dos efeitos da morfodinâmica que é fator limitante dos ecossistemas.

A classificação da intensidade dos processos ocorre em três níveis de morfodinâmica, tais como: estáveis, no qual os processos de dinâmica ocorrem de forma lenta, a pedogênese é predominante e apresenta facilidade no desenvolvimento de cobertura vegetal; para o meio de transição, que é denominado de intergrade, em que os processos de morfogênese e pedogênese atuam de forma simultânea; nos meios fortemente instáveis, no qual a

morfogênese é um fator predominante, com declives acentuados, e a cobertura vegetal é afetada negativamente.

Ross (1994) afirma que a exploração intensa dos recursos naturais provoca uma suscetibilidade da fragilidade dos ambientes naturais. A análise empírica da fragilidade é proposta por Jurandir Ross, baseado nos conceitos de Tricart (1977), considerando as potencialidades e fragilidades dos recursos naturais, que devem ser avaliadas quando se pretende adotar um planejamento territorial. Dessa forma, partindo do conceito de ecologia o ambiente é analisado por meio da Teoria dos Sistemas.

A fragilidade ambiental é o resultado do uso irracional dos recursos naturais e que condiciona a suscetibilidade de alterações no meio ambiente. Seu estudo torna-se uma ferramenta, à medida que possibilita avaliar potencialidades, compatibilizando com características naturais por meio de seu mapeamento, objetivando uma convivência harmônica (SCHIAVO *et al.*, 2016). Tratando das variáveis indicadas por Spröl e Ross (2006), clima, relevo, solo, vegetação e recursos hídricos de forma integrada, possibilitam o diagnóstico da fragilidade nas diferentes categorias de hierarquia.

2.4 MORFOMETRIA

Benatti *et al.* (2015) afirmam que, para avaliar os impactos ambientais provocados numa bacia hidrográfica, faz-se necessário avaliar as características morfométricas, que auxiliam na tomada de decisão de projetos e ações de gerenciamento.

Silva e Furrier (2019) apontam que as características morfométricas e morfológicas estão fortemente correlacionadas com as atividades tectônicas. Para Bertolini, Deodoro e Boettcher (2019), apesar de considerarem que não há forte influência tectônica "ativa" e recente, o fator tectônico não pode ser desconsiderado, porém as condições climáticas atuam mais fortemente nas características de morfodinâmica, que favorecem a uma formação da paisagem a partir da dissecação fluvial.

Os parâmetros físicos morfométricos, de acordo com a proposta de Villela e Matos (1975), Lima (2008) e Pereira *et al.* (2009) descrevem características geométricas como fator de forma (Ff), índice de circularidade (Ic), coeficiente de compacidade (Kc), de relevo, como declividade média (Dm) e de drenagem como a densidade de drenagem (Dd).

De acordo com Pirajá e Rezende Filho (2019), o estudo dos aspectos morfométricos possibilita a análise da rede de drenagem e interpretação das condições hidrológicas como escoamento superficial ou infiltração.

Para Vieira, Torres e Santos (2018), o estudo das características físicas, por meio da análise morfométrica, está relacionado com a deterioração ambiental, especialmente os parâmetros de comprimento de ravinas, densidade de drenagem, índice de circularidade, índice de forma, declividade média da bacia e coeficiente de rugosidade.

Dornellas *et al.* (2020) afirmam que o objetivo da análise e interpretação das características morfométricas é uma maior compreensão da morfodinâmica fluvial na esculturação do relevo da bacia. Conforme afirmam Cabral, Nummer e Bateira (2020), indicadores morfométricos são essenciais no estudo de voçorocas, visto que tal análise proporciona um maior entendimento da dinâmica do relevo e dos processos erosivos.

Trajano *et al.* (2012) apontam que compreender os fatores que atuam na dinâmica das bacias e analisar os parâmetros morfométricos é importante, pois auxilia na tomada de decisão e gestão. Pereira *et al.* (2019) indicam que tais parâmetros permitem um melhor aproveitamento dos recursos naturais, sobretudo os recursos hídricos, de modo que expressam uma relação solo-superfície, considerando as características do relevo, rede de drenagem e os processos ambientais.

Os índices expressam empírica ou fisicamente os aspectos do relevo, possibilitam compreender a dinâmica do escoamento, destacando áreas mais suscetíveis, como também distinguir a duração das enchentes e a velocidade de escoamento (BRUBACHER; OLIVEIRA; GUASSELLI, 2011).

2.5 DIAGNÓSTICO FÍSICO-CONSERVACIONISTA (DFC)

De acordo com Ferretti (2003), o objetivo do DFC é determinar o potencial de degradação ambiental, visto que o estado ambiental da bacia constitui um subsídio básico, fornecendo indicativos para a racionalização do uso e manejo dos recursos.

Soares *et al.* (2014) afirmam que o DFC é um modelo que indica parâmetros expressos em forma numérica, estabelece o potencial de degradação e fornece uma análise qualitativa referente à preservação dos recursos naturais, visto que reflete a realidade dos elementos físicos da paisagem.

Conforme Melo *et al.* (2010), o DFC possibilita identificar aptidões, áreas de conflitos e o nível de degradação, fornece subsídios para o ordenamento territorial e mitigação das áreas em processo de desertificação. Santos e Aquino (2017) afirmam que o DFC, por buscar avaliar o risco de desertificação, constitui metodologia importante, visto que analisa, de forma integrada, a dinâmica da paisagem, objetivando o planejamento territorial.

Araújo Júnior *et al.* (2002) apontam que o DFC, com base no parâmetro ambiental "coeficiente de rugosidade", permite classificar o uso como agricultura e urbanização, pecuária e reflorestamento. De acordo com Baracuhy (2001), ocorrem conflitos quando este parâmetro indica uso contrário ao recomendado, bem como quando aponta práticas de desmatamentos, queimadas, insalubridade e todas as formas de poluição. Tais conflitos são responsáveis pela degradação por meio de erosão e assoreamento.

Baracuhy (2003) afirma que, para avaliar a deterioração ambiental, o diagnóstico físico-conservacionista deve ser a primeira etapa de um planejamento para bacia, sub-bacias ou microbacia hidrográfica.

2.6 SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA

De acordo com Nascimento (2004), o geoprocessamento é caracterizado por meio do uso de técnicas matemáticas e computacionais, para o tratamento de informações geográficas, e tem se tornado essencial para a análise de recursos naturais, planejamento urbano e regional.

Observar de forma integrada o meio físico, por meio dos Sistemas de Informação Geográfica (SIG), tem se tornado uma ferramenta importante no planejamento ambiental, avaliando, integralmente e de forma simplificada, uma grande quantidade de variáveis (DONHA; SOUZA; SUGAMOSTO, 2006). Como cita Morato (2000), variáveis, como geomorfologia, vegetação, geologia e uso do solo, são relacionadas de forma eficiente.

O SIG é uma das principais ferramentas para armazenar, processar e analisar informações, resultando em importantes produtos cartográficos para o estudo ambiental por meio de análises multicritério e/ou álgebras de mapas (FORNAZIEIRO; PANCHER, 2017). O Sistema de Informação Geográfica pode ser dividido, de acordo com Rocha (2006), em dados de entrada, como sistema de posicionamento global; armazenamento, por meio de banco de dados espaciais e de atributos; análise, com operações algébricas; e sistemas de saídas de dados, para exibição cartográfica.

Roldão, Petrucci e Castro (2017) afirmam que o geoprocessamento tornou possível a aquisição de dados sem a necessidade de contato direto com o objeto, possibilitando a delimitação e classificação de feições de uso e ocupação do solo em bacias hidrográficas. De acordo com Corseuil *et al.* (2009), o Sistema de Informação Geográfica é eficiente para determinar classes de aptidão agrícola em microbacias, visto que o uso de técnicas de geoprocessamento facilita e agiliza o cruzamento de dados.

Valladares *et al.* (2012) indicam que a geração e tratamento de mapas de suscetibilidade à erosão, em ambiente de informação geográfica, possibilita sua aplicação nos planejamentos agrícolas, uma vez que o uso de informações geográficas favorece o diagnóstico e caracterização dos territórios.

Como afirmam Barbosa e Valdevino (2017), a geração de produtos cartográficos é fundamental tanto para análise geográfica como também no planejamento ambiental, visto que fornece características espaciais, que são fundamentais no estudo do meio ambiente e seu uso racional. Desse modo, Campos *et al.* (2015) afirmam que a utilização de sistemas de informação geográfica proporciona maior eficiência na tomada de decisão sobre o processo de indicação do uso das terras, padronizando e integrando dados de origem diversa e proporcionando uma avaliação conjunta

2.6.1 Sensoriamento Remoto

As técnicas de sensoriamento remoto são fundamentais tanto para o monitoramento, como para a extração de informação de uso e cobertura da terra que, devido seu rápido desenvolvimento, necessita cada vez mais de tais ferramentas com altas resoluções temporais e espaciais.

Crepani *et al.* (1996) afirmam que a aplicação de sensoriamento remoto tem como objetivo a exploração do potencial das informações obtidas por meio das imagens de satélite, sendo necessário o conhecimento especializado do operador na interpretação, pois o cruzamento de informações em ambiente SIG possibilita a geração de novas informações de inestimável importância, possibilitando um melhor e mais completo entendimento sobre o meio ambiente numa visão holística. No mesmo sentido, Sousa, Falcão e Costa (2017) complementam afirmando que a manipulação de dados, aplicando recursos de contrastes, classificação e função de análise espaciais, com uso de *softwares* de processamento digital de imagem com o uso de produtos orbitais, permite reconhecer classes mapeadas e cruzar planos de informações que geram novos dados.

De acordo com Sousa, Falcão e Costa (2017), a obtenção de imagens, em faixas espectrais distintas e aspectos temporais e espaciais adequados, para o estudo do uso do solo, torna-se possível com o avanço da tecnologia espacial, disponibilizando satélites com sensores imageadores da superfície terrestre, que contribuem para a gestão do espaço geográfico.

A plataforma *Landsat* apresenta relevância no sensoriamento remoto global por satélite, o que possibilita a coleta e análise das interações humanas com os ecossistemas

terrestres, mantendo, como objetivo central, a continuidade das observações para os dados do *Landsat 8* (ROY *et al.*, 2014).

Ainda de acordo com Roy *et al.* (2014), o *Landsat 8* mantém uma carga útil de dois sensores, a saber: *Operational Land Imager* (OLI) e o *Thermal Infrared Sensor* (TIRS) (TABELA 1).

Tabela 1 - Bandas do *Landsat 8 Operational Land Imager* e do *Thermal Infrared Sensor*

Descrição da banda (resolução nativa de 30 m, salvo indicação em contrário)	Comprimento de onda (µm)
Banda 1 - azul	0,43-0,45
Banda 2 - azul	0,45-0,51
Banda 3 - verde	0,53-0,59
Banda 4 - vermelha	0,64-0,67
Banda 5 - infravermelho próximo	0,85-0,88
Banda 6 - infravermelho de ondas curtas	1,57-1,65
Banda 7 - infravermelho de ondas curtas	2,11-2,29
Banda 8 - pancromática (15 m)	0,50-0,68
Banda 9 - cirrus	1,36-1,38
Banda 10 - infravermelho térmico (100 m)	10,60-11,19
Banda 11 - infravermelho térmico (100 m)	11,50-12,51

Fonte: Roy *et al.* (2014).

Com relação ao processamento das imagens de satélites, Vale, Costa e Santos (2018) afirmam que o processo de classificação supervisionada exige que o operador defina classes para o treinamento, porém o analista tem maior controle sobre o processo, como por exemplo, pré-definir classes e identificar possíveis imprecisões graves, pela análise das áreas de treinamento. Os principais algoritmos para a classificação supervisionada são: Máxima Verossimilhança, Distância Mínima, Método Paralelepípedo, Distância *Mahalanobis*, Distância de *Bhattacharya* e Método *Spectral Angle Mapper*.

Vale, Costa e Santos (2018) descrevem o método da distância mínima como um algoritmo que calcula a distância espectral entre o vetor de medida para o *pixel* candidato e a média para cada assinatura de classe. O método se utiliza da medida de distância Euclidiana. Cada *pixel* será incorporado a um agrupamento por meio da análise da medida de similaridade de distância Euclidiana, que é dada na equação 1, onde x_i é *pixel* candidato; m_i é a média das classes; e n é o número de bandas:

$$D(x, n) = \sqrt{(x_i - m_i)^2} \quad (1)$$

De acordo com Gasparini *et al.* (2013), a classificação supervisionada por mínima distância toma como referência um ponto no espaço, definido pela média estatística na banda espectral para cada classe, de modo que o algoritmo associa cada *pixel* desconhecido à classe da média mais próxima.

O índice *Kappa* é uma das principais técnicas utilizadas para avaliar a precisão da imagem produzida na classificação supervisionada, analisando a concordância entre a verdade terrestre e o mapa. A grande vantagem do uso da estatística *Kappa* é que, no cálculo do coeficiente *Kappa*, incluem-se todos os elementos da matriz de erro. A equação 2 expressa a estatística *Kappa* que varia de 0 a 1 (GASPARINI *et al.*, 2013), em que: K= índice de exatidão *Kappa*; r = número de linhas da matriz; X_{ii} = número de observações na linha i e coluna i; X_{i+} e X_{+i} = totais marginais da linha i e coluna i, respectivamente; N = número total de observações.

$$K = \frac{N \sum_{i=1}^r X_{ii} - \sum_{i=1}^r (X_{i+} * X_{+i})}{N^2 - \sum_{i=1}^r (X_{i+} * X_{+i})} \quad (1)$$

Avaliar a precisão de mapas e informações de satélites é fundamental, desse modo, Bolfe *et al.* (2004) afirmam que o índice *Kappa* se mostra eficiente, por envolver no resultado final todas as células da matriz erro, permitindo analisar confusões ocorridas entre as classes temáticas.

3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

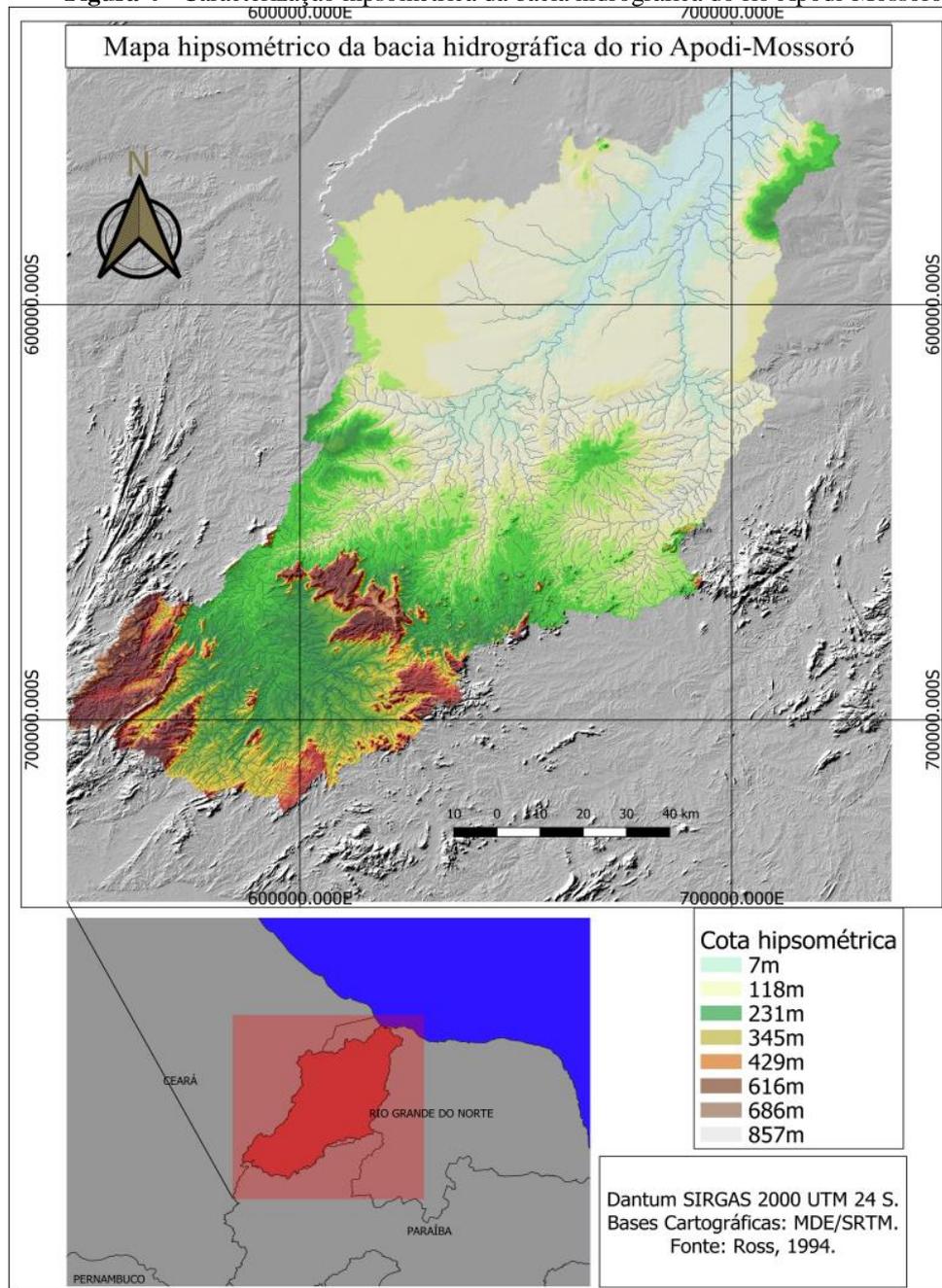
A bacia hidrográfica do rio Apodi-Mossoró, localizada na região Oeste Potiguar do estado do Rio Grande do Norte, ocupa uma área de 14.276 km², nos quais se inserem 52 municípios. Conforme Oliveira e Queiroz (2008), o rio tem sua nascente no município de Luiz Gomes (RN), na serra de São José, e a sua foz nos municípios de Areia Branca (RN) e Grossos (RN), e, da nascente a foz, faz um percurso de aproximadamente 150 km. A rede de drenagem da bacia tem um padrão dendrítico e seus afluentes têm predominância intermitente.

Quanto aos aspectos geológicos e geomorfológicos, a bacia hidrográfica Apodi-Mossoró divide-se em dois principais ambientes que, de acordo com Maia e Bezerra (2012), tratam-se do embasamento cristalino do período Pré-Cambriano, na porção superior da área de estudo, e formação sedimentar do período Mesozoico, Tercio-Quaternário e Quaternário, na área médio e inferior da área de estudo, em que, como apontam Diniz *et al.* (2017), a Bacia Potiguar se desenvolveu a partir do Cretáceo Inferior com a abertura do *Rift* Potiguar.

Também de acordo com Maia e Bezerra (2012), observa-se, na bacia, a predominância de maciços residuais decorrentes do aplainamento da depressão sertaneja, na porção superior da bacia, já na parte inferior da bacia, predomina a chapada do Apodi, tabuleiro costeiro e planícies fluviais e flúvio-marinho (Figura 4).

De acordo com Jacomine *et al.* (1971), a Bacia Sedimentar é composta pelo Arenito Açu e Calcário Jandaíra, que fazem parte do Grupo Apodi e desenvolveram-se no período Cretáceo, e pela formação Barreiras, formada logo após, no período Terciário.

