

**Doutorado em Desenvolvimento  
e Meio Ambiente**

**Associação Plena  
em Rede**



UFPI

UFC

UFRN

UFPB

UFPE

UFS

UESC

**ANÁLISE DA VULNERABILIDADE AMBIENTAL DA BACIA  
HIDROGRÁFICA DO RIO DOCE (RN)**

**FRANKLIN ROBERTO DA COSTA**

Natal – RN  
2018

FRANKLIN ROBERTO DA COSTA

**ANÁLISE DA VULNERABILIDADE AMBIENTAL DA BACIA  
HIDROGRÁFICA DO RIO DOCE (RN)**

Tese apresentada ao Curso de Doutorado em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Associação Plena em Rede (UFRN), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Doutor.

Orientadora: Professora Doutora Raquel Franco de Souza

Co-Orientador: Professor Doutor Sebastião Milton Pinheiro da Silva

Natal – RN  
2018

Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN  
Sistema de Bibliotecas - SISBI

Catálogo de Publicação na Fonte. UFRN - Biblioteca Setorial Prof. Leopoldo Nelson - -Centro de Biociências - CB

Costa, Franklin Roberto da.

Análise da Vulnerabilidade Ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Doce (RN) / Franklin Roberto da Costa. - Natal, 2018.  
244 f.: il.

Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Centro de Biociências. Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente/PRODEMA.

Orientadora: Profa. Dra. Raquel Franco de Souza.

Coorientador: Prof. Dr. Sebastião Milton Pinheiro da Silva.

1. Meio Ambiente - Tese. 2. SIG - Tese. 3. Diagnóstico Ambiental - Tese. 4. Vulnerabilidade Ambiental - Tese. I. Souza, Raquel Franco de. II. Silva, Sebastião Milton Pinheiro da. III. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. IV. Título.

RN/UF/BSE-CB

CDU 502

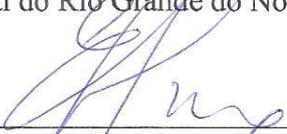
FRANKLIN ROBERTO DA COSTA

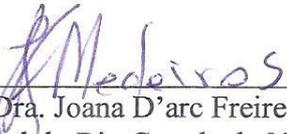
Tese apresentada ao Curso de Doutorado em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Associação Plena em Rede, Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Doutor.

Aprovada em:

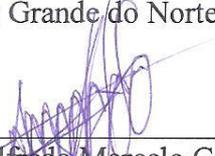
BANCA EXAMINADORA:

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Sebastião Milton Pinheiro da Silva  
Universidade Federal do Rio Grande do Norte (DDMA/UFRN)

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Eduardo Rodrigues Viana de Lima  
Universidade Federal da Paraíba (DDMA/UFPB)

  
\_\_\_\_\_  
Profa. Dra. Joana D'arc Freire de Medeiros  
Universidade Federal do Rio Grande do Norte (LARHISA/UFRN)

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Junio Alejandro Navoni  
Universidade Federal do Rio Grande do Norte (PRODEMA/UFRN)

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Alfredo Marcelo Grigio  
Universidade do Estado do Rio Grande do Norte (PPGCN/UERN)

## APRESENTAÇÃO

A Tese tem como título “**ANÁLISE DA VULNERABILIDADE AMBIENTAL DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO DOCE – RN**” e, conforme padronização aprovada pelo colegiado do DDMA local, se encontra composta por uma Introdução Geral, (embasamento teórico e revisão bibliográfica do conjunto da temática abordada, incluindo a identificação do problema da tese), uma Caracterização geral da Área de estudo, uma Metodologia geral empregada para o conjunto da obra e por 04 (quatro) capítulos que correspondem a artigos científicos, sendo o primeiro capítulo já publicado, o segundo e o terceiro capítulos já submetidos e o quarto a ser submetido. Todos os capítulos/artigos estão no formato dos periódicos indicados nos anexos, com os endereços dos sites, onde constam as normas dos periódicos destacados em cada capítulo/artigo.

## AGRADECIMENTOS

A elaboração desta tese é fruto das atividades exercidas durante toda minha vida acadêmica até o momento, em que procurei entender o uso das Geotecnologias voltadas ao planejamento ambiental, bem como dos conhecimentos cartográficos para o ensino da Geografia. Acredito que, como professor, tenho o dever de aprofundar conhecimentos, com o objetivo de colaborar para o meio acadêmico, bem como, por entender que a educação é um dos principais instrumentos para a formação de um cidadão crítico e reflexivo, mas que também seja capaz de resolver, a partir dos conhecimentos científicos, os problemas encontrados na humanidade.

Posso dizer que o êxito na elaboração da presente tese se deu pela contribuição de instituições e pessoas, as quais tenho a agradecer:

À Universidade do Estado do Rio Grande do Norte, pela concessão da bolsa de estudos no período de 2014-2018, e pela liberação das atividades acadêmicas, tornando possível a execução da pesquisa.

Ao Programa de Pós-graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente – PRODEMA/UFRN, por subsidiar os conhecimentos referentes ao desenvolvimento e o meio ambiente, nas disciplinas ofertadas.