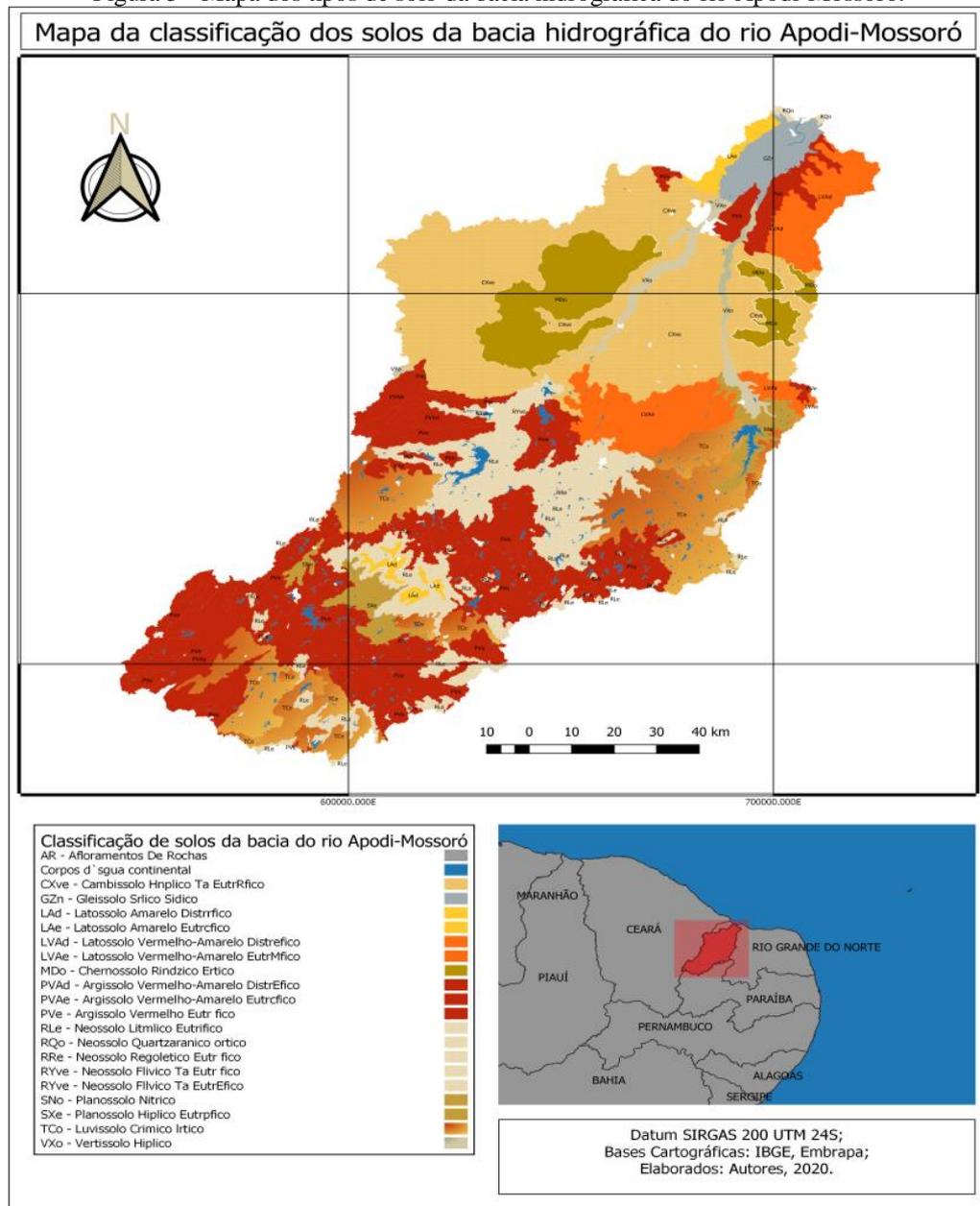
Figura 4 - Caracterização hipsométrica da bacia hidrográfica do rio Apodi-Mossoró.



Fonte: Elaborado pelos autores com base em ANA (2018).

Quanto aos tipos de solos da bacia, coletados na base de dados do IBGE/Embrapa (2001), numa escala de 1:250.000 (Figura 5), as classes predominantes são: argissolos, com pouco mais de 28,6%; cambissolos, com 22,9%; luvisolos, com 13,6%; neossolo, com 12,8%. Há também a ocorrência de gleissolos, que são formados por meio de processos de inundação. Os vertissolos e neossolos são espacializados na foz, ao longo dos principais afluentes e na porção central da bacia respectivamente.

Figura 5 - Mapa dos tipos de solo da bacia hidrográfica do rio Apodi-Mossoró.



Fonte: Elaborado pelos autores com base em IBGE/Embrapa (2001).

Há dois tipos de predominância climática, de acordo com a classificação de Koppen são eles: BSh', caracterizado por ser quente e semiárido, em que se encontram formações florestais de caatinga hipoxerófila e hiperxerófila; e Aw', clima tropical chuvoso com verão seco. De modo que a média de precipitação pluviométrica varia de 600mm no entorno da foz e região leste, enquanto que na região de Martins, pode chegar a 1100mm ao ano. (ALVARES *et al.*, 2014). Eventualmente, em condições favoráveis de brisa marítima (ondas de leste), verificam-se eventos de precipitação nos meses de maio e junho. Os Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCAN's), esporadicamente, contribuem com eventos pluviométricos, uma vez que no inverno, ele fica mais afastado do Nordeste, no oceano

Atlântico, enquanto que no verão, ele se move em direção ao continente, já a partir do mês de dezembro (REBOITA *et al.* 2017).

Rocha *et al.* (2009) afirmam que, na bacia hidrográfica, predomina vegetação típica da caatinga, cuja divisão é feita com base em suas características florestal e não florestal. O que Grigio (2003) vai descrever como Caatinga arbórea arbustiva fechada, Caatinga arbustiva fechada, Caatinga arbustiva aberta, que, em síntese são distinguidas com base na sua densidade e porte. Além da vegetação típica da caatinga, a bacia hidrográfica também apresenta menor proporção de vegetações típicas de manguezais e vegetação de dunas.

Figura 6 - Principais reservatórios de armazenamento de água

AÇUDE	MUNICÍPIO	VOLUME (m³)
Apanha-Peixe	Caraúbas	10.000.000
Bonito II	São Miguel	10.865.000
Do Brejo	Olho d'água dos Borges	17.000.000
Lucrécia	Lucrécia	27.270.000
Marcelino Vieira	Marcelino Vieira	11.200.000
Pau dos Ferros	Pau dos Ferros	54.846.000
Rodeador	Umarizal	17.000.000
Santa Cruz do Apodi	Apodi	560.000.000
Santo Antonio das Caraúbas	Caraúbas	11.110.000
Umari	Upanema	184.594.000

Fonte: SEMARH (1998)

De acordo com Carvalho (2011), na porção do cristalino da bacia, devido os solos serem rasos, predomina o escoamento superficial e a escassez de águas subterrâneas. A construção de barragens é uma medida importante para o processo de perenização dos rios, que tem, como características naturais, serem intermitentes, garantindo abastecimento hídrico nos períodos de estiagem. A Figura 6 apresenta os principais reservatórios da bacia hidrográfica do rio Apodi-Mossoró.

4 PRIMEIRO ARTIGO

Morfometria e Diagnóstico Físico-Conservacionista (DFC) em 19 sub-bacias da bacia hidrográfica Apodi-Mossoró

MORFOMETRIA E DIAGNÓSTICO FÍSICO-CONSERVACIONISTA (DFC) EM 19 SUB-BACIAS DA BACIA HIDROGRÁFICA APODI MOSSORÓ.

RESUMO

A bacia hidrográfica do rio Apodi-Mossoró, inserida na mesorregião oeste do estado do Rio Grande do Norte, ocupa uma área de 14.276 km² e seu desenvolvimento econômico é baseado na exploração de recursos naturais. Desse modo, é uma importante unidade de planejamento ambiental, a qual exige informações sobre características morfométricas e sua aptidão de uso e cobertura da terra, para identificar a intensidade da deterioração do sistema ambiental. Nessa identificação foram utilizados dados da drenagem, focos de incêndios, modelo digital de elevação e imagens de satélite do *Landsat 8 - OLI*. Os parâmetros morfométricos utilizados foram: fator de forma (Ff), índice de circularidade (Ic), coeficiente de compacidade (Kc), densidade de drenagem (Dd), declividade média (Dm) e coeficiente de rugosidade (RN). Com a aplicação do diagnóstico físico-conservacionista, foi possível quantificar e analisar o grau de deterioração da área estudada, que foi de 27,77%, e apesar de ser considerado alto, as sub-bacias 1 e 2 apresentaram um elevado grau de deterioração com 90% e 83% respectivamente. Isso mostra a importância do estudo e possibilita uma visão detalhada das áreas prioritárias. Por conseguinte, a aplicação de técnicas de geoprocessamento configura-se uma etapa fundamental na gestão de sistemas ambientais.

Palavras-chave: Sistema Ambiental. Aptidão Agrícola. Deterioração. Sistemas de Informação Geográfica.

CONSERVATIONIST PHYSICAL MORPHOMETRY AND DIAGNOSIS (DFC) IN 19 HYDROGRAPHIC BASIN SUB-BASINS APODI MOSSORÓ.

ABSTRACT

The hydrographic basin of the Apodi-Mossoró river, inserted in western mesoregion of the state of Rio Grande do Norte, occupies an area of 14,276 km² its economic development is based on the exploitation of natural resources. Thus, is an important environmental planning unit, which requires information on morphometric characteristics, its suitability for use and land cover, to identify the intensity of the deterioration of the environmental system. Were used, drainage data, fire outbreaks, digital elevation model and satellite images from *Landsat 8 - OLI*. The morphometric parameters used: form factor (Ff), circularity index (Ic), compactness coefficient (Kc), drainage density (Dd), average slope (Dm) and roughness coefficient (RN). With the application of the conservationist physical diagnosis, was possible to quantify and analyze the degree of deterioration of the studied area, which was 27.77% and despite being considered high, sub-basins 1 and 2 showed a high degree of deterioration with 90% and 83% respectively. This shows importance of study and provides a detailed view of the priority areas. Therefore, the application of geoprocessing techniques is a fundamental step in the management of environmental systems.

Keywords: Environmental System. Agricultural Aptitude. Deterioration. Geographic Information Systems.

4.1 INTRODUÇÃO

O processo de degradação em bacias hidrográficas se dá por diversos fatores difusos, como desmatamento, poluição dos corpos hídricos e erosão. Desse modo, o manejo de bacias hidrográficas e o planejamento são fundamentais, tendo em vista que seu objetivo é minimizar a degradação e aumentar a conscientização da importância de se proteger os mais diversos recursos naturais, hídricos, florestais e pedológicos.

De acordo com Carvalho, Brumatti e Dias (2012), a água é um recurso natural fundamental para o desenvolvimento social, econômico e ambiental, porém o desenvolvimento da sociedade contribui para a degradação do meio ambiente e, em especial, os recursos hídricos, devido à falta de planejamento e ao uso de procedimentos inadequados na obtenção dos recursos naturais, o que conduz, por exemplo, às perdas de produtividade.

Pela caracterização dos meios físico, biótico e socioeconômico, Corseuil *et al.* (2009) afirmam que, aplicar critérios ambientais, como áreas com necessidade de proteção, zoneamento ambiental ou aptidão agrícola do solo, em uma determinada área, possibilita o uso racional dos seus recursos naturais. De acordo com Aparecido *et al.* (2016), o manejo de bacias hidrográficas, a partir da conservação de matas nativas, como também, a aplicação de práticas conservacionistas de uso da terra, têm como objetivo o incremento da disponibilidade e qualidade dos recursos hídricos.

Srinivasan, Santos e Galvão (2003) mostram a importância da cobertura florestal em comparação com área desmatada, visto que há uma diferença significativa quanto à produção de escoamento superficial em área desmatada e o potencial de interceptação em diferentes níveis de precipitação em área de caatinga. Como também afirmam Freitas *et al.* (2008), a densidade de cobertura no solo é fundamental para a prevenção de perda de solo.

A bacia hidrográfica, ao ser considerada como uma unidade de gestão, exige uma abordagem abrangente, tendo como problemática a integração de diversos agentes com lógicas e raciocínios divergentes, implicando em condução, controle, direção e administração, correlacionando com os processos econômicos, políticos, sociais, culturais e históricos (RODRIGUES; SILVA, 2013).

Para melhor compreensão do comportamento hidrológico em uma bacia hidrográfica, é fundamental a análise das características físicas dessa, como a área de drenagem, que consiste no elemento básico e que deriva as demais características. Já a forma da bacia está relacionada com o tempo de contribuição ou deflúvio, enquanto a drenagem permite analisar as ramificações dos rios e seus tributários, que indicam a velocidade com que deixa a bacia. O relevo pode influenciar tanto na velocidade da drenagem como nos aspectos de precipitação

devido à declividade ou altimetria, tornando-se fator fundamental nas análises em bacias hidrográficas (VILLELA; MATOS, 1975).

Para a compreensão e análise desses fatores temos os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) como uma das principais ferramentas para armazenar, processar e analisar informações resultando em importantes produtos cartográficos para o estudo ambiental, por meio de análises de características de relevo, drenagem, cobertura vegetal e uso da terra em mapas temáticos (FORNAZIEIRO; PANCHER, 2017). A espacialização do meio físico por meio do SIG, como afirmam Valladares *et al.* (2012), facilita a geração de modelos que auxiliam nas decisões de planejamento ambiental, por meio da caracterização dos diversos ambientes e do diagnóstico ambiental.

Assim, o SIG se torna fundamental na divisão de bacias hidrográficas por meio do método denominado “ottocodificação”, desenvolvido por Otto Pfafstetter, que é baseado nos seus divisores topográficos, diferentes níveis de hierarquia fluvial, direção da drenagem e é dividido em dez algarismos. As quatro maiores bacias, de jusante para montante do rio principal, apresentam valores pares, 2, 4, 6 e 8. Os tributários do rio principal são denominados de inter-bacias, representados pelos valores ímpares, 1, 3, 5, 7 e 9. O atributo 0 representa a maior bacia fechada (GALVÃO; MENESES, 2005).

A bacia do rio Apodi-Mossoró apresenta destaque estadual, tanto em atividades de exploração de petróleo e produção salineira na planície flúvio-marinha, como, em fruticultura irrigada. Porém, essas potencialidades aceleram os problemas como a degradação ambiental, na falta de uma gestão eficiente. Sendo assim, a necessidade de observar a dinâmica do sistema ambiental em cada sub-bacia é justificada por apresentarem características e mecanismos que atuam de forma independente.

Desse modo, a pesquisa busca, por meio das características morfométricas e do coeficiente de rugosidade em 19 sub-bacias hidrográficas, identificar áreas que apresentem suscetibilidade a degradação nesse sistema ambiental.

4.2 MATERIAIS E MÉTODOS

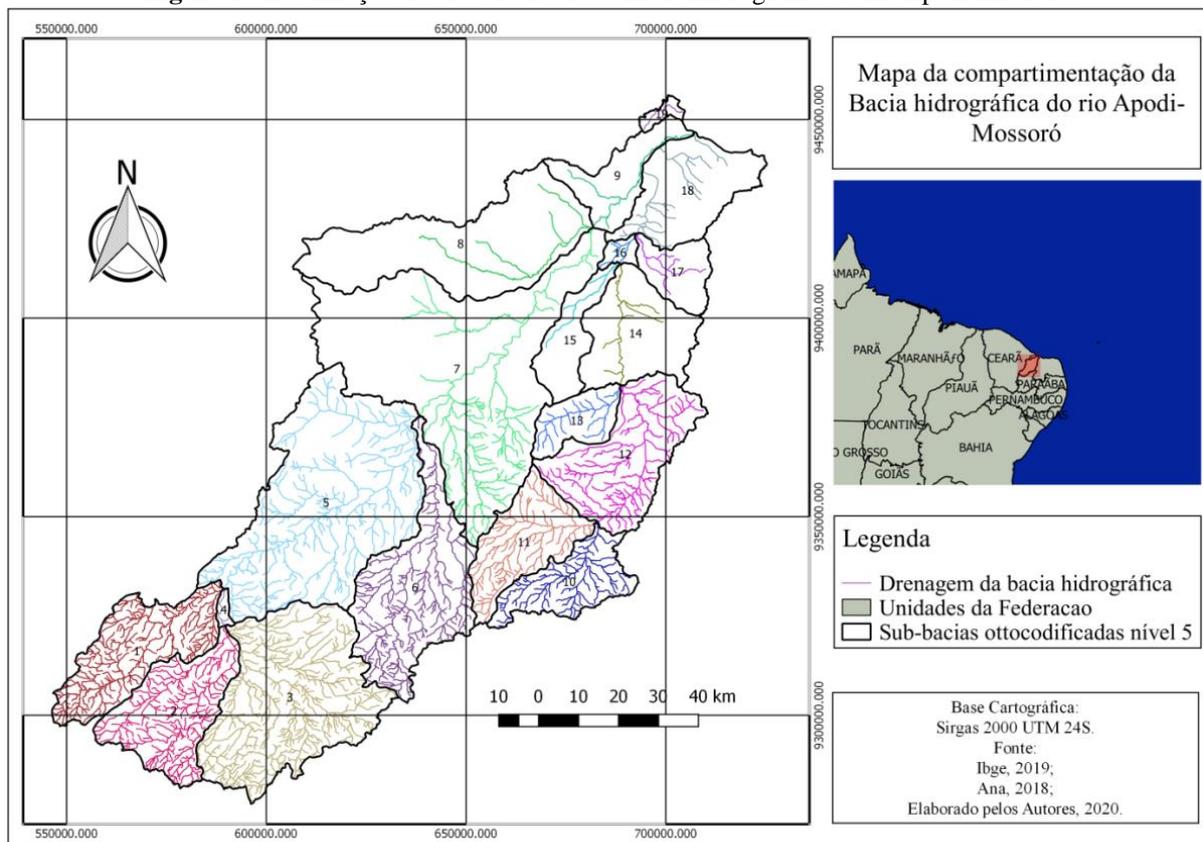
4.2.1 Localização e Caracterização da Área de Estudo

A bacia hidrográfica do rio Apodi-Mossoró é classificada no nível 03 e dividida em 19 sub-bacias, as quais estão classificadas no nível 05 de ottocodificação. As bacias de nível 05, de acordo com Galvão e Meneses (2005), possuem um tamanho médio de 6.200km² e são consideradas como excelentes unidades de área para fins de planejamento e gestão dos recursos hídricos.

Localizada na região Oeste Potiguar do estado do Rio Grande do Norte, e ocupando uma área de 14.276 km², na qual se inserem 52 municípios, o rio tem sua nascente no município Luiz Gomes (RN), na serra de São José, e a sua foz nos municípios de Areia Branca (RN) e Grossos (RN). Da nascente à foz, faz um percurso de aproximadamente 150 km (OLIVEIRA; QUEIROZ, 2008).

A rede de drenagem das sub-bacias, localizadas na porção superior, predomina o padrão dendrítico, típica de regiões que apresentam rocha resistente, sobretudo na porção do cristalino. As sub-bacias localizadas na porção inferior de característica geológica sedimentar apresentam um padrão de treliça. O canal principal aparenta um direcionamento dominante NE-SW, com variações dos afluentes entre E-W e NW-SE (Figura 7).

Figura 7 - Localização das 19 Sub Bacias e Bacia Hidrográfica do rio Apodi-Mossoró.



Fonte: Elaborado pelos autores com base em ANA (2018); INPE (2019).

Quanto aos aspectos geológicos e geomorfológicos, a bacia hidrográfica Apodi-Mossoró se divide em dois principais ambientes, trata-se do embasamento cristalino do período Pré-Cambriano, na porção superior da área de estudo, e formação sedimentar do período Mesozoico, Tercio-Quaternário e Quaternário, na área médio e inferior (MAIA; BEZERRA, 2012). A Bacia Potiguar se desenvolveu a partir do Cretáceo Inferior com a abertura do *Rift* Potiguar (DINIZ *et al.*, 2017).

Observa-se na bacia a predominância de maciços residuais decorrentes do aplainamento da depressão sertaneja, na porção superior, já na parte inferior, predomina a chapada do Apodi, tabuleiro costeiro e planícies fluviais e flúvio-marinho (MAIA; BEZERRA, 2012).

4.2.2 Materiais Utilizados

Para a realização do referido trabalho, foram utilizados dados do Modelo Digital de Elevação (MDE) do projeto Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) por meio das cenas: S05 W37,W38,W39 1arc; S06 W37,38,39 1arc; S07, W37,38,39, 1arc; no formato TIFF, e adquiridos por meio do site do United States Geological Survey - Serviço Geológico dos Estados Unidos – (USGS), bem como das imagens do satélite *Landsat* 8 sensor OLI, com as bandas 6(MIR); 5(NIR); 4(R), das cenas no ponto/orbita 216/63 e 216/64. O uso do MDE se torna importante para a delimitação da bacia e para a caracterização do relevo. Já as imagens de satélites foram utilizadas para a classificação de uso da terra. A área que corresponde às sub-bacias foram divididas com base na ottocodificação de nível 5, e a drenagem utilizada foi disponibilizada pelo site da Agência Nacional de Águas (ANA). Também foram utilizados, para a caracterização do uso da terra, a malha de pontos no formato *Shapefile*, com os focos de incêndios referentes ao ano de 2019, disponibilizado no Banco de Dados de Queimadas do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe). Todos os dados foram processados em ambiente SIG utilizando-se do *software* QGis 2.18 *Las Palmas* e GRASS 7.4.

4.2.3 Delimitação da Bacia Hidrográfica

O processamento do MDE consiste na primeira etapa, em que os procedimentos foram iniciados com a correção de dados nulos do arquivo, por meio do algoritmo *r.fillnulls* disponibilizado no complemento Grass do QGis, que consiste num conjunto de dados preenchidos usando o método de interpolação *Spline* Regularizado com Tensão (RST) (MITASOVA; MITAS, 1993). Essa técnica possibilita um mapeamento adequado dos aspectos topográficos. Na sequência, a segunda etapa consiste na delimitação e análise da bacia hidrográfica, em que foi implementado por meio do módulo *r.watershed*, disponibilizado no GRASS GIS (NETELER; MITASOVA, 2008).

4.2.4 Parâmetros Morfométricos

Os parâmetros físicos, calculados para descrição morfométrica (Tabela 2), foram utilizados de acordo com a proposta de Villela e Matos (1975), Lima (2008) e Pereira *et al.* (2019). Foram empregadas as seguintes características geométricas: fator de forma (Ff), índice de circularidade (Ic), coeficiente de compacidade (Kc). Como característica de relevo, a declividade média (Dm). E para descrever as características da drenagem foi calculada a densidade de drenagem (Dd).

Tabela 2 - Índices morfométricos adotados.

Índice	Definição	Equação descritiva		Classificação
Fator de Forma (Ff)	Relaciona a sub-bacia a um retângulo, quanto menor for o valor dessa forma, menor será a suscetibilidade a enchentes.	$Ff = \frac{A}{(L)^2}$	A é a área em km ² e L é o comprimento do eixo longitudinal da bacia, ou seja, da foz até o limite da montante.	<0,50 - Não sujeita a enchentes 0,50 a 0,75 - Tendência mediana a enchentes 0,75 a 1,00 - Sujeita a enchentes
Índice de Circularidade (Ic)	Quanto mais próximo de 1, indica uma tendência circular.	$Ic = \frac{12,57 \cdot A}{P^2}$	Ic é o índice de circularidade, onde A é a área da bacia em km ² ; P é o perímetro expresso em km.	-
Coeficiente de compacidade (Kc)	Quanto mais próximo for seu valor de 1, aponta para a possibilidade de a sub-bacia apresentar um formato achatado	$Kc = 0,26 \cdot \frac{P}{\sqrt{A}}$	Kc representa o coeficiente de compacidade, onde P representa o perímetro em km; e A equivale a área em km ² .	1,00 – 1,25- Alta propensão a grandes enchentes 1,25 – 1,50- Mediana a grandes enchentes >1,50- Não sujeita a grandes enchentes
Declividade média (Dm)	Influencia, de forma direta, a eventos hidrológicos, como, picos de enchentes e infiltração, que resultam em processos erosivos	$Dm = \frac{D \cdot L}{A} \times 100$	Dm é a declividade média em porcentagem, onde D é a distância entre as curvas de nível; L é o comprimento total das curvas de nível; e A representa a área da bacia	-
Densidade de Drenagem (Dd)	É influenciada por diversos fatores como: o tipo de solo, a geologia e a declividade do terreno	$Dd = \frac{\sum RCT}{A}$	Dd= densidade de drenagem, onde $\sum RCT$ é o somatório, canais e tributários; e A é a área da bacia.	< 0,5- Baixa 0,5 e 2,0- Mediana 2,01-3,5- Alta >3,50- Muito alta

Fonte: Adaptado de Villela e Matos (1975); Lima (2008); Pereira *et al.* (2009).

4.2.5 Processamento e Classificação de Uso e Cobertura da Terra e Quantificação de Áreas Queimadas

O tratamento das imagens foi iniciado com a reprojeção das imagens para o *Datum* SIRGAS2000 (Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas), Fuso UTM 24S. Feito isso, as cenas foram unidas em mosaico e recortadas com a máscara da bacia e das sub-bacias

estudadas. A classificação de uso foi feita de forma supervisionada, pelo método *Minimum Distance*, coletando amostras para o treinamento do algoritmo, quantidade superior a 100 *pixels* de cada classe, para conferir uma maior representatividade a cada tipologia.

Tais classificações foram baseadas nas tipologias do manual técnico da terra do IBGE (2013), divididas em 5 classes de uso: área florestal, savana estépica florestada; área campestre, savana estépica arborizada; áreas agrícolas; áreas urbanizadas; e água continental.

Por meio dos focos de incêndios disponibilizados pelo Inpe foram quantificadas as áreas de queimadas nas intensidades de média, alta e muito alta, aplicando o mapa de densidade Kernel que de acordo com Oliveira e Oliveira (2017) é obtida a partir da equação 3, onde: K = função de kernel; h = raio de busca; x = posição do centro de cada célula do raster de saída; X_i = posição do ponto i proveniente do centroide de cada polígono; e n = número total de focos de calor:

$$f_h(x) = \frac{1}{nh} \sum_{i=1}^n K\left(\frac{x-X_i}{h}\right) \quad (2)$$

4.2.6 Diagnóstico Físico-Conservacionista

O diagnóstico físico-conservacionista determina as áreas de conflitos de uso, por meio do coeficiente de rugosidade (equação 4), que é o parâmetro responsável pelo direcionamento da aptidão de uso da terra e práticas de queimadas; o percentual de degradação, que é representado pela soma dos conflitos e área a florestar; e as áreas a florestar, a partir das características de declividade em que, se apresentar até 15%, faz-se necessário que tenha, pelo menos, 25% de cobertura florestal, e se a declividade média for maior que 15%, o florestamento será de, pelo menos, 50% (ROCHA, 1997; BARACUHY, 2001). Na equação 4, Rn representa o coeficiente de rugosidade; Dm a declividade média; e Dd a densidade de drenagem.

$$\mathbf{Rn = Dm \times Dd} \quad (3)$$

A partir dos valores do coeficiente de rugosidade (Rn), calcula-se a amplitude e o intervalo de 4 classes de aptidão de uso da terra na qual, a amplitude é igual ao Rn maior – Rn menor e o intervalo é o resultado da amplitude dividido por 4. O cálculo do intervalo, aponta quatro classes de aptidão de uso da terra (Tabela 3) proposta por Rocha (1997).

Tabela 3 - Classes de aptidão de uso da terra

Tipos de Classe de RN	Indicação de uso
A	Agricultura/Urbanização
B	Pastagem
C	Pastagem/Floresta
D	Floresta

Fonte: Rocha (1997).

A partir dos percentuais de cada parâmetro utilizados para o DFC, foram aplicados valores ponderados para o cálculo da equação da reta, adaptado de Baracuhy (2003), cujos valores variam de 1, para o mínimo, até 10, para o máximo. O parâmetro de cobertura florestal atua na ordem inversa (Tabela 4).

Tabela 4 - Códigos e critérios de estratificação para o diagnóstico físico conservacionista.

Alternativas (%)	Valor ponderado / Conflitos, Área a florestar, Deterioração.	Valor ponderado / Cobertura florestal
0-10	1	10
11-20	2	9
21-30	3	8
31-40	4	7
41-50	5	6
51-60	6	5
61-70	7	4
71-80	8	3
81-90	9	2
91-100	10	1

Fonte: Baracuhy, 2003.

4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.3.1 Aspectos da Morfometria das Sub-Bacias Hidrográficas

De acordo com a análise dos resultados, apresenta os dados morfométricos respectivos das 19 sub-bacias delimitadas na bacia hidrográfica do rio Apodi-Mossoró (Figura 8).

A sub-bacia 08 apresenta o menor valor, respectivo à densidade de drenagem, inferior a 0,5; já a sub-bacia 01 apresenta o maior valor, respectivo à drenagem, e é caracterizado como intensidade mediana com valor de 0,9.

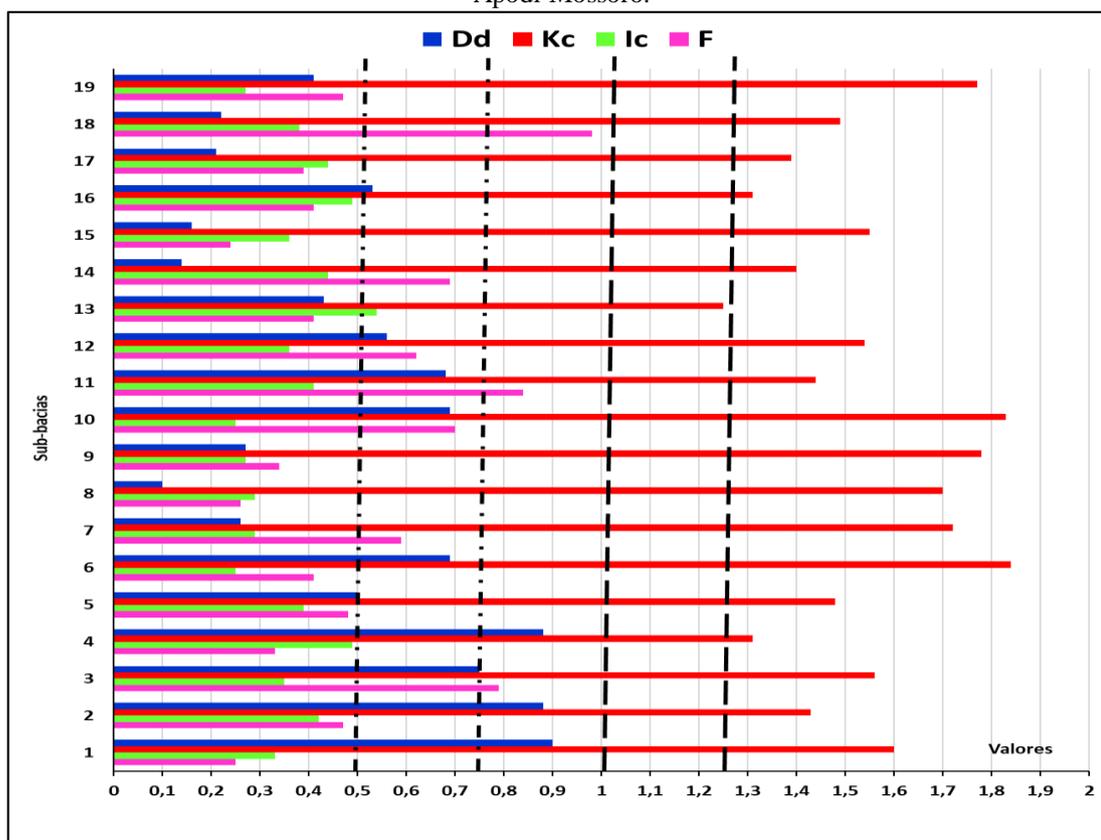
A sub-bacia 08, localizada na chapada do Apodi, é responsável pela recarga dos aquíferos Jandaíra e Açú, e indica, por meio da densidade de drenagem, características de relevo, predominantemente, plano e alta permeabilidade, aspectos típicos de rochas sedimentares.

A sub-bacia 01 se localiza na porção da bacia representada pela estrutura cristalina, na depressão sertaneja, onde, Maia e Bezerra (2012) afirmam que, o processo de intemperismo e erosão foi bastante intenso, e apresenta o maior valor para a densidade de drenagem.

Pirajá e Rezende Filho (2019) apontam que os processos erosivos, como a erosão fluvial, são influenciados pela intensidade da densidade de drenagem em que, à medida que a densidade de drenagem aumenta, a dissecação do relevo será mais evidente. A geomorfologia

da serra de Portalegre e Martins é um exemplo desse processo, pois exprime os fatores exógenos na produção do relevo, em que ocorrem processos de erosão diferencial e dissecação do relevo (MAIA, 2016). Dornellas *et al.* (2020) afirmam que a característica da drenagem em ambientes de semiaridez tem como características a baixa densidade.

Figura 8 - Gráfico referente aos valores morfométricos de cada sub-bacia inserida na bacia hidrográfica do rio Apodi-Mossoró.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Claudino *et al.* (2020) afirmam que a densidade de drenagem equivalente a $0,96\text{km}/\text{km}^2$, representa uma baixa capacidade de drenagem, no estudo da bacia hidrográfica do Rio Santa Helena. Para Araújo Júnior *et al.* (2002), os maiores valores para a densidade de drenagens na microbacia do rio da Capivara foram de $0,026\text{ km}/\text{ha}$, que equivale a $2,6\text{km}/\text{km}^2$. São valores elevados e merecem destaque na prevenção de processos como o de erosão.

Para o fator de forma, as sub-bacias 07, 10, 12 e 14 apresentaram valores que, para Pereira *et al.* (2019), apontam tendência mediana para enchente. Os valores das sub-bacias 03, 11 e 18 apresentam um formato achatado e com maiores tendências a enchentes.

Araújo Junior *et al.* (2002) afirmam que o valor de $0,5703$, para o coeficiente de circularidade, indica possibilidade mediana para eventos de enchentes. De acordo com Pereira *et al.* (2019), os valores inferiores a $0,3$ para o Ic , resulta em sub-bacias com formato

alongado. Desse modo, o maior valor encontrado para o índice de circularidade foi na sub-bacia 13, entretanto, maior parte das sub-bacias apresentaram baixa suscetibilidade para enchentes, tendo em vista que possuem valores inferiores a esse.

Campos *et al.* (2015) obtiveram resultados em que apresentaram o coeficiente de compacidade 1,36 e o fator de forma 0,22 e afirmam que, com tais valores, na microbacia do Ribeirão Descalvado, não há possibilidades de enchentes, desde que as condições de precipitação estejam dentro da normalidade. Pirajá e Rezende Filho (2019) apontam que informações a respeito do coeficiente de compacidade e fator de forma possibilitam identificar características quanto à resposta do escoamento no sistema de drenagem.

Os resultados referentes ao coeficiente de compacidade também corroboram com tal afirmação, visto que, a sub-bacia 13 apresenta valor de 1,25, apesar da predominância de características com tendência de formato achatado e com possibilidades de enchentes.

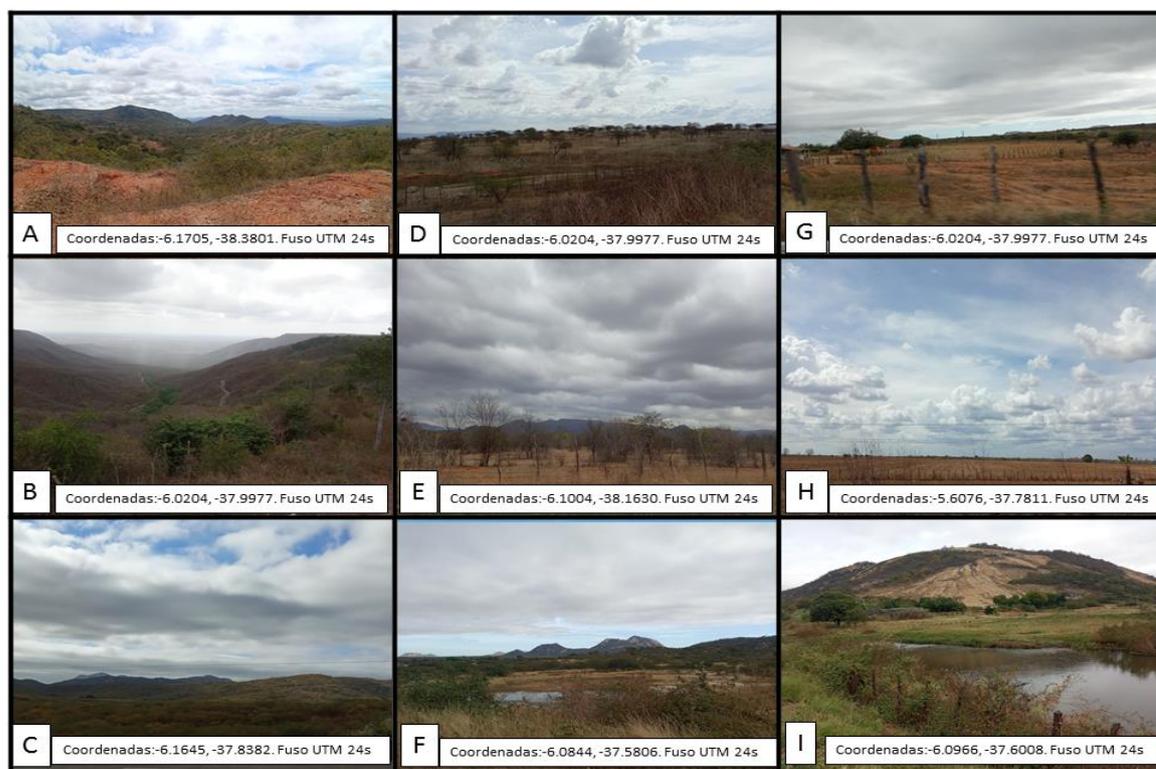
Portanto, 63% dos valores indicativos de Ff caracterizam o sistema como de baixo potencial à ocorrência de enchentes, compatíveis com uma densidade de drenagem que varia de mediana a baixa, condizente com os valores de Kc que indicam a dominância (53%) de valores que caracterizam um potencial mediano a baixo de retenção de água. Isso é compatível com o formato alongado da bacia que, de forma geral, tende ao escoamento (Figura 8).

4.3.2 Caracterização do Uso e Cobertura da Terra

As tipologias de uso foram classificadas de acordo com o manual de uso da terra IBGE (2013) em: 1 - Área florestal, na qual apresenta uma densidade maior das espécies arbóreas (savana estépica florestada); 2- Área campestre, que é caracterizada pela disposição esparsa de suas árvores e arbusto, que são de pequeno porte, e presença predominante do estrato herbáceo (savana estépica arborizada); 3 - Áreas agrícolas, para áreas de agricultura e pastagem; 4 - Área de atividades antrópicas, na qual estão inseridas áreas de urbanização e solo exposto; e 5 - Corpos hídricos, formados pelo represamento da água.

Após a delimitação de cada sub-bacia, a partir do MDE, foram usadas imagens do *Landsat 8* para a elaboração dos mapas temáticos de uso e cobertura da terra, aplicando a classificação supervisionada, com o objetivo de espacializar e quantificar a cobertura da terra de acordo com cada tipologia.

Figura 9 - Padrão dos principais tipos de uso da terra da bacia hidrográfica do rio Apodi-Mossoró.