À professora Doutora Raquel Souza, minha orientadora há 10 anos, desde os tempos do mestrado, no ano de 2008. Gostaria que soubesse que você é uma das pessoas mais importantes em minha vida, por me conceder todos os conhecimentos acadêmicos necessários para me tornar um profissional competente. Mas, principalmente, por ser uma pessoa compreensiva e carinhosa, com sorrisos largos e uma conversa amiga.

Ao professor Sebastião Milton, meu (co) orientador (considero como outro orientador) há 15 anos, desde os tempos da graduação, no ano 2003. Tinha a certeza que, um dia, poderia eternizar meus agradecimentos por tudo o que fez por mim, ao longo desses anos. De bolsista à professor universitário, seus ensinamentos e contribuições foram essenciais na minha vida acadêmica. Você foi, é, e sempre será meu eterno orientador, pois o considero um profissional competente e responsável com suas atividades. Particularmente, um grande amigo, que me ajudou em momentos difíceis que passei durante a execução da presente tese.

A Anderson Medeiros, Consultor em Geotecnologias e proprietário da Clickgeo, pelo apoio e formação no software QGIS. Seus ensinamentos foram importantes para o desenvolvimento e execução das atividades na tese.

Aos membros da banca, pelas valiosas contribuições e sugestões na melhoria da tese.

Aos amigos da turma do Doutorado: Bruno, Roberto, Maria Luiza, Juliana, Luciana, pelas atividades realizadas nos períodos das disciplinas;

Aos amigos do laboratório de Geoquímica da UFRN. Agradeço a todos pela ajuda na execução da tese e na recepção, sempre com conversas animadas, que permitiram dar mais forças para continuar na execução da tese.

Aos colegas do Curso de Geografia CAMEAM/UERN, por continuarem tocando o curso, sem a minha presença.

Aos meus pais, Marcos Costa e Ana Costa, pelo apoio dado ao longo de toda minha vida. Agradeço pelo amor incondicional, mesmo em momentos de ausência durante o período da elaboração da tese.

Ao meu irmão Marcos Felix, por me acompanhar nas atividades de campo, inúmeras vezes, bem como por contribuir diretamente na execução da tese, em um dos capítulos. Nunca imaginei trabalharmos juntos academicamente. Obrigado por compreender e perdoar todas as “raivas” que cometi a você.

Agradeço também as minhas cunhadas, Ranielly e Lidiane, meu cunhado Josué, meus sogros Chiquinho e Imaculada, minha vizinha Francicleide, a Maura Cavalcante e ao casal Larissa e Agassiel, pela ajuda nos momentos em que estava ausente em Natal e/ou Pau dos Ferros. Vocês foram peças importantes durante a execução da tese. Serei eternamente grato a todos.

À minha esposa e companheira Ana Paula, por aguentar, durante todo o período, minhas ausências, mesmo em momentos que estava em casa e não dava atenção. Não foi fácil. Mas conseguimos. Obrigado por estar ao meu lado sempre.

À minha filha Joana Maria, que, por muitas vezes, estive distante, sem poder dar a atenção devida. Seu pai te ama demais e fará de tudo para suprir o tempo que passei longe de você.

Ao meu anjinho Gabriel. Obrigado por me iluminar e me proteger sempre. Estará sempre em nossas vidas.

**À TODOS VOCÊS, OS MEUS MAIS SINCEROS AGRADECIMENTOS.**

## RESUMO

A Bacia Hidrográfica do Rio Doce – BHRD localiza-se na porção leste do Estado do Rio Grande do Norte. É uma unidade geográfica que vem, ao longo do tempo, apresentando um processo de ocupação desordenada, em suas mais variadas formas. A diversidade de sistemas ambientais existentes faz dela uma área potencialmente vulnerável a impactos ambientais negativos. Nesse contexto, a presente tese teve como objetivo identificar e mapear as características geoambientais e as vulnerabilidades natural e ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Doce – RN, tendo como suporte operacional e metodológico as geotecnologias. Como resultado, propôs-se uma nova delimitação da BHRD, na qual houve um acréscimo de 2,29% da sua área total oficial, passando de 387,8 km<sup>2</sup> para 396,7 km<sup>2</sup>. A caracterização geoambiental mostrou que a bacia vem sofrendo ações antrópicas que estão alterando a paisagem local, transformando áreas anteriormente consideradas “preservadas” em áreas impactadas, principalmente próximo aos grandes centros urbanos e nas nascentes dos rios do Mudo e Guajirú. Dentre as atividades mais impactantes, destacam-se: o cultivo sazonal, responsável pela retirada da vegetação natural, inclusive matas ciliares, para o cultivo de monoculturas e hortaliças no leito maior e menor dos rios Guajirú e do Mudo; a produção em áreas de assentamentos rurais e nas nascentes do rio Guajirú; o cultivo perene de coco, banana e açaí nos leitos dos rios perenes, próximo a Lagoa de Extremoz; a expansão urbana em direção ao Rio Mudo, nas proximidades da área urbana de Ceará – Mirim, às margens da Lagoa de Extremoz até a desembocadura e no Rio Guajirú, além dos povoados e distritos de Serrinha e Massaranduba e as zonas urbanas de Extremoz e Natal, e finalmente, a atividade mineradora, nas áreas onde aflora formação geológica Suíte Intrusiva Dona Inês. O resultado dessas atividades na bacia se refletiu nos mapeamentos das vulnerabilidades natural e ambiental. Na vulnerabilidade natural, a bacia foi classificada como Medianamente Estável/Vulnerável, equivalente ao valor 2,1, nível 4, com forte tendência a Moderadamente Vulnerável. Isso se dá pela pressão exercida nas áreas urbanas localizadas mais a leste da bacia, que apresentam rochas sedimentares da Formação Barreiras e sedimentos Quaternários, com uma geomorfologia, solos e vegetação alterados pela ação antrópica, mas minimizado pela distribuição mais regular das chuvas. Já para a vulnerabilidade ambiental, os resultados mostraram que a bacia é Moderadamente Vulnerável, com valor 2,4, nível 2. Nesse caso, a influência das ações antrópicas fez com que esses valores chegassem a 2,7 em áreas urbanas, diminuindo em direção a porção oeste da bacia. Conclui-se que o atual estágio de uso e ocupação da bacia está chegando ao limite da sustentabilidade. Os resultados obtidos na presente tese apontam para a necessidade de elaboração de propostas que visem minimizar os impactos negativos gerados pela exploração dos recursos naturais ali existentes, permitindo alcançar a sustentabilidade socioambiental da bacia, mantendo o equilíbrio morfogênese/pedogênese, como demonstrado na análise das vulnerabilidades natural e ambiental.