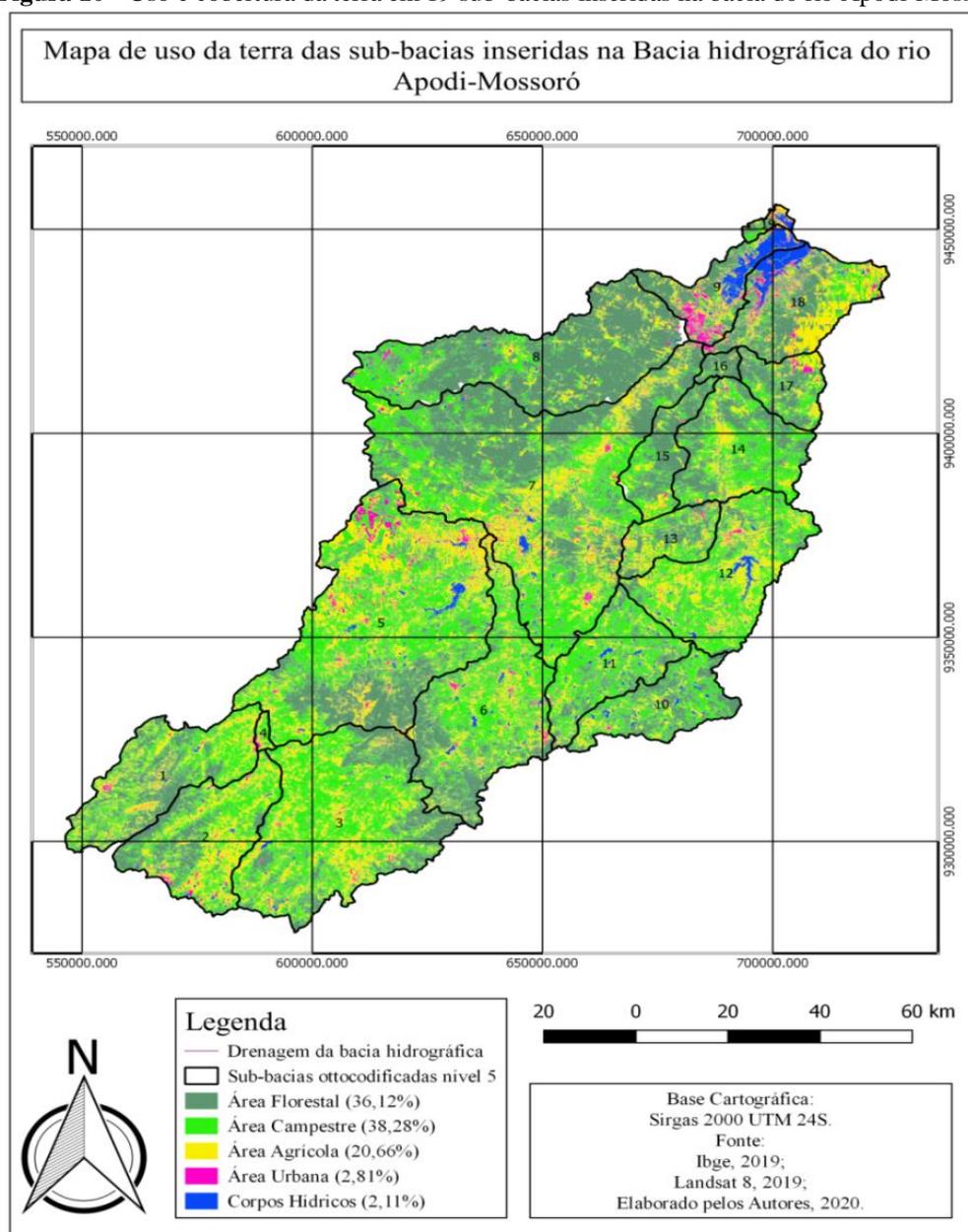


Fonte: Elaborada pelos autores.

As características de áreas florestais estão expressas na figura 9.A, próximo à cidade de São Miguel (RN), onde predomina o domínio geomorfológico maciço de Pereiro; na figura 9.B, que representa área localizada no maciço da Serra de Portalegre; e na “figura 9.C”, localizada na BR-226, próximo ao município Frutuoso do Gomes (RN), representada na depressão Interplanáltica. Os aspectos da área campestre estão expressas na figura 9.D, localizado no município de Riacho do Cruz (RN), ao norte da Serra de Portalegre; na figura 9.E, no município de Pau dos Ferros (RN), ao sul da Serra de Portalegre; e na figura 9.F, próximo ao município de Patu (RN). Já as atividades agrícolas estão representadas pela figura 9.G e figura 9.H, ambas localizadas no município de Apodi (RN); e na figura 9.I, localizada no município de Patu (RN).

A Figura 10 expressa informações espaciais sobre as tipologias classificadas no mapa de uso da terra, em que o total de área de floresta é de 380.502ha (40%), para área campestre é de 346.233ha (33,45%), áreas agrícolas com 188.165ha (19,81%), área urbana de 22.787ha (2,39%) e corpos hídricos com 12.044ha (1,26%).

Figura 10 - Uso e cobertura da terra em 19 sub-bacias inseridas na bacia do rio Apodi-Mossoró.



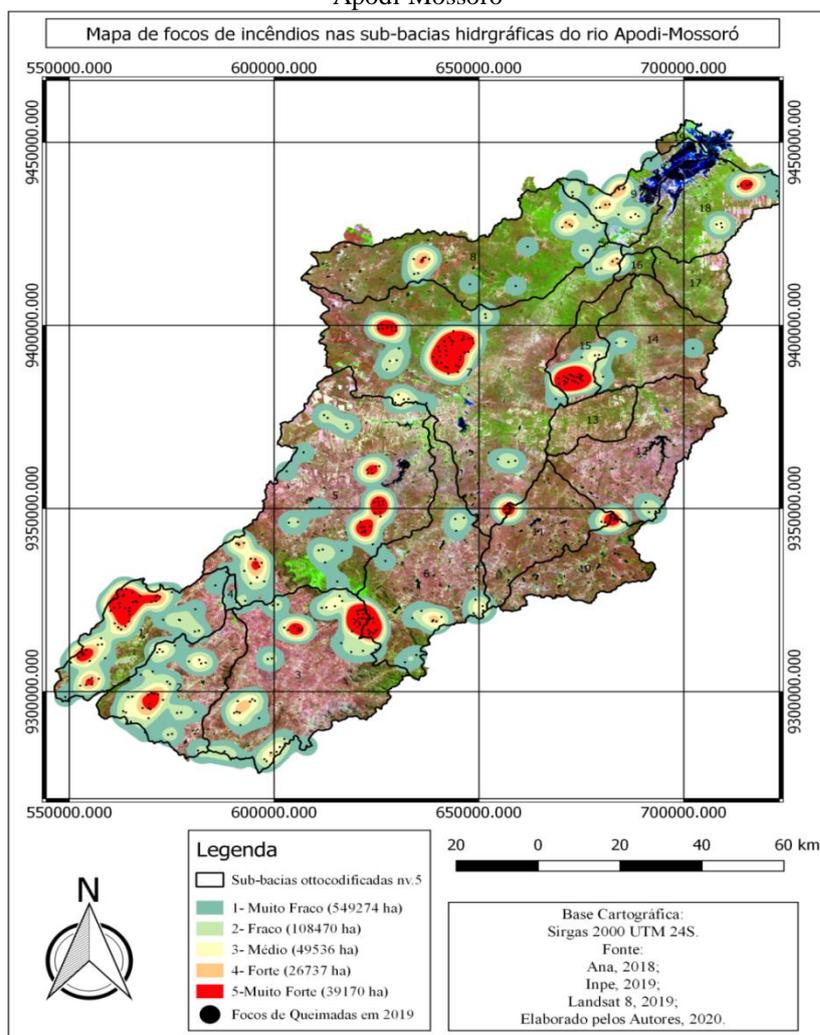
Fonte: Elaborada pelos autores com base em ANA (2018).

No inventário florestal, realizado no Rio Grande do Norte, pelo Serviço Florestal Brasileiro (2018), foi mapeado o percentual de floresta nas microrregiões correspondentes à sub-bacia Apodi-Mossoró, que ocorrem cerca de 45,9%. A diferença na cobertura florestal, apesar de pequena, é de aproximadamente 6%, entre a área mapeada da pesquisa e a área mapeada das microrregiões pelo Serviço Florestal Brasileiro, que corresponde à área da bacia hidrográfica do rio Apodi-Mossoró.

A partir dos resultados da classificação supervisionada, foi realizado o índice de *Kappa*, que tem como importância a avaliação da acurácia dos mapas, cujo resultado foi de 0,72, apresentando uma forte concordância, visto que os valores do índice variam de 0 a 1.

A Figura 11 apresenta a espacialização dos focos de incêndios que ocorreram durante o ano de 2019, detectado pelo satélite AQUA, dados esses disponibilizados pelo Banco de Dados de Queimadas do Inpe. A área de ocorrência de queimadas, com base nos níveis de intensidade média, alta e muito alta, corresponde a 7,9% de toda a bacia. A sub-bacia 07 foi a área de maior ocorrência, 21.929,56ha, seguido da sub-bacia 01 com 18.475,01ha.

Figura 11 - Mapa da ocorrência de focos de queimadas nas 19 sub-bacias localizadas na bacia hidrográfica do rio Apodi-Mossoró



Fonte: Elaborada pelos autores com base em ANA (2018); Inpe (2019).

Apesar da predominância dos focos ocorrerem nos meses de outubro e novembro, os focos de incêndios ocorrem durante o ano inteiro e se concentra principalmente em áreas de atividades agrícolas, o que indica que a prática de queimada é desenvolvida em associação com essas atividades.

Com os resultados da classificação de uso e cobertura da terra e dos focos de queimadas, foi elaborada a tabela 5, que apresenta a área usada de acordo com cada tipologia para cada sub-bacia estudada.

Tabela 5 - Quantificação de uso da terra em hectares das 19 sub-bacias localizadas na bacia hidrográfica do rio Apodi-Mossoró.

Sub-bacia	Área Florestal	Área Campestre	Área Agrícola	Área Urbana	Queimadas	Corpos hídricos
1	25042,7	27855,22	16624,86	1806,22	18475,01	468,94
2	19622,41	28209,59	19505,73	2151,56	9255,98	1041,54
3	36501,35	71097,94	35962,02	2611,03	15003,56	1298,4
4	139,45	1420,66	916,6	250,94	0	19,08
5	49605,84	86578,94	55743,81	8503,36	15899,11	3753,39
6	33716,82	45618,44	21564,11	2695,37	6838,73	1716,01
7	101374,61	92562,6	45527,64	5423,46	21929,56	2309,36
8	88079,64	29021,02	10191,04	1685,3	4551,25	852,85
9	14499,23	3618,21	6317,68	4707,43	4614,61	6920,83
10	18965,9	18006,99	5478,21	386,11	1168,46	1330,88
11	15766,58	29525,66	7767,88	606	2078,68	1470,98
12	13624,19	42725,63	23881,89	1643,02	845,45	2458,66
13	9910,06	9053,32	5964,63	907,92	0	28,54
14	25173,09	27341,11	9884,3	571,81	197,86	49,41
15	16603,78	8787,91	3222,83	316,25	7848,53	6,39
16	4245,05	732,84	315,51	70,91	319,1	15,84
17	12629,8	7411,09	4641,34	777,47	0	59,17
18	23931,17	11138,84	17727,4	4248,61	3384,18	5578,08
19	1657,21	868,09	1033,07	393,56	0	553,57

Fonte: Elaborada pelos autores.

As sub-bacias que apresentaram os maiores percentuais de área florestal foram as sub-bacia 07 e sub-bacia 08, que correspondem, respectivamente, a 41% e 67,84% da área (Tabela 5). Santos *et al.* (2000) afirmam que a cobertura de caatinga nativa se mostra eficiente no controle de erosão em diferentes níveis de declividade.

Entretanto, Francelino *et al.* (2003) apontam que a caatinga arbustiva arbórea aberta não apresenta o mesmo nível de proteção, com uma baixa densidade florística e tendência de homogeneização, com predominância de espécies pioneiras de pequeno porte e espécies herbáceas, resultado de uma intensa atividade antrópica ou devido a características edafoclimáticas.

Conforme Melo *et al.* (2010), a vegetação de caatinga semi-densa, tipificado como área campestre, é um tipo de vegetação com predominância de espécies arbustivas e herbáceas, resultado de uma atividade de pastejo de baixa intensidade. As sub-bacias que representam as maiores áreas de uso campestre são as sub-bacia 05 e sub-bacia 03, respectivamente, com 42,4% e 48,1% (Tabela 5).

Para a representatividade referente ao uso de áreas agrícolas, as sub-bacias 05 e 07 apresentam-se como áreas de maiores destaques. Quanto ao uso de área urbana, essas mesmas

possuem uma maior área em hectares, porém, a que possui o maior percentual é a sub-bacia 09, onde está localizado o município de Mossoró.

Desse modo, a classificação de uso da terra se mostra importante, visto que possibilita uma visão, de forma detalhada, dos tipos de cobertura e a quantificação para cada tipologia. Melo *et al.* (2010) afirmam que, por meio desta classificação, é possível avaliar conflitos de uso.

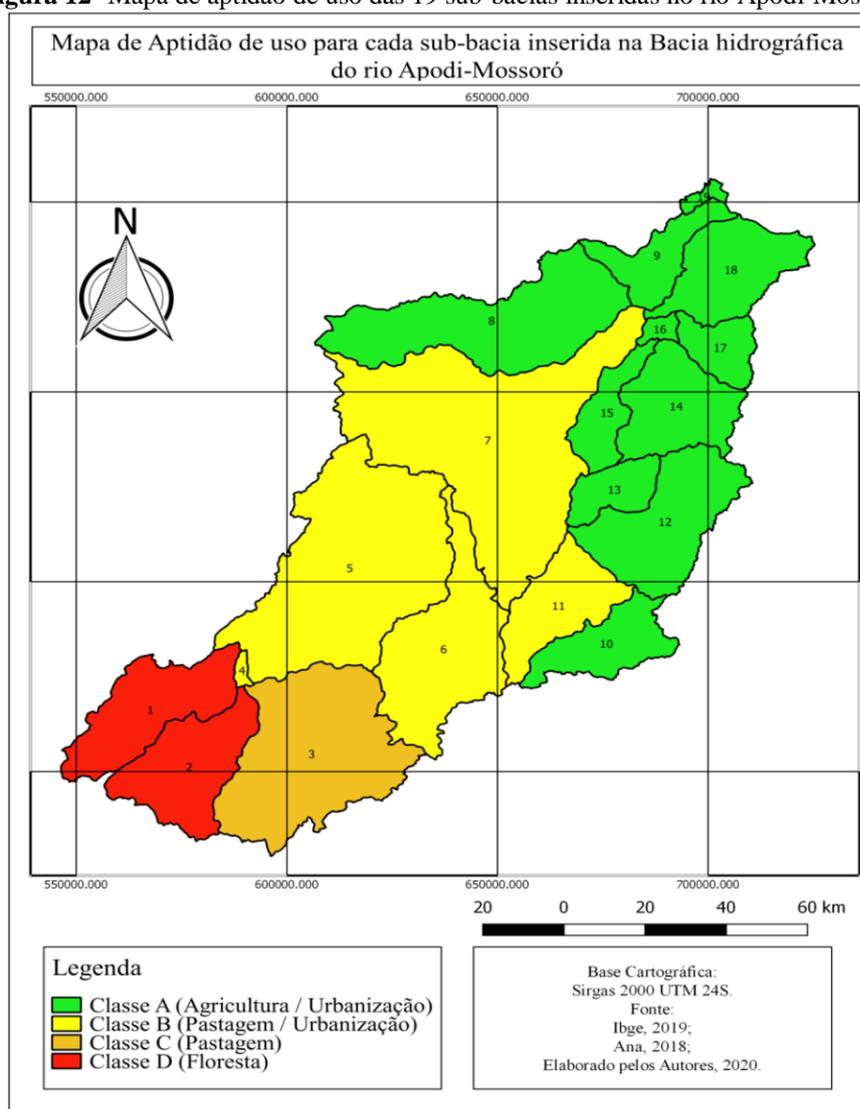
Para a aplicação do diagnóstico físico-conservacionista, que tem como objetivo a obtenção do percentual de deterioração das sub-bacias, faz-se necessário que os resultados do coeficiente de rugosidade sejam divididos em intervalos de classe para indicação da aptidão. Assim, a partir do cálculo de amplitude, em que a Amplitude= RN maior valor – RN menor valor = 11,71 – 0,19 = 11,52 e de Intervalo = Amplitude /4 = 11,52 /4= 2,88 (Tabela 6).

Tabela 6 - Intervalo de classes para aptidão de uso com base nos dois valores do coeficiente de rugosidade (RN).

Classe	Intervalo	Aptidão de Uso	Valores RN
A	0,14 – 2,8 – 2,94	Agricultura/Urbanização	0,14; 0,27; 0,29; 0,47; 0,55; 0,56; 0,59; 0,79; 1,1; 1,7; 1,81 e 2,13.
B	2,95– 2,8 – 5,75	Pastagem/Urbanização	3,15; 3,16 e 5,18
C	5,75 – 2,8 – 8,55	Pastagem/Floresta	6,87
D	8,56 – 2,8 – 11,36	Floresta	9,67 e 11,36

Fonte: Elaborada pelos autores.

Foi gerado um mapa para indicar a localização de cada sub-bacia e suas respectivas aptidões, os quais resultaram em quatro classes: sub-bacias com aptidão para agricultura/urbanização (classe A), sub-bacias com aptidão para pastagem e urbanização (classe B), sub-bacia com aptidão para pastagem/floresta (classe C) e sub-bacias com aptidão para floresta (classe D) (Figura 12).

Figura 12- Mapa de aptidão de uso das 19 sub-bacias inseridas no rio Apodi-Mossoró

Fonte: Elaborada pelos autores com base na ANA, 2018.

Os parâmetros morfométricos, sobretudo a densidade de drenagem, indica correlação direta com as características do DFC, em que as sub-bacias 1 e 2, que apresentam uma tendência de forte escoamento, são indicadas como as unidades de mais restrições de uso. Assim, com os resultados da aptidão de uso de cada compartimento e das características de uso, que tem como objetivo expressar o percentual de deterioração por meio dos conflitos, da cobertura florestal e da área a ser florestada (Tabela 7).

Tabela 7 - Quantificação das áreas de conflito, cobertura florestal e grau de deterioração

Clas se	Sub-baci a	Área da sub-bacia (ha)	Conflito de uso - (ha) / %		Cobertura florestal - (ha) / %		A florestar - (ha) / %		Área deteriorada - (ha)	% De deterio ração
D	1	71797,94	64761,31	90,20	25042,7	34,9	0	0	64761,31	90,20
D	2	70530,83	59122,86	83,83	19622,41	27,8	0	0	59122,86	83,83
C	3	147470,74	53576,61	36,33	36501,35	24,8	366,3	0,24	53942,94	36,58

B	4	2746,73	916,6	33	139,45	5,1	547,2	19,92	1463,83	53,29
B	5	204185,34	71642,92	35,09	49605,84	24,3	1440,5	0,70	73083,41	35,79
B	6	105310,75	28402,84	26,97	33716,82	32,0	0	0	28402,84	26,97
A	7	247197,67	21929,56	8,87	101374,61	41,0	0	0	21929,56	8,87
A	8	129829,85	4551,25	3,51	88079,64	67,8	0	0	4551,25	3,51
A	9	36063,38	4614,61	12,80	14499,23	40,2	0	0	4614,61	12,80
B	10	44168,09	6646,67	15,05	18965,9	42,9	0	0	6646,67	15,05
A	11	55137,1	2078,68	3,77	15766,58	28,6	0	0	2078,68	3,77
A	12	84333,39	845,45	1,00	13624,19	16,2	7459,2	8,84	8304,60	9,85
A	13	25864,47	0	0,00	9910,06	38,3	0	0	0	0,00
A	14	63019,72	197,86	0,31	25173,09	39,9	0	0	197,86	0,31
A	15	28937,16	7848,53	27,12	16603,78	57,4	0	0	7848,53	27,12
A	16	5380,15	319,1	5,93	4245,05	78,9	0	0	319,1	5,93
A	17	25518,87	0	0	12629,8	49,5	0	0	0	0,00
A	18	62624,1	3384,18	5,40	23931,17	38,2	0	0	3384,18	5,40
A	19	4505,5	0	0	1657,21	36,8	0	0	0	0,00
Total		1414621,78	330839,03	23,39	511088,88	36,1	9813,22	0,69	340652,2	24,08

Fonte: Elaborada pelos autores

O conflito (Tabela 7) é o resultado do uso da unidade, em desconformidade com a sua aptidão e associado às práticas de queimadas. Desse modo, as unidades que apresentaram os maiores percentuais foram as sub-bacias 1 e 2, classe D, com 90,2% e 83,8%, respectivamente, visto que são as unidades de maior restrição de uso. As sub-bacias 13, 17 e 19, classe A, não apresentaram percentual de conflito, por possuírem menos restrições de uso e não ter sido detectada ocorrência de queimadas. Desse modo, o total do percentual de conflito foi de 23%.

Quanto ao aspecto de cobertura florestal, constata-se predominantemente satisfatória, sob o aspecto do mínimo exigível, 25%, para unidades com declividade inferior a 15%; no entanto, quatro unidades apresentaram valores inferiores, são elas: sub-bacias 3, 4, 5 e 12, com destaque à última (12), cuja apresenta a maior área com necessidade de ser florestada. O total da bacia a ser florestada é de 9.813,22ha, o que representa menos de 1%.

A Deterioração (Tabela 7) é o resultado dos conflitos com a área a florestar, desse modo, permite analisar que unidades de maior restrição de uso, classe D, apresentam os maiores percentuais de deterioração, chegando a 90%, observado na sub-bacia 1. Corroborando com resultados observados por Silva *et al.* (2020), os quais apontam, na região sul da bacia, as taxas de erosividade mais elevadas da bacia hidrográfica do rio Apodi-Mossoró.

A partir dos resultados obtidos por meio dos critérios de estratificação, utilizados na metodologia, possibilitou a análise da deterioração de cada parâmetro e da área total estudada

da bacia (Tabela 8). Apesar da área a florestar não proporcionar deterioração, visto que apresentou o valor modal mínimo, a cobertura florestal representa o maior valor respectivo à deterioração.

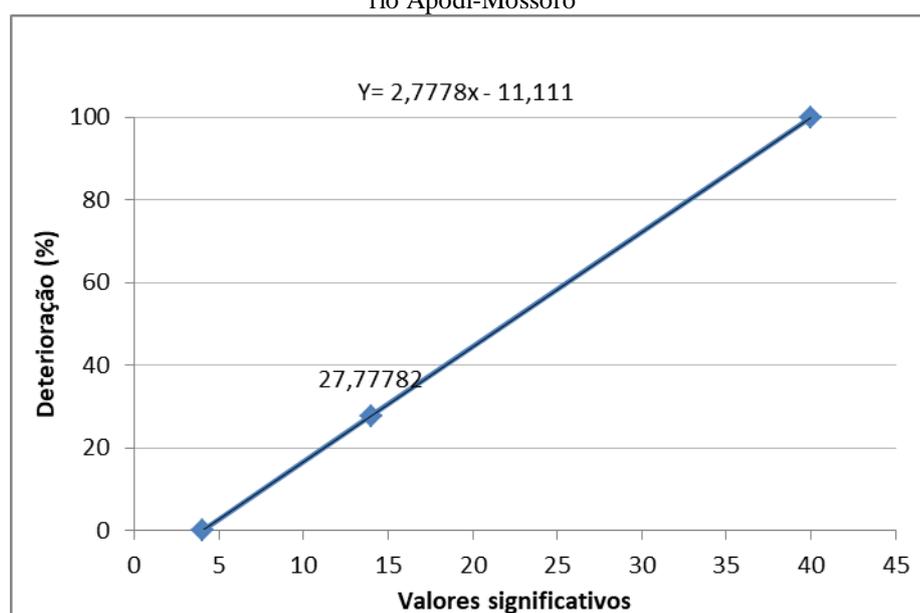
Tabela 8 - Análise de deterioração de cada fator estudado nas 19 sub-bacias inseridas na bacia hidrográficas do rio Apodi-Mossoró

Parâmetros	Valores significativos			Equação da reta	Deterioração %
	Mín.	Máx.	Moda		
Conflitos	1	10	3	$Y = 11,1111x - 11,1111$	22,22
Cobertura florestal	1	10	7	$Y = 11,1111x - 11,1111$	66,66
Área a florestar	1	10	1	$Y = 11,1111x - 11,1111$	0
Deterioração	1	10	3	$Y = 11,1111x - 11,1111$	22,22
Total	4	40	14	$Y = 2,7778x - 11,1111$	27,77

Fonte: Elaborada pelos autores

De acordo com Araújo Júnior *et al.* (2002), o limite mínimo aceitável para o grau de deterioração é de 10%, e valores, superiores a esse, promovem prejuízos ao solo e à vegetação, em ocorrência da inadequação do uso da terra. As sub-bacias estudadas apresentaram um total de deterioração com base nos parâmetros de 27,77% (Figura 13).

Figura 13 - Gráfico da deterioração físico-conservacionista das 19 sub-bacias inseridas na bacia hidrográfica do rio Apodi-Mossoró



Fonte: Elaborada pelos autores

4.4 CONCLUSÃO

A morfometria se mostra como importante técnica de análise, pois expressa a dinâmica fluvial nas unidades destes sistemas ambientais. A partir das características

morfométricas das sub-bacias, pode-se concluir que maior parte das dessas não há suscetibilidade a enchentes, em condições de precipitação normal, apesar de o parâmetro “fator de forma” indicar, nas sub-bacias 03, 11, 13 e 18, um formato com tendência achatado.

As sub-bacias 01, 02 e 03 apresentaram densidade de drenagem considerada mediana, com as maiores taxas deste parâmetro, o que indicam as áreas como as mais suscetíveis a processos erosivos.

Quanto à deterioração, ao aplicar o DFC, foi possível quantificar, por meio da cobertura florestal, aptidão e conflitos de uso, o grau de deterioração de cada sub-bacia. O total da deterioração das sub-bacias estudadas apresenta mais que o dobro do aceitável com, 27,77%, sendo as sub-bacias 01 e 02 as que apresentaram os índices mais elevados quando grau de deterioração.

Nas sub-bacias 01 e 02, faz-se necessário dar uma maior atenção para estas unidades pelo poder público, visto que são as áreas de maior potencial de deterioração e suscetibilidades a enchentes e processos erosivos.

A aplicação de técnicas de geoprocessamento é uma etapa fundamental na gestão de sistemas ambientais, como é o caso das bacias hidrográficas. Tais técnicas possibilitam por meio do uso de procedimentos para a análise da morfometria e o diagnóstico físico-conservacionista uma visão detalhada das áreas prioritárias, como é o caso das sub-bacias 01 e 02, decorrentes, sobretudo, de fatores naturais, como declividade média, densidade de drenagem elevadas e a sobrecarga de uso, que indicam alto grau de deterioração ambiental. Criando, assim, maiores possibilidades de políticas públicas que venham a proteger essas áreas, mediante práticas conservacionistas, que tenham como finalidade a adequação do uso do solo, de acordo com seu potencial de produção, principalmente por se tratar de uma bacia hidrográfica de grande importância para o desenvolvimento local, regional e do Rio Grande do Norte.

5 SEGUNDO ARTIGO

Mapeamento da fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do rio Apodi Mossoró

MAPEAMENTO DA FRAGILIDADE AMBIENTAL DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO APODI-MOSSORÓ

RESUMO

A bacia hidrográfica do rio Apodi-Mossoró tem uma importante influência no desenvolvimento econômico da região. A falta de análise do espaço físico e o manejo inadequado do uso do solo promovem impactos no sistema ambiental, como erosão e assoreamento do sistema de drenagem, dentre outros fatores. O presente trabalho tem como objetivo apresentar, por meio do mapeamento, de que forma os diferentes tipos de uso da terra influenciam nos níveis de fragilidade ambiental para o entendimento dos processos de degradação da bacia hidrográfica do rio Apodi-Mossoró – RN. Assim, o mapeamento da fragilidade potencial e emergente se torna importante ferramenta na identificação de áreas com níveis de fragilidade, fornecendo subsídios para o desenvolvimento sustentável dessas áreas. Nos trabalhos de laboratório, foram utilizados arquivo, em formato de shapefile, para os tipos de solos da bacia, Modelo Digital de Elevação e Imagens de Satélite. Por meio do mapeamento, foi possível avaliar e quantificar os níveis de fragilidade da bacia hidrográfica, de modo que o nível predominante na bacia é o de fragilidade média, sendo superior a 50%, seguido de fragilidade alta com 38,4%. A cobertura vegetal nas áreas de maiores declividades foi importante na mitigação de áreas com fragilidade potencial muito alta e alta.

Palavras-Chave: Geotecnologias. Degradação. Sistema Ambiental

MAPPING THE ENVIRONMENTAL FRAGILITY OF THE APODI-MOSSORÓ HYDROGRAPHIC BASIN

ABSTRACT

The hydrographic basin of the Apodi-Mossoró river has an important influence on the economic development of the region. Thus, the lack of analysis of the physical space and the inadequate management of land use promote impacts on the environmental system, such as erosion and silting up of the drainage system, among other factors. The present work aims to present, through the mapping, how the different types of land use influence levels of environmental fragility to understand the degradation processes of the hydrographic basin of the Apodi-Mossoró River - RN. Thus, the mapping of fragility becomes an important tool in the identification of areas with fragility levels, providing subsidies for sustainable development in it. In the laboratory works, a shapefile file for the types of soil in the basin, Digital Elevation Model and satellite images will be used. Through the mapping it was possible to evaluate and quantify the fragility levels of the hydrographic basin, so that the predominant level in the basin is of medium fragility, being higher than 50%, followed by high fragility. Vegetation cover in the areas with the greatest declivity was important in mitigating areas with very high and high potential fragility.

Keywords: Geotechnologies. Degradation. Environmental System

5.1 INTRODUÇÃO

A bacia hidrográfica do rio Apodi-Mossoró tem uma importante influência no desenvolvimento econômico da região, com grande potencial para a agricultura, extração de petróleo, fruticultura irrigada, produção salineira e carcinicultura. Porém, a falta de observação do espaço físico e o manejo inadequado do uso do solo promovem impactos no sistema ambiental, aumentando os processos de erosão e assoreamento, resultando em perda de produtividade e diminuição da disponibilidade e qualidade hídrica.

A fragilidade ambiental é baseada nos princípios da ecodinâmica de Tricart (1977), que tem influência direta na biocenose, ou seja, quanto mais intensa é a ação, como por exemplo a morfogênese do ambiente, mais esse ambiente está suscetível às fragilidades ambientais, e a cobertura vegetal atua como agente mitigador dos efeitos da morfodinâmica, que é fator limitante dos ecossistemas. Desse modo, Ross (1994) afirma que a exploração excessiva dos recursos naturais provoca uma suscetibilidade a fragilidade dos ambientes naturais.

A caracterização do meio físico e biótico é fundamental no manejo de bacias hidrográficas, cujos parâmetros indicam o grau de instabilidade ou estabilidade do meio, estando diretamente relacionados com características do clima, do relevo, tipos de solo, tipos de uso e ocupação. Ross (1994) sistematizou estas características em 5 níveis de fragilidade, a saber: (1) muito fraco, (2) fraco, (3) médio, (4) alto e (5) muito alto. Com base nestes índices, é gerado o mapa de fragilidade potencial e fragilidade emergente.

O mapa de fragilidade possibilita a observação de áreas frágeis e que merecem maior atenção, planejando, de forma efetiva, o uso e ocupação da terra, além de monitorar os processos relacionados à erosão, ao assoreamento e à perda da biodiversidade (VALE; FRANCELINO; PINHEIRO, 2016).

De acordo com Trombeta e Leal (2016), a análise do ambiente, associado à geoecologia das paisagens, apresenta-se como subsídio para o planejamento e gestão ambiental, partindo das unidades da paisagem. Baseado na característica sistêmica e elementos socioeconômicos, as bacias de drenagem são consideradas unidades que servem para mensurar os indicadores geomorfológicos (CHRISTOFOLETTI, 1999).

O planejamento de uma bacia, para Padilha (2008), ultrapassa a percepção da utilização dos recursos naturais (hídricos), em que se torna necessária a observação tanto das potencialidades hídricas, como do turismo, fauna e flora, características geológicas e de produção, além dos impactos provocadas pela ação antrópica.

De acordo com as Nações Unidas (2015), a Agenda 2030 tem como objetivo principal o desenvolvimento sustentável, por meio da implementação de 17 objetivos e 169 metas, dentro de um prazo de 15 anos. Foi lançada em 2015, em uma Assembleia da Organização das Nações Unidas (ONU), em Nova York/EUA, em que foram reconhecidos, pelos seus 193 estados membros, os 17 objetivos de desenvolvimento sustentável.

O objetivo 6 da Agenda 2030 trata da água potável e saneamento, buscando assegurar a gestão e a disponibilidade, como também o saneamento, para todos, por meio de determinadas metas, tais como: alcançar o acesso universal e equitativo; melhorar a qualidade da água, reduzindo a poluição; ampliar o acesso ao saneamento; aumentar a eficiência do uso da água; implementar gestão integrada dos recursos hídricos; e fortalecer a participação das comunidades locais (ONU, 2015).

O objetivo 15 da Agenda 2030 é voltado para alguns aspectos da vida terrestre com finalidade de proteção, recuperação e promoção do uso sustentável dos ecossistemas, combatendo a desertificação e buscando reverter a degradação da terra, além de deter a perda de biodiversidade, promovendo a implementação da gestão sustentável de todos os tipos de florestas, bem como, buscando assegurar a conservação dos ecossistemas de montanha, incluindo a sua biodiversidade. (ONU, 2015).

A mensuração do alcance das metas é possibilitada por meio do Sistema de Informação Geográfica (SIG), que como afirmam Donha, Souza e Sugamoto (2006), que observa de forma integrada o meio físico e avalia de forma simplificada uma grande quantidade de variáveis, dessa forma, o Sistema de Informação Integrada (SIG) é uma ferramenta de extrema importância para as análises ambientais. Neste mesmo sentido, Grigio (2003) descreve que as técnicas de sensoriamento remoto, possibilita a análise da evolução ambiental em escala regional, bem como, seus processos antrópicos

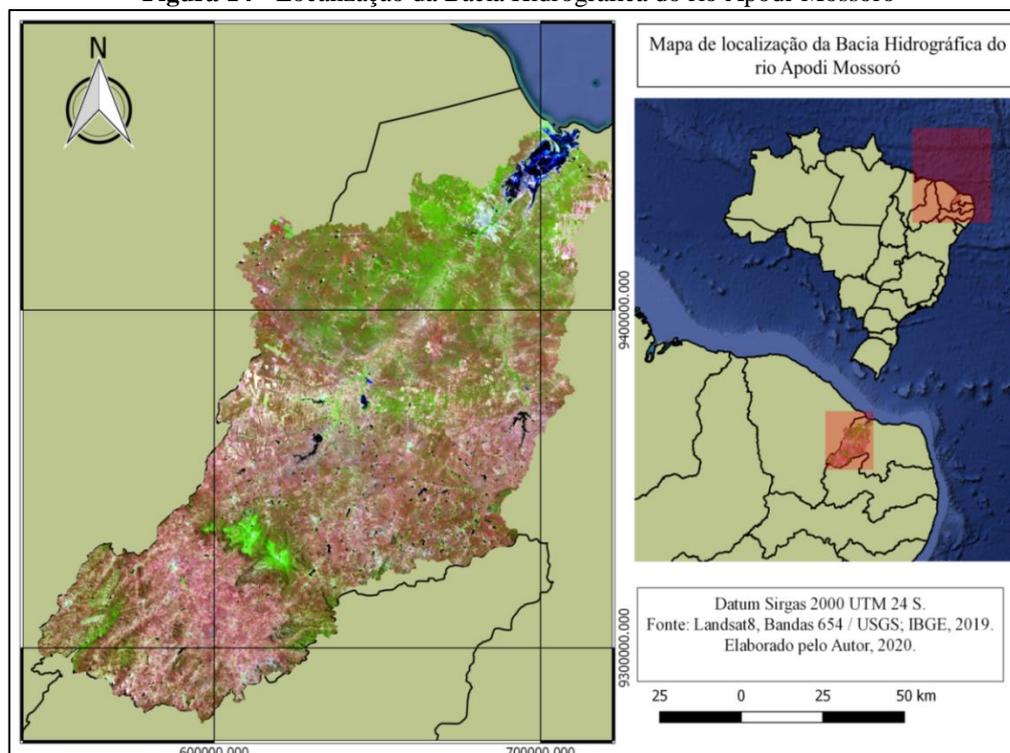
O presente trabalho tem como objetivo apresentar de que forma as características climáticas de declividade dos tipos de solo e dos diferentes usos da terra, por meio do levantamento dos planos de informações e álgebra de mapas, influenciam nos níveis de fragilidade potencial e emergente para o entendimento dos processos de degradação ambiental da bacia hidrográfica do rio Apodi Mossoró – RN.

5.2 METODOLOGIA

5.2.1 Caracterização da Área

A Bacia Hidrográfica Apodi-Mossoró (Figura 14), inserida no estado do Rio Grande do Norte, ocupa uma área de 14.276 km², na qual estão inseridos 52 municípios. O rio tem sua nascente no município Luiz Gomes (RN), na serra de São José, e a sua foz nos municípios de Areia Branca (RN) e Grossos (RN), onde da nascente à foz, faz um percurso de aproximadamente 150 km (OLIVEIRA; QUEIROZ 2008).

Figura 14 - Localização da Bacia Hidrográfica do rio Apodi-Mossoró



Fonte: Elaborada pelos autores.

Há dois tipos de predominância climática, de acordo com a classificação de Köppen, são eles: BSh', caracterizado por ser quente e semiárido, em que se encontra formações florestais de caatinga hipoxerófila e hiperxerófila, e Aw', com clima tropical chuvoso e verão seco, de modo que a média de precipitação pluviométrica varia de 600mm, no entorno da foz e região leste, enquanto que na região de Martins pode chegar a 1100mm ao ano. (ALVARES *et al.*, 2014). Eventualmente, em condições favoráveis de brisa marítima (ondas de leste), verificam-se eventos de precipitação nos meses de maio e junho. Os Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCAN's), esporadicamente, contribuem com eventos pluviométricos, uma vez que, no inverno, ele fica mais afastado do Nordeste, no oceano Atlântico, enquanto que no verão, ele se move em direção ao continente, já a partir do mês de dezembro (REBOITA *et al.* 2017).

Quanto aos aspectos geológicos e geomorfológicos, a bacia hidrográfica Apodi-Mossoró se divide em dois principais ambientes que, de acordo com Maia e Bezerra (2012), tratam-se do embasamento cristalino do período Pré-Cambriano na porção superior da área de estudo e formação sedimentar do período Mesozoico, Tercio-Quaternário e Quaternário na área médio e inferior da área de estudo, em que, como apontam Diniz *et al.* (2017), a Bacia Potiguar que se desenvolveu a partir do Cretáceo Inferior com a abertura do *Rift* Potiguar.

Também de acordo com Maia e Bezerra (2012), observa-se na bacia a predominância de maciços residuais decorrentes do aplainamento da depressão sertaneja, na porção superior da bacia, já na parte inferior da bacia predomina a chapada do Apodi, tabuleiro costeiro e planícies fluviais e flúvio-marinho.

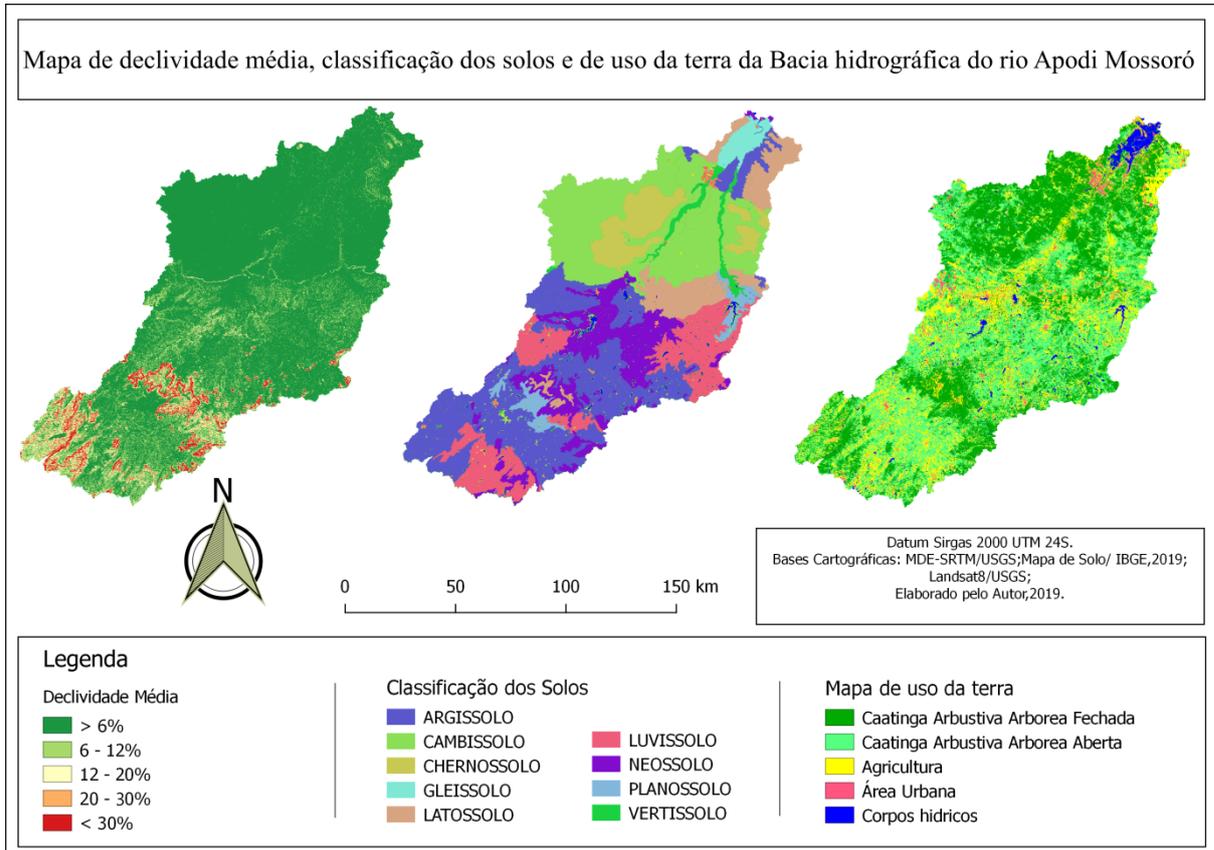
5.3 MATERIAL E MÉTODOS

Nos trabalhos de laboratório foi utilizado arquivo em formato de shapefile, para os tipos de solos da bacia, em escala 1:250.000, disponíveis no site do IBGE, Modelo Digital de Elevação do projeto Topodata do Inpe, com resolução de 30m e imagens de satélite, no formato *Landsat 8 – OLI*, disponíveis no site do *United States Geological Survey - Serviço Geológico dos Estados Unidos - (USGS)*. Tais produtos serviram como base de dados para geração de planos de informação em ambiente SIG por meio do *Software QGis 2.18 Las Palmas* (QGIS DEVELOPMENT TEAM, 2019).

A delimitação da bacia hidrográfica, realizada de forma automática por meio do algoritmo *r.watershed* (GRASS), é disponibilizada, como complemento, dentro do *QGis 2.18 Las Palmas*. O produto é baseado nas características específicas do Modelo Digital de Elevação.

A figura 15 representa os planos de informações que foram trabalhados, de modo que, no referente ao relevo, a área é predominantemente plana, apresenta nove classes de solos, sendo de maior ocorrência os argissolos, cambissolos e luvisolos, e o mapa de uso da terra, classificando as áreas de cobertura florestal, campestre, agricultura, urbanização e corpos hídricos.

Figura 15 - Mapa de declividade média, classificação dos solos e de uso da Bacia hidrográfica do rio Apodi-Mossoró.



Fonte: Elaborado pelos autores.

A distribuição e a intensidade da precipitação pluviométrica atuam na dinâmica do solo, principalmente no que se refere ao intemperismo. Desse modo, Tabela 9 traz a classificação da fragilidade, de acordo com a classificação de Ross (2012):

Tabela 9 - Classificação da fragilidade de acordo com a variável pluviosidade de Ross (2012)

Classes Pluviométricas	Classe	Nível
Precipitação regular e volume de aproximadamente 1000mm/ano;	Muito Fraco	1
Precipitação regular, e volume de aproximadamente de 2000mm/ano;	Fraco	2
Precipitação desigual, com períodos secos de 2 a 3 meses no inverno e no verão com maior intensidade;	Médio	3
Precipitação desigual, com períodos secos de 3 a 6 meses no Inverno e no verão com maior intensidade;	Forte	4
Precipitação regular, ou não, volumes que ultrapassam 25000mm/ano; ou irregular com altas intensidades e volumes anuais baixo não passando de 900 mm/ano (semiárido).	Muito Forte	5

Fonte: Ross (1994).

Com base no MDE, disponibilizado pelo site do Inpe por meio do projeto Topodata, foi elaborado o mapa de declividade que auxiliou na obtenção de dados morfométricos. Para a geração do mapa de declividade, com suas respectivas classes, foi utilizando o algoritmo “*r.slope.aspect*”, do complemento GRASS, vinculado ao QGis 2.18 *Las Palmas*, no qual foi

expressa a declividade em porcentagem. Como afirma Stoqui (2018), a classificação da declividade é fundamental na determinação da fragilidade por contribuir em processos erosivos e movimentos de massa. A declividade classificada quanto ao seu grau (Tabela 10) foi atribuída a níveis de fragilidade (ROSS, 1994).

Tabela 10 - Classificação da fragilidade de acordo com a declividade, segundo Ross

Classes de Declividade	Classes de Fragilidade	Nível
Até 6%	Muito Baixo	1
De 6 a 12%	Baixo	2
De 12 a 20%	Médio	3
De 20 a 30%	Alto	4
Acima de 30%	Muito Alto	5

Fonte: Ross (1994)

Assim, como o mapeamento dos solos também é um produto fundamental, em que, por meio do tipo de solo, é classificado quanto à erodibilidade natural, baseando-se em critérios como, estrutura, textura, profundidade e características de escoamento (ROSS, 1994) (Tabela 11).

Tabela 11 - Classes de fragilidade do solo de acordo com Ross (1994).

Classes de fragilidade	Tipos de solo	Pesos
Muito baixa	Latossolo roxo, latossolo vermelho escuro e vermelho amarelo textura argilosa.	1
Baixa	Latossolo amarelo e vermelho amarelo textura média/argilosa.	2
Média	Latossolo vermelho amarelo, Luvisolo, Argissolo vermelho amarelo textura média/argilosa.	3
Forte	Argissolo vermelho amarelo textura média/arenosa, Cambissolos.	4
Muito forte	Podzolizados com cascalho, Litólicos e areias quartzosas.	5

Fonte: Ross (1994).

A geração do plano de uso e cobertura do solo foi baseada em classificação supervisionada de imagens, do satélite *Landsat 8*. A rotulação das manchas homogêneas (temas) foi fundamentada em amostras de no mínimo 100 *pixels* para cada rotulo (SANTOS; RIBEIRO; SILVA, 2016). Portanto, foram classificados as principais tipologias de uso da terra, dentre elas, Caatinga Arbustiva Arbórea Fechada (CAAF), que tem como característica principal a cobertura florestal densa; Caatinga Arbustiva Arbórea Aberta (CAAA), caracterizada pela vegetação arbórea e arbustiva esparsa e a predominância de estrato herbáceo; Agricultura; Area Urbana e Corpos hídricos (Tabela 12).

Tabela 12 - Classes de proteção dos usos e coberturas da terra proposto por Ross (1994)

Tipo de cobertura	Classe de Fragilidade	Peso
CAAF	Muito Baixo	1
CAAA	Baixo	2
Corpos Hídricos	Médio	3
Agricultura	Alto	4
Urbanização	Muito Alto	5

Fonte: Adaptada de Ross (1994)

Com base na aplicação de Valle, Francelino e Pinheiro (2016), a fragilidade ambiental (Tabela 13) é formada a partir de uma álgebra de mapas do diagnóstico e mapeamento de vulnerabilidade associada às características do terreno. Para elaborar o mapa de fragilidade potencial foi necessário sobrepor as informações de pluviosidade, declividade do terreno e tipo de solo. A sobreposição do resultado da fragilidade potencial com as classes de uso e ocupação resultou no mapa fragilidade emergente.

Tabela 13 - Soma das pontuações (A = Pluviosidade; B = Declividade; C = Pedologia; D = Uso e ocupação da terra) e definição das classes de Fragilidade Potencial e Emergente

Pontuações A + B + C			=Fragilidade Potencial	+ D	=Fragilidade Emergente	Descrição das classes
1	1	1	03	1	04	Muito Baixa
2	2	2	04 a 06	2	05 a 08	Baixa
3	3	3	07 a 09	3	09 a 12	Média
4	4	4	10 a 12	4	13 a 16	Alta
5	5	5	13 a 15	5	17 a 20	Muito Alta

Fonte: Elaborado pelos autores.

5.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As variáveis indicadas por Ross (1994) e Spröl e Ross (2006), tais como, clima, relevo, solo, vegetação e recursos hídricos, possibilitaram, de forma integrada, um diagnóstico da fragilidade nas diferentes categorias de hierarquia. Por meio do levantamento dos planos de informações de cada parâmetro, possibilita identificar o nível de fragilidade potencial e emergente baseado na álgebra de mapas.

Quanto ao plano de informações climáticas, foi atribuído valor 5, o que representa nível de fragilidade muito forte (Tabela 14). Esse parâmetro foi um importante fator limitante, como afirma Santos, Silva e Srinivasan (2007), pois é um fenômeno bastante comum e marcante na região do semiárido, como é o caso da erosão hídrica. Ainda de acordo com os referidos autores, os processos erosivos têm relação direta com intensidade e irregularidades dos períodos chuvosos, associadas à exploração inadequada dos recursos naturais, acelerando a degradação ambiental.

Tabela 14 - Classe de fragilidade para variável climática

Classe Pluviométrica	Classe	Nível
Precipitação regular ou não, volumes que ultrapassam 2500 mm/ano; ou irregular com altas intensidades e volumes anuais baixos, não passando de 900 mm/ano (semiárido)	Muito Forte	5

Fonte: Ross (1994).

A declividade média foi desenvolvida a partir dos critérios de Ross (1994), e se caracteriza por ser predominantemente plana, com baixa fragilidade ambiental. A declividade média da bacia hidrográfica tem influência direta nos processos erosivos (Tabela 15).

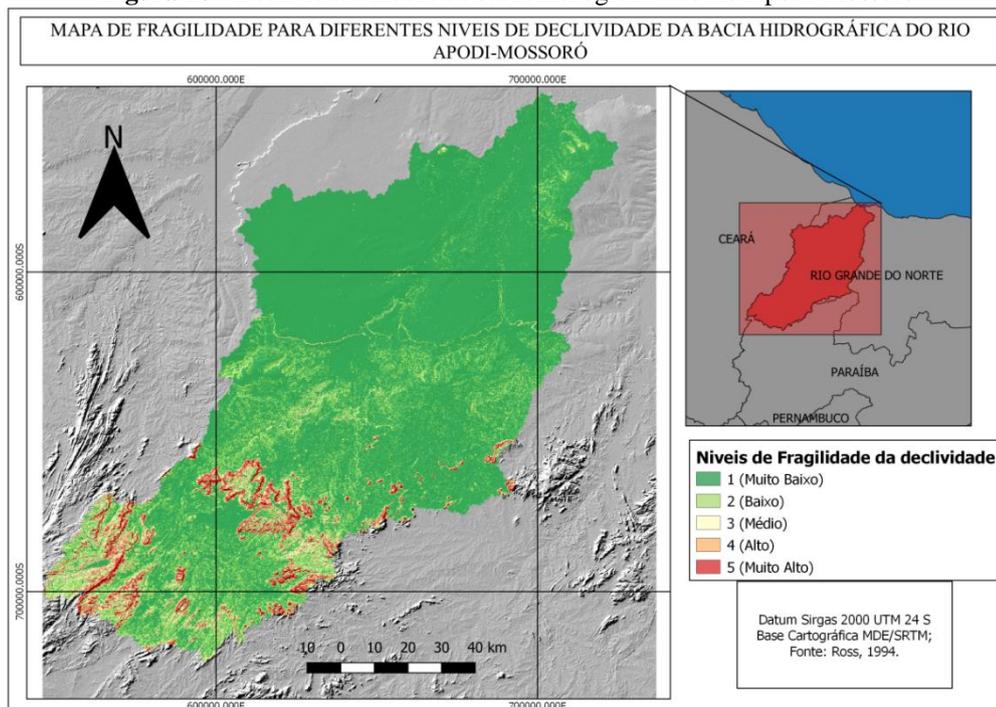
Tabela 15 - Classificação e quantificação da declividade predominante na bacia hidrográfica do rio Apodi-Mossoró

Classes de Declividade	Classe de Fragilidade (Peso)	Área
Até 6%	Muito Baixo (1)	76,49%
De 6 a 12%	Baixo (2)	14,53%
De 12 a 20%	Médio (3)	3,81%
De 20 a 30%	Alto (4)	2,34 %
Acima de 30%	Muito Alto (5)	2,80%

Fonte: Ross (1994).

As regiões de Martins e Portalegre apresentaram as maiores taxas de declividade. Maia (2016) cita que essa região sofreu processos endógenos na formação do relevo, como o soerguimento epirogênico. Áreas que apresentaram alta fragilidade quanto à declividade são descritas, por Ross (1994), como suscetíveis a processos geomorfológicos, o que Tricart (1977) classificou como meios instáveis (Figura 16).

Figura 16 - Declividade média da bacia hidrográfica do rio Apodi-Mossoró



Fonte: Elaborado pelos autores.

O nível de fragilidade e sua área de cobertura indicam o predomínio do nível de fragilidade média, somando 37,03% da área, e o nível de fragilidade alto, com 33,78% (Tabela 16). Os tipos de solo com fragilidade muito alta representam 16,52% da bacia, a saber: gleissolos, que são formados por meio de processos de inundação, localizado na foz;

vertissolos, ao longo dos principais afluentes; e neossolo, na porção central da bacia (Figura 17).

Tabela 16 - Classificação e quantificação dos tipos de solos da bacia hidrográfica do rio Apodi Mossoró

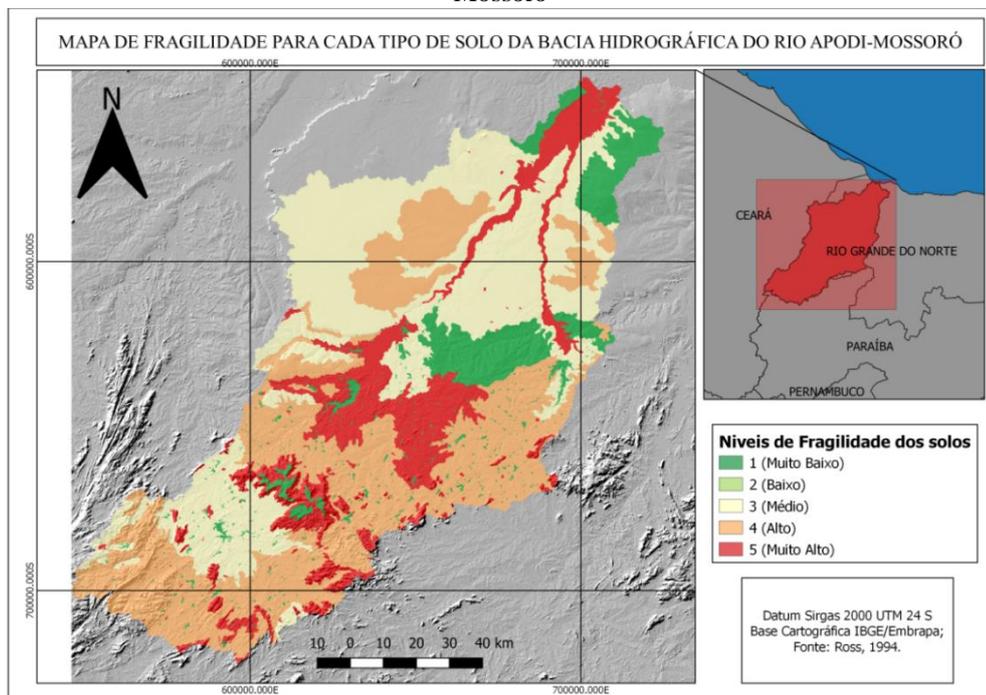
Tipo de Solo	Classe de Fragilidade (Peso)	Área%
Cambissolo	Médio (3)	22,95%
Gleissolo	Muito Alto (5)	1,94%
Planossolo	Médio (3)	2,69%
Vertissolo	Muito Alto (5)	1,76%
Latossolo	Muito Baixo (1)	8,52%
Luvissolo	Alto (4)	13,65%
Neossolo	Muito Alto (5)	12,82%
Chernossolo	Alto (4)	7,04%
Argissolo	Alto (4)	17,26%
Argissolo	Médio (3)	11,39%

Fonte: Elaborado pelos Autores

A fragilidade de cada tipo de solo é relacionada com as propriedades físicas, como textura, profundidade e relevo, e com as características de mecanização. Carlos Júnior (2016) aponta que os luvisolos e neossolos, da parte central da bacia hidrográfica do rio Apodi-Mossoró, apresentam impedimento devido à forte declividade, por serem solos rasos e pedregosos.

De acordo com Medeiros, Jesus e Alves (2019), os chernossolos apresentam característica de alta fertilidade, ricos em matéria orgânica, devido sua ocorrência em terrenos suave-ondulados, e são mais suscetíveis a processos erosivos. Os argissolos expressam dois níveis de fragilidade distintos, cujos critérios para tal distinção são a textura, pedregosidade e relevo.

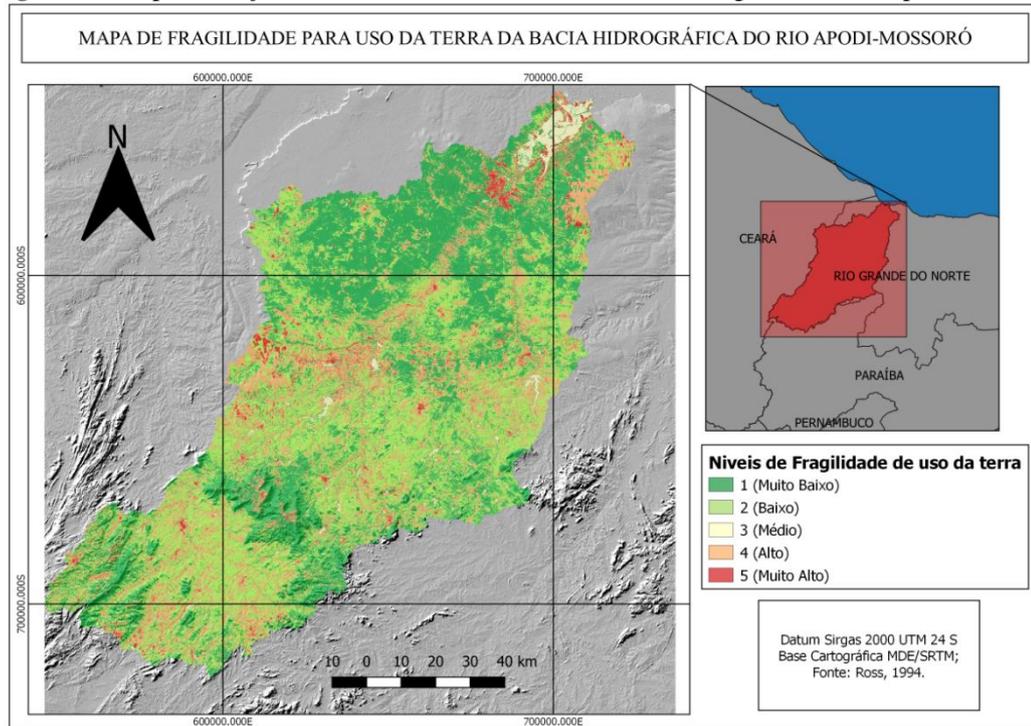
Figura 17 - Nível de fragilidade com base nos tipos de solo presentes na bacia hidrográfica do rio Apodi-Mossoró



Fonte: Elaborado pelos autores.

A Figura 18 representa os níveis de fragilidade com relação ao tipos de uso da terra, os quais foram classificados pelo método *minimum distance*, em 05 tipologias distintas, de modo que pra cada uma foi atribuído um peso e seu respectivo nível de fragilidade (Tabela 17). O índice *Kappa*, para esta classificação, apresentou acurácia satisfatória de 0,72, indicando forte concordância.

Figura 18 - Espacialização da cobertura e uso da terra na bacia hidrográfica do rio Apodi-Mossoró



Fonte: Elaborado pelos autores

A partir dessa classificação, foram quantificadas as unidades de caatinga arbustiva arbórea fechada (CAAF), caatinga arbustiva arbórea aberta (CAAA), corpos hídricos, agricultura e áreas urbanas. No que se refere aos níveis de fragilidade de uso e cobertura da terra, pode-se constatar que, pouco mais de 74% da bacia hidrográfica, é representada pelos níveis muito baixo e baixo (Tabela 17).

Santos *et al.* (2000) afirmam que a cobertura de caatinga nativa apresenta funções como a diminuição significativa da produção de sedimentos, que é importante no controle de erosão. Porém, a caatinga aberta não apresenta o mesmo nível de proteção, como afirmam Francelino *et al.* (2003), cuja predominância é de espécies de pequeno porte e herbáceas, que devido ao baixo índice de cobertura, ocorrem em solos rasos e pedregosos, além da ocorrência de atividades silvipastoris.

Tabela 17 - Classificação e quantificação dos tipos de cobertura da bacia hidrográfica do rio Apodi-Mossoró

Tipo de cobertura	Classe de Fragilidade	(Peso)	Área(%)
Área Florestal	Muito Baixo	1	40,3

Área Campestre	Baixo	2	33,4
Corpos Hídricos	Médio	3	1,26
Área Agrícola	Alto	4	19,8
Urbanização	Muito Alto	5	2,3

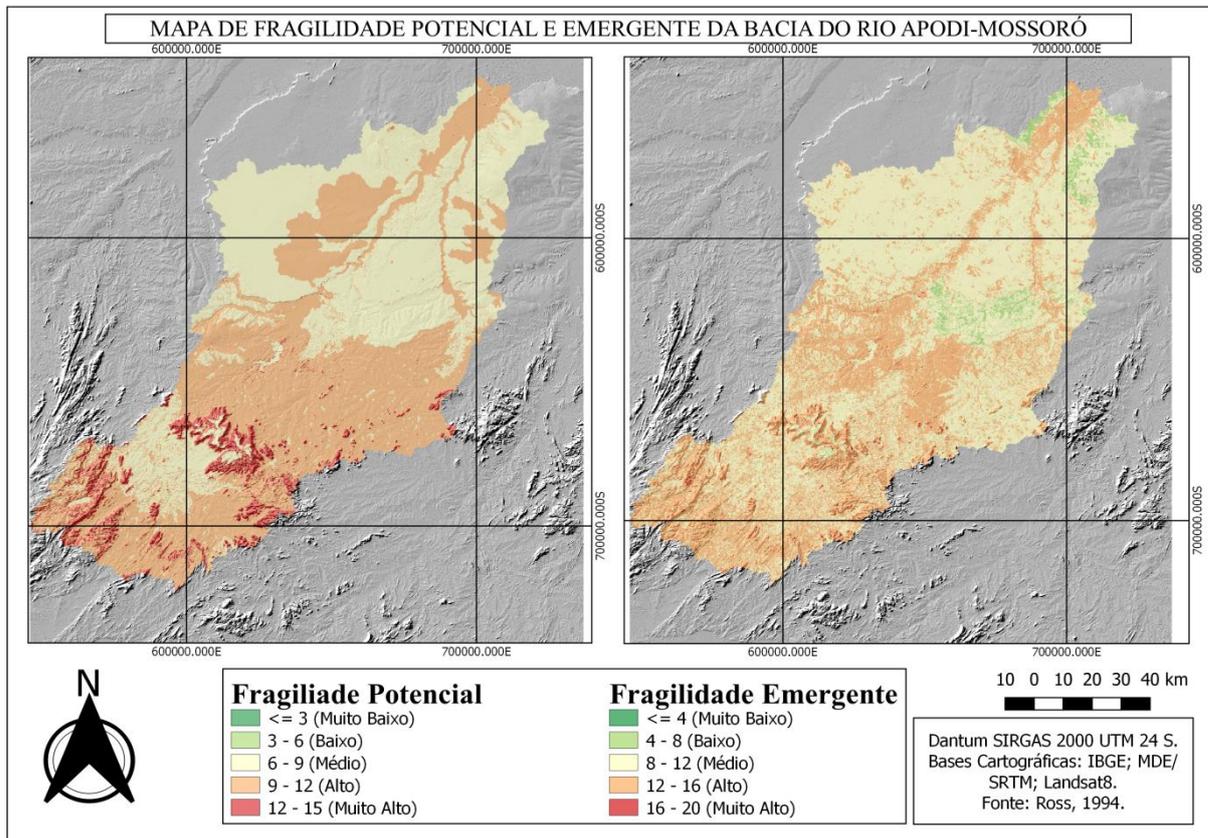
Fonte: Elaborado pelos autores.

A fragilidade potencial (Figura 19) é baseada nos parâmetros de clima, pedologia e declividade média. Na bacia hidrográfica, predominam os níveis médio e alto somando pouco mais de 96% (Tabela 18).

A fragilidade de nível muito alta ocorre, principalmente, na região serrana de Portalegre e Martins, influenciada, sobretudo, pelas características da declividade média elevada. O que corrobora com os resultados observados por Silva *et al.* (2020), que apontam, na região sul da bacia, as taxas de erosividade mais elevadas da bacia hidrográfica do rio Apodi-Mossoró.

Pires *et al.* (2015) e Santos e Marchioro (2020) apontam que a relação entre a declividade e os eventos de precipitação se configura como ambiente naturalmente frágil. Ainda de acordo com Santos e Marchioro (2020), o relevo montanhoso e escarpado possui declividades superiores a 30%, que, atrelado a solos como cambissolos e neossolos, tem, como característica, níveis de fragilidade alta e muito alto. Ramos e Coelho (2019) afirmam que os níveis de fragilidade média e alta tem correlação com áreas urbana e encostas de tabuleiros.

A fragilidade emergente (Figura 19) é resultante da soma da fragilidade potencial ao parâmetro de uso da terra com a fragilidade potencial. A cobertura vegetal foi importante na redução das áreas de fragilidade muito alta, que foi de 5,11% para 0,67%, e alta, partindo de 42,74% para 40,45% (Tabela 18). Barros *et al.* (2019) indicam que a cobertura florestal ocorre principalmente em áreas de baixa fragilidade ambiental. Neste sentido, Santos e Marchioro (2020) afirmam que o uso da terra com mata nativa se apresenta como fator atenuante da fragilidade. Diodato *et al.* (2019) corroboram sobre o efeito atenuante da vegetação, que ocorre, principalmente, na área serrana, porção superior da bacia hidrográfica do rio Apodi-Mossoró.

Figura 19- Mapa de fragilidade emergente da Bacia do rio Apodi-Mossoró

Fonte: Elaborado pelos autores.

Tabela 18 - Soma das pontuações (A = Pluviosidade; B = Declividade; C = Pedologia; D = Uso e ocupação da terra) e definição das classes de Fragilidade Potencial e Emergente

Pontuações A + B + C			= Fragilidade Potencial	(Área)	+ D	= Fragilidade Emergente	(Área)	Descrição das classes
1	1	1	03	-	1	04		Muito Baixa
2	2	2	04 a 06	-	2	05 a 08	5,4%	Baixa
3	3	3	07 a 09	42%	3	09 a 12	55,3%	Média
4	4	4	10 a 12	51,9%	4	13 a 16	38,4%	Alta
5	5	5	13 a 15	6,5%	5	17 a 20	0,70%	Muito Alta

Fonte: Elaborado pelos autores

De acordo com Pires *et al.* (2015), o mapeamento da fragilidade ambiental se configura como ferramenta fundamental na elaboração das diretrizes para um melhor aproveitamento do território. Barros *et al.* (2019) ressaltam a importância da análise para o auxílio no ordenamento e preservação da unidade de planejamento. Ramos e Coelho (2019) afirmam que esta análise auxilia no manejo de bacias hidrográficas, bem como na execução de Plano Diretor Municipal.

5.5 CONCLUSÃO

Os modelos cartográficos indicam como resultado da fragilidade potencial, destacada pelos aspectos físicos da bacia hidrográfica, níveis de fragilidade elevada, sobretudo, devido aos parâmetros de declividade, condições climáticas e tipos de solo.

Por meio do mapeamento, foi possível avaliar e quantificar os níveis de fragilidade da bacia hidrográfica, de modo que o nível predominante na bacia é o de fragilidade emergente média, seguido de fragilidade alta.

Com relação aos tipos de uso, especialmente, no que se refere à importância da cobertura florestal, que predomina em áreas de maior fragilidade potencial, apresenta como característica seu efeito atenuante na quantificação da fragilidade emergente. Em suma, a pesquisa atendeu seu objetivo de apresentar de que forma os diferentes tipos de uso da terra influenciam nos níveis de fragilidade, para o entendimento dos processos de degradação da bacia hidrográfica do rio Apodi-Mossoró – RN.

Por fim, com o auxílio de ferramentas SIGs, aliando técnicas de sensoriamento remoto com a metodologia de fragilidade ambiental, com base na álgebra de mapas, a partir dos planos de informações referentes as características climáticas, de declividade, de solo e de uso da terra, produziu resultados importantes relacionados aos aspectos ambientais de bacias hidrográficas, os quais podem servir como subsídios para o manejo da bacia hidrográfica do rio Apodi-Mossoró, bem como, o planejamento de políticas públicas junto ao comitê de bacia hidrográfica.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O desenvolvimento do presente estudo possibilitou avaliar e quantificar o percentual de degradação, a partir da espacialização dos planos de informações, identificando as áreas de conflitos e de maior fragilidade.

Os parâmetros morfométricos, obtidos a partir do primeiro artigo, fornecem informações relevantes sobre a suscetibilidade, das sub-bacias, a enchentes. Apesar das sub-bacias 03, 11, 13 e 18 apresentarem um formato achatado, em condições pluviométricas normais, não apresentam suscetibilidade a enchentes.

Ainda de acordo com os resultados do primeiro artigo, a partir da aplicação do DFC, foi possível determinar o grau de deterioração de cada sub-bacia. O total da deterioração das sub-bacias estudadas é classificado como alta com, 27,77%, em que, nas sub-bacias 01 e 02, apresentaram os maiores percentuais no grau de deterioração sendo indicadas como áreas prioritárias na atenção do poder público.

A avaliação e quantificação dos níveis de fragilidade potencial e emergente da bacia hidrográfica apresentaram resultados significativos, de modo que, o percentual do nível predominante de fragilidade resultou na categoria média, seguido da categoria alta. A cobertura vegetal nas áreas de maior fragilidade potencial, como áreas com altas declividades, foi importante na mitigação da fragilidade muito alta e alta.

A aplicação de técnicas de geoprocessamento é uma etapa fundamental na gestão de sistemas ambientais, como é o caso das bacias hidrográficas, visto que possibilita, por meio do uso de técnicas, facilitar a análise da morfometria, auxiliar no diagnóstico físico-conservacionista - DFC e no levantamento da fragilidade ambiental, proporcionando uma visão detalhada das áreas prioritárias, quanto ao grau de deterioração, e das áreas mais frágeis, criando maiores possibilidades e subsídios, junto ao Comitê de Bacia Hidrográfica, na construção de políticas públicas que venham a manejar de forma adequada essas áreas, principalmente por se tratar de uma bacia hidrográfica de grande importância para o desenvolvimento local, regional e do Rio Grande do Norte.

Por fim, ambos os artigos apresentam relevância no estudo da degradação ambiental, possibilitando assim, como objetivo da pesquisa, a quantificação do grau de degradação da bacia hidrográfica do rio Apodi-Mossoró, por meio de parâmetros biofísicos, tendo como benefício a espacialização e quantificação das áreas de conflitos e de maior fragilidade ambiental, e, dessa maneira, fornecendo subsídios para atenuação dos processos de degradação na bacia hidrográfica do rio Apodi-Mossoró – RN

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUIRRE, N. **Manual para el Manejo Sustentable de Cuencas Hidrográficas**. Loja-Ecuador: Universidad Nacional de Loja, 2007. 115p.

ALVARES, C. A. *et al.* Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v.22, n.6, p.711-728, 2014.

ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Catálogo de Metadados da ANA**. Disponível em <https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/api/records/b228d007-6d68-46e5-b30d-a1e191b2b21f>. Acesso em: 23 de jun de 2021

APARECIDO, C. F. F. *et al.* Manejo de bacias hidrográficas e sua influência sobre os recursos hídricos. **Irriga**, Botucatu, SP, v. 21, n. 2, p. 239-256, maio - junho, 2016.

ARAÚJO JÚNIOR, A. A. A. *et al.* Diagnóstico físico conservacionista de 10 microbacias do rio Capivara - Botucatu (SP), visando o uso racional do solo. **Irriga**, Botucatu, SP, v.07, n.2, p. 106-122, 2002.

BARACUHY, J.G.V. **Manejo integrado de microbacias no semi-árido nordestino: estudo de um caso**. Tese (Doutorado) – Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande 2001.

BARACUHY, J. G. V. *et al.* Deterioração físico-conservacionista da microbacia hidrográfica do riacho Paus Brancos, Campina Grande, PB. **Rev. bras. eng. agríc. ambient.**, Campina Grande, PB, v. 7, n. 1, p. 159-164, abr. 2003.

BARBOSA M. E. F.; VALDEVINO D. S. Mapeamento geomorfológico do estuário do rio assú, estado do Rio Grande do Norte. *In: Geoprocessamento aplicado: contexto multidisciplinar* (E-book). SOUSA, R. F. e FALCÃO, E. C.(org.). João Pessoa: IFPB, 2017. p 197–214.

BENATTI, D. P. *et al.* Morfometria e uso e cobertura de uma microbacia no município de Sete Barras, São Paulo. **Irriga**, Botucatu, SP, v. 20, n. 1, p. 21-32, jan./mar. 2015.

BERNARDINO, S. M, D.; OLIVEIRA, A. M. DE; DINIZ, M. T. M. Georges Bertrand e a Análise Integrada da Paisagem em Geografia. **Revista de Geociências do Nordeste**, v. 4, n. 2, p. 63-80, jul. 2018.

BARROS, M. H. S. *et al.* Geotecnologias aplicada a análise de fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do Ribeirão Periquito (MS). **Ciência Geográfica**. Bauru, SP, v. 23, 2019.

BERTOLINI, W. Z.; DEODORO, S. C. e BOETTCHER, N. Análise morfométrica da bacia do rio Barra Grande–Oeste de Santa Catarina. **Rev. Bras. Geomorfol.** (Online), São Paulo, SP, v.20, n.1, p.3-17, Jan./Mar. 2019.

BERTRAND, Georges. Paisagem e geografia física global: esboço metodológico. Tradução Olga Cruz – Caderno de Ciências da Terra. Instituto de Geografia da Universidade de São Paulo, nº13, 1972.

BERTRAND, G.; BERTRAND, C. **Uma geografia transversal e de travessias: o meio ambiente através do território e das temporalidades**. Maringá: Massoni, 2007.

BOLFE, É. L. *et al.* Avaliação da classificação digital de povoamentos florestais em imagens de satélite através de índices de acurácia. **Rev. Árvore**, Viçosa, MG, v.28, n.1, p.85-90, feb. 2004.

BRASIL. Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L9433.htm. Acesso em: 17 ago. 2019.

BRUBACHER, J. P.; OLIVEIRA, G. G. e GUASSELLI, L. A. Suscetibilidade de enchentes a partir da análise das variáveis morfométricas na bacia hidrográfica do rio dos Sinos/RS. *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO – SBSR*, 15., 2011, Curitiba, PR, **Anais...** Curitiba, PR:INPE. p.1279. Disponível em: <http://marte.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/marte/2011/09.02.22.57/doc/@indice.htm?languagebuton=en>. Acesso em: 06 ago. 2020.

CABRAL, T. L. NUMMER, A. V. e BATEIRA, C. V. M. Indicadores morfométricos como suporte para a classificação de voçorocas em sub-bacias hidrográficas no município de Cacequi, RS. **Rev. Bras. Geomorfol.** (Online), São Paulo, v.21, n.1, (Jan-Mar) p.139-154, 2020. Disponível em: < <http://www.lsie.unb.br/rbg/index.php/rbg/article/view/1670> >. Acesso em: 06/08/2020

CAMPOS, S. *et al.* Geoprocessamento Aplicado na Caracterização Morfométrica da Microbacia do Ribeirão Descalvado – Botucatu, SP. **Irriga**, Botucatu, SP, Edição Especial, 20 anos Irriga + 50 anos FCA, p. 52-65, 2015.

CARLOS JÚNIOR, A. A. **Mapeamento das áreas mecanizáveis da bacia hidrográfica Apodi-Mossoró aplicando avaliação multicriterial**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Semi-Árido, Programa de Pós-graduação em Manejo de Solo e Água, Mossoró, 2016.

CARVALHO, A. P. V.; BRUMATTI, D. V.; DIAS, H. C. T. Importância do manejo da bacia hidrográfica e da determinação de processos hidrológicos. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável**, Viçosa, MG, v. 2, n. 2, p. 148-156, 2012.

CARVALHO, P.G.M. e BARCELLOS F.C. Objetivos de Desenvolvimento Sustentável: muita ambição para poucos dados. *In: ENCONTRO NACIONAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA ECOLÓGICA*, 12., 2017, Uberlândia, MG, **Anais...** Uberlândia, MG, 2017. Disponível em: <http://www.ecoeco2017.sinteseeventos.com.br/arquivo/downloadpublic?q=YToyOntzOjY6InBhcmFtcyI7czozNDoiYT0xOntzOjEwOiJJRF9BUiFVSZPIjtzOjM6IjY5OSI7fSI7cz0xOiJoIjtzOjMyOiJkYWE3YzQ4YjA3YjgyNThjNWVhYDU0ZTZjMmQ1YzQ1YyI7fQ%3D%3D>. Acesso em: 21 jul. 2019

CARVALHO, R. G. **Análise de sistemas ambientais aplicada ao planejamento: estudo em macro e meso escala na região da bacia hidrográfica do rio Apodi-Mossoró, RN/ Brasil**. Tese (Doutorado). Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2011.

CAVALCANTI L. C. S.; CORRÊA A. C. B. Geossistemas e geografia no Brasil. **Revista Brasileira de Geografia**, Rio de Janeiro, RJ, v. 61, n. 2, p. 3-33, jul./dez. 2016.

CHRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de Sistemas Ambientais**. São Paulo: Editora Edgard Blucher LTDA, 1999.

CLAUDINO, W. V. *et al.* Atributos físicos e conservacionistas da bacia hidrográfica do Rio Santa Helena. **Nativa, Sinop**, Pesquisas Agrárias e Ambientais, v. 8, n. 1, p. 91-96, jan./fev. 2020.

CORSEUIL, C. W. *et al.* Geoprocessamento e sensoriamento remoto aplicado na determinação da aptidão agrícola de uma microbacia. **Irriga**, Botucatu, SP, v. 14, n. 1, p. 12-22, jan./mar. 2009.

COSTA, J. J. FONTES A. L. e SOUZA R. M. O GTP (Geossistema/Território/Paisagem) na Planície Costeira Sergipana, Brasil. **Revista Geonorte**, Edição Especial, n. 1, n.4, p. 46 – 58, 2012.

CREPANI, E. *et al.* Uso de sensoriamento remoto no zoneamento ecológico-econômico *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO*. 8., 1996, Salvador, BA, **Anais...** Salvador, BA: INPE, 1996. p. 129-135. Disponível em: <http://marte.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/lise/2004/08.25.13.20/doc/@sumario.htm>. Acesso em: 06 ago. 2020.

DENG, Z. *et al.* Land use/land cover classification using time series Landsat 8 images in a heavily urbanized área. **Advances in Space Research**. v. 63, p. 2144-2154, ISSN 0273-1177, 2019.

DIAS, J. e SANTOS, L. A paisagem e o geossistema como possibilidade de leitura da expressão do espaço sócio-ambiental rural, **Confins**. 2007, Disponível em: <https://doi.org/10.4000/confins.10>. Acesso em: 23 de jun de 2021.

DICTORO, V. P; HANAI, F. Y. Implementação, efetividade e conhecimento dos instrumentos da PNRH na bacia hidrográfica Piancó-Piranha-Açú: uma visão de alguns membros do seu respectivo comitê. *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS*, 12., 2015, São Paulo, SP, **Anais...** São Paulo, SP, 2015.. Disponível em: http://www.evolvedoc.com.br/sbrh/detalhes-63_implementacao-efetividade-e-conhecimento-dos-instrumentos-da-pnrh-na-bacia-hidrografica-pianco-piranha-acu-uma-visao-de-alguns-membros-do-seu-respectivo-comite. Acesso em: 17 ago. 2019.

DINIZ M. T. M. *et al.* Mapeamento geomorfológico do estado do Rio Grande do Norte. **Rev. Bras. Geomorfol. (Online)**, São Paulo, SP, v.18, n.4, out./dez, p.689-701, 2017.

DONHA, A. G.; SOUZA, L. C. de P. e SUGAMOSTO, M. L..Determinação da fragilidade ambiental utilizando técnicas de suporte à decisão e SIG. **Rev. bras. eng. agríc. ambient. (online)**, vol.10, n.1, pp.175-181. ISSN 1415-4366, 2006.

DIODATO, M. A. *et al.* Mapeamento da densidade e da cobertura vegetal da bacia hidrográfica do rio Apodi-Mossoró-RN. *In: CONGRESSO NORDESTINO DE ENGENHARIA FLORESTAL*, 5., 2019, Mossoró, RN, **Anais...** Mossoró, RN: UFERSA, 2019.

DORNELLAS, P. C. *et al.* Análise morfométrica da bacia do alto rio Paraíba, região semiárida do estado da Paraíba. **Rev. Bras. Geomorfol. (Online)**, São Paulo, SP, v.21, n.3,

jul./set, p.601-614, 2020.

FERRETTI, E. R. **Diagnóstico físico-conservacionista - DFC : instrumento para o plano de bacias hidrográficas: uma aplicação na bacia do rio Tagaçaba - município de Guaraqueçaba – PR.** Tese – Universidade Federal do Paraná, Programa de Pós Graduação em Geologia, Curitiba, 2003.

FONTES, E M G *et al.* Conservação, recuperação e uso sustentável de ecossistemas. *In: Vida terrestre: contribuições da Embrapa.* VILELA, G. F. et al. (org.). Área de Informação da Sede-Livro científico (ALICE), 2018. p. 27.

FORNAZIEIRO, M. P. A. e PANCHER, A. M. Geotecnologias aplicadas à análise da fragilidade ambiental de reservatórios interiores destinados ao turismo. **Caderno Prudentino de Geografia**, Presidente Prudente, SP, n. 39 v. 1, p. 127-145, ISSN: 2176-5774, 2017.

FRANCELINO, M. R. et al. Contribuição da caatinga na sustentabilidade de projetos de assentamentos no sertão norte-rio-grandense. **Rev. Árvore**, Viçosa, MG, v. 27, n. 1, p. 79-86, feb. 2003.

FREITAS, F. J. et al. Erosão em entressulcos sob caatinga e culturas agrícolas. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, Viçosa, MG, v. 32, n. 4, p. 1743-1751, aug. 2008.

GALVÃO, W. S., MENESES, P. R. Avaliação dos sistemas de classificação e codificação das bacias hidrográficas brasileiras para fins de planejamento de redes hidrométricas. *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO*, 12., Goiânia, GO, **Anais...** Goiânia, GO.

GASPARI, F. J. et al. **Elementos metodológicos para el manejo de cuencas hidrográficas.** E-Book. 1a ed. - La Plata : Universidad Nacional de La Plata, 2013.

GASPARINI, K. A. C. et al. Técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto aplicadas na identificação de conflitos do uso da terra em Seropédica-RJ. **Floresta Ambient.**, Seropédica, v. 20, n. 3, p. 296-306, sept. 2013.

GRIGIO, A M. **Aplicação de sensoriamento remoto e sistema de informação geográfica na determinação da vulnerabilidade natural e ambiental do Município de Guamaré(RN): simulação de risco às atividades da indústria petrolífera.** Dissertação (Mestrado em Geodinâmica; Geofísica) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2003.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Manual Técnico de uso da terra.** Manual Técnico em Geociências número 7. 3ª ed. Rio de Janeiro: Divisão de Geociências, 2013. 171 p.

_____. **Indicadores Brasileiros para os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável.** 2018

Disponível em: <https://ods.ibge.gov.br>. Acesso em nov. 2019.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA; Embrapa – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Mapa de solos do Brasil.** Rio de Janeiro:

IBGE, 2001 – Disponível em: <https://mapas.ibge.gov.br/tematicos/solos.html>. Acesso em: 07 jun. 2019.

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Banco de Dados de Queimadas**. Disponível em: <https://queimadas.dgi.inpe.br/queimadas/bdqueimadas#sobre-o-bdqueimadas>. Acesso em: 23 de jun de 2021.

JACOMINE, P. K. T. *et al.* Levantamento exploratório-reconhecimento de solos do Estado do Rio Grande do Norte. **Embrapa Solos-Séries anteriores (INFOTECA-E)**, 1971. Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/330796>. Acesso em: 05 fev. 2021.

LIMA, W. P. **Hidrologia florestal aplicada ao manejo de bacias hidrográficas**. Piracicaba: ESALQ, USP, Departamento de Ciências Florestais. 2ª Edição 2008. 245p. (Apostila)

MACHADO, P. B. **Conflitos pelo uso da água: papel mediador do Comitê Da Bacia Hidrográfica Do Lago De Palmas – TO**. Dissertação (Mestrado Profissional) – Universidade Federal do Tocantins, Palmas, TO, 2019.

MAIA, R. B. Geomorfologia dos maciços de Portalegre e Martins (RN). *In: Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável na Região Serrana de Martins e Portalegre, Rio Grande do Norte*. R.G. Guimarães e S. R. M. Medeiros (org.). Mossoró: UERN, 2016.

MAIA, R. P. e BEZERRA, F. H. R. Geomorfologia e neotectônica da bacia hidrográfica do rio Apodi-Mossoró – NE/Brasil. **Mercator**, Fortaleza, CE, v. 11, n. 24, p. 209-228, jan./abr. 2012.

MEDEIROS, R. B. JESUS, C. S. ALVES, L. B. Fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do córrego formoso, Bonito/Mato Grosso do Sul. *A Geografia Brasileira na Ciência-Mundo: produção, circulação e apropriação do conhecimento*. *In: ENANPEGE*, 12., 2019, São Paulo, SP, **Anais...** São Paulo, SP, 2019.

MELO, J. A .B. et al. Análise morfométrica da microbacia do Riacho do Tronco, Boa Vista-PB: uma ferramenta ao diagnóstico físico-conservacionista. **Revista de Geografia**, volume especial VIII SINAGEO, n. 3, p. 331-346, 2010.

MITASOVA, H.; MITAS, L.: Interpolation by Regularized Spline with Tension: I. **Theory and Implementation**, **Math. Geol.**, 25, p. 641–655, 1993.

MORATO, R. G. **O Geoprocessamento Aplicado À Análise Da Fragilidade Ambiental**. TCC – Universidade de São Paulo, Departamento de Geografia. São Paulo, 2000.

NASCIMENTO, R. V. do. **Geoprocessamento aplicado a gestão de informações territoriais do município de Grossos-RN: estudo multitemporal de uso e ocupação do solo**. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Curso de Pós-Graduação em Geociências, 2004.

NETELER, M. and MITASOVA, H. **Open Source GIS: A GRASS GIS Approach**, 3ª Edition, Springer: New York, 2008. 406p.

OLIVEIRA, M. A.; QUEIROZ, R. A. C. A poluição do rio Mossoró (RN) e a ação intervencionista do Ministério Público. *In: ENCONTRO NACIONAL DA ANPPAS*, 6., 2008, Brasília, DF, **Anais...** Brasília, DF. 2008.

OLIVEIRA, U. C.; OLIVEIRA, P. S. Mapas de kernel como subsídio à gestão ambiental: análise dos focos de calor na Bacia Hidrográfica do Rio Acaraú, Ceará, nos anos 2010 a 2015. **Espaço Aberto**, PPGG - UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, v. 7, n.1, p. 87-99, 2017.

ONU - ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Transformando nosso mundo: a Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável**. Brasília, DF, 2015. Disponível em: Disponível em: <https://bit.ly/2vsiWQq> . Acesso em: 22 nov. 2019.

PADILHA, D. G. **Geoprocessamento aplicado na caracterização da fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do arroio grande, RS**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul. 2008.

PEREIRA, C. F. P. *et al.* Análise morfométrica da bacia hidrográfica do rio dos Patos, GO. **Ipê Agronomic Journal** - v.3, n.1, 2019.

PIRAJÁ, R. V.; REZENDE FILHO, A. T. Análise Morfométrica da Bacia Hidrográfica do Córrego Ceroula em Mato Grosso Do Sul. **Geofronter**, Campo Grande, PB, n. 5, v. 1, p. 35-58, 2019.

PIRES, L. C. *et al.* Análise da fragilidade ambiental do município de Aquidauana-MS. **Caderno de Geografia**, v.25, n.43, 2015.

PISSINATI, M. C.; ARCHELA, ROSELY S. Geossistema território e paisagem - método de estudo da paisagem rural sob a ótica bertrandiana. **Geografia**, v. 18, n. 1, jan./jun. 2009.

QGIS DEVELOPMENT TEAM. **QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project**. Versão 2.18 2019. Disponível em: <http://qgis.osgeo.org>.

RAMOS, A. L. D.; COELHO, A L. N. Avaliação da fragilidade ambiental na bacia hidrográfica do rio Jacaraípe e APA da Lagoa Jacuném, Serra – ES. **Ciência Geográfica**. Bauru, SP, v. 23, 2019.

REBOITA, M. S. *et al.* Análise sinótica e numérica de um VCAN no Nordeste do Brasil (Synoptic and numerical analysis of a VCAN in the Brazilian Northeast). **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 10, n. 1 p. 19, 2017.

ROCHA, A. B. *et al.* Mapeamento geomorfológico da bacia do Apodi-Mossoró-RN-NE do Brasil. Mercator - **Revista de Geografia da UFC**, v.8, n.16, 2009.

ROCHA, J. S. M. **Manual de Projetos Ambientais**. Santa Maria: UFSM, 1997, 446 p.

ROCHA, J. V. **O sistema de informações geográficas no contexto do planejamento integrado de bacias hidrográficas**. 2006. Disponível em: <https://www.unicamp.br/fea/ortega/livro/c20-sigpibh-jansle.pdf> . Acesso em: 15 jun. 2019.

RODRIGUES, J. M. M. e SILVA, E. V. **Planejamento e gestão ambiental: subsidios da geocologia das paisagens e da teoria geossistemica**. Fortaleza: Edições UFC, 2013.

ROLDÃO, A. F. PETRUCCI, E. CASTRO, F. S. Análise do uso e ocupação do solo da bacia do córrego Água Vermelha, município de Uberlândia-MG, por meio do *software* livre Qgis. *In: Os desafios da Geografia Física na fronteira do conhecimento* (E-book). PEREZ FILHO, A.; AMORIM, R. R. (org.). Campinas: Instituto de Geociências – UNICAMP, p 5170-5182. 2017.

ROMEIRO C. M. e GONTIJO B. M. A aplicação da metodologia GTP (Geossistema, Território e Paisagem) como subsídio à compreensão dos conflitos socioambientais na Região da Serra do Cabral (MG). **Revista Geografia em Atos**, Departamento de Geografia, Faculdade de Ciências e Tecnologia, UNESP, Presidente Prudente, SP, v. 03, n. 10, p. 113-146, jan./abr., ISSN: 1984-1647, 2019.

ROSS, J. L. S. Análise Empírica da Fragilidade dos Ambientes Naturais e Antropizados. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, SP, n. 8, p.63-74, 1994.

_____. Landforms and environmental planning: Potentialities and Fragilities. **Revista do DG-USP**, São Paulo, SP, p. 38-51, 2012.

ROY, David P. *et al.* Landsat-8: Science and product vision for terrestrial global change research. **Remote sensing of Environment**, v. 145, p. 154-172, 2014.

SANTOS, C. A. G. *et al.* Influência do tipo da cobertura vegetal sobre a erosão no semi-árido Paraibano. **Rev. bras. eng. agríc. ambient.**, Campina Grande, PB, v. 4, n. 1, p. 92-96, apr. 2000.

SANTOS, F. A. e AQUINO, C. M. S. Diagnóstico físico conservacionista aplicado ao estudo da desertificação nos municípios de Castelo do Piauí e Juazeiro do Piauí, Nordeste, Brasil. **Revista de Geografia**, Recife, PE, v. 34, n. 2, 2017.

SANTOS, C. A. G; SILVA, R. M; SRINIVASAN, V. S. Análise das perdas de água e solo em diferentes coberturas superficiais no semi-árido da Paraíba. **Revista OKARA: Geografia em debate**, João Pessoa, PB, v.1, n.1, p. 1-152, 2007.

SANTOS, J. U.; MARCHIORO, E. Análise empírica ambiental da bacia hidrográfica do rio Duas Bocas, Espírito Santo, Brasil. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, SP, v, 39, 2020.

SANTOS, L. L. RIBEIRO, V. O. SILVA, J. L. A. Aplicação de geotecnologias gratuitas e livres na delimitação e análise do uso e cobertura do solo na da Bacia Hidrográfica do córrego Laranja Doce. *In: SIMPÓSIO DE GEOTECNOLOGIAS DO PANTANAL*, 6., 2016, Cuiabá, MT, **Anais...** Cuiabá, MT 2016, p. 936-945. Disponível em: <<https://www.geopantanal.cnptia.embrapa.br/2016/cd/pdf/p100.pdf>>. Acesso em: 17 ago. 2019

SCHIAVO, B. N. V.; HENTZ, Â. M. K.; CORTE, A. P. D. SANQUETTA C. R. Caracterização da fragilidade ambiental de uma bacia hidrográfica urbana no município de Santa Maria – RS. **REGET**, v. 20, n. 1, p.464-474, jan./abr. 2016,

SEMARH- Secretaria de Estado dos Recursos Hídricos. **Plano Estadual de Recursos Hídricos**. Natal, 1998.

SERVIÇO FLORESTAL BRASILEIRO. **Inventario Florestal Nacional: principais resultados: Rio Grande do Norte**. Brasília, DF: MMA, 2018. 64 p.

SILVA, B. K. N *et al.* . Avaliação de Extremos de Erosividade Causados pela Precipitação na Bacia do Rio Apodi/Mossoró-RN. **Rev. bras. meteorol.**, São Paulo, SP, 2020.

SRINIVASAN, V. S.; SANTOS, C. A. G.; GALVÃO C. O. Erosão Hídrica do Solo no Semi-árido Brasileiro: A Experiência na Bacia Experimental de Sumé RBRH. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 8, n.2, p. 57–73, abr./jun. 2003,.

SILVA I. C. e FURRIER M. Análise morfológica e morfométrica das sub-bacias dos rios Cascata e Tinto, litoral norte do estado da Paraíba – Brasil. **Rev. Bras. Geomorfol.** (Online), São Paulo, SP, v.20, n.2, p.239-254, abr./jun. 2019.

SOARES M R G J.; *et al.* Avaliação do método de diagnóstico físico conservacionista (DFC) em bacias hidrográficas através da estatística multivariada. **Revista Geografar - Curitiba**, PR, v.9, n.2, p.146-177, dez. 2014.

SOBRAL, N. G. **Sistema de gestão e cobrança pelo uso da água no Rio Grande do Norte: o caso da Bacia Hidrográfica do Rio Apodi-Mossoró e seu uso para o saneamento básico**. Monografia (Graduação em Economia) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Centro de Ciências Sociais Aplicadas, Departamento de Ciências Econômicas. Natal, RN, 2019.

SOUSA, R. F. FALCÃO, E. C. e COSTA, E. V. S. Metodologia para diagnóstico do uso e ocupação do solo utilizando geotecnologias. *In: Geoprocessamento aplicado: contexto multidisciplinar* (E-book). SOUSA, R. F. e FALCÃO, E. C.(org.), p 13-31, João Pessoa: IFPB, 2017.

SOUZA, R. J. **O sistema GTP (Geossistema-Território-Paisagem) aplicado ao estudo sobre as dinâmicas socioambientais em Mirante do Paranapanema-SP**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia. São Paulo, 2010.

SPRÖL, C.; ROSS, J. Análise Comparativa da fragilidade ambiental com aplicação de três modelos. **GEOUSP Espaço e Tempo (Online)**, n. 15, p. 39-49, jun. 2006.

STOQUI, V B. **Fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do Córrego da Cascata - Presidente Prudente/SP-BR**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista, 2018.

TELES, G. C. PIMENTEL. M. A. S. Aplicação metodológica do modelo gtp (geossistema, território e paisagem) para estudos ambientais na reserva extrativista de São João da Ponta-PA. *In: ENCONTRO NACIONAL ANPEGE*, 6., 2015, **Anais**. ISSN 2175-8875

TRAJANO, S. R. R. S. *et al.* Análise morfométrica de bacia hidrográfica: subsidio à gestão territorial, estudo de caso no alto e médio Mamanguape. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento / Embrapa Gestão Territorial**, Campinas, SP, p.33. 2012.

TRICART, J. **Ecodinâmica**. Série recursos naturais e meio ambiente. Rio de Janeiro: IBGE, 1977.

TROMBETA, L. R; LEAL, A. C. Planejamento ambiental e geoecologia das paisagens: contribuições para a bacia hidrográfica do córrego guaiçarinha, município de Álvares Machado, São Paulo, Brasil. **Revista Formação (online)**, vol. 3; n.23, p. 187-216, mai./ago. ISSN: 2178-7298. ISSN-L: 1517-543X, 2016.

VALE, J.R. B. COSTA J. A. SANTOS, J. F. Análise comparativa de métodos de classificação supervisionada aplicada ao mapeamento da cobertura do solo no município de medicilândia, Pará. **InterEspaço**, Grajaú, MA, v. 4, n. 13 p. 26-44, 2018.

VALLE, I. C. FRANCELINO, M. R. PINHEIRO, H. S. K. Mapeamento da Fragilidade Ambiental na Bacia do Rio Aldeia Velha, RJ. **Floresta e Ambiente** 2016; 23(2): 295-308. ISSN 2179-8087 (online). Disponível em:< <http://dx.doi.org/10.1590/2179-8087.107714>>. Acesso em: 18 ago 2019

VALLADARES, G. S. *et al.* Modelo multicritério aditivo na geração de mapas de suscetibilidade à erosão em área rural. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, DF, v. 47, n. 9, p. 1376-1383, sept. 2012.

VIEIRA, D. M. S.; TORRES, J. L. R. e SANTOS, S. M. Diagnóstico ambiental e morfometria da microbacia do Córrego Cocal, afluente do Rio Uberaba. **Rev. Bras. Cien., Tec. e Inov.**, Uberaba, MG, v. 3, n. 1, p. 53-68, jan./jun. 2018.

VILLELA, S. M.; MATTOS, A. **Hidrologia aplicada**. McGraw-Hill do Brasil, São Paulo, 1975. 245p.