Palavras-chave: Meio Ambiente; SIG; Diagnóstico Ambiental; Vulnerabilidade Ambiental.

## ABSTRACT

The Rio Doce – BHRD basin is located in the eastern portion of the State of Rio Grande do Norte. Is a geographical unit that comes over time, showing a disorderly occupation process, in its most varied forms. The diversity of existing environmental systems make it an area potentially vulnerable to negative environmental impacts. In this context, this thesis aimed to identify and map the spatial and geo-environmental characteristics and natural and environmental vulnerabilities of the Rio Doce-RN basin, with operational and methodological support the Geotechnology of free software. As a result, proposed a new delimitation of the BHRD, in which there was an increase of 2.29% of the total area, your official passing of 387.8 km<sup>2</sup> to 396.7 km<sup>2</sup>. Geoenvironmental characterization showed that the basin has suffered human actions, which are changing the local landscape, turning areas, previously considered "preserved" in impacted areas, especially close to large urban centres and in the sources of the Mudo and Guajirú rivers. One of the most impressive activities include: seasonal farming, responsible for removal of natural vegetation, including riparian forests, to the cultivation of monocultures and vegetables in major and minor Guajirú and Mudo riverbeds; the production in areas of rural settlements, the Guajirú riverhead; the perennial cultivation of coconut, banana and cashew in riverbeds with perennial characteristics near the Extremoz Lagoon; urban sprawl toward the Mudo River, near the urban area of Ceará-Mirim, on the shores of the Extremoz Lagoon and Guajirú River, in addition to the towns and districts of Serrinha and Massaranduba and urban areas of Extremoz and Natal, and finally, the mining activity, in areas where touches on the Intrusive Suite Dona Inês geological formation. The result of these activities in the basin was reflected in natural and environmental vulnerabilities mappings. In natural vulnerability, the basin was classified as Medium stable/Vulnerable, equivalent to 2.1, level 4, with strong tendencies to become Moderately Vulnerable. This is the pressure in the urban areas located further east of the basin, sedimentary rocks of the Quaternary sediments and Formation, with a geomorphology, soils and vegetation changed by human action, but minimized the more regular rainfall distribution. To environmental vulnerability, the results showed that the basin ranks with a degree of vulnerability Moderately Vulnerable, with 2.4, 2 level value. In this case, the influence of human actions in the environment made these values reach 2.7 in urban areas, decreasing towards the West portion of the basin. It is concluded that the current stage of use and occupation of the basin is nearing the limit of sustainability. The results obtained in this thesis has shown a need for elaboration of proposals that aim to minimize the negative impacts generated by the exploitation of natural resources existing there, allowing achieving social and environmental sustainability of the basin by keeping the balance morphogenesis/pedogenesis, as demonstrated in the analysis of natural and environmental vulnerabilities.

Keywords: Environment; GIS; Environmental Diagnosis; Environmental Vulnerability

## SUMÁRIO

<b>INTRODUÇÃO GERAL .....</b>	<b>16</b>
<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>16</b>
<b>2 ESTADO DA ARTE .....</b>	<b>23</b>
<b>2.1 Paisagem: principais conceitos e características.....</b>	<b>23</b>
<b>2.2 Geossistema: algumas discussões .....</b>	<b>25</b>
<b>2.3 Bacia hidrográfica como unidade de análise .....</b>	<b>28</b>
<b>2.4 Vulnerabilidade ambiental: principais conceitos .....</b>	<b>32</b>
<b>3 ÁREA DE ESTUDO .....</b>	<b>36</b>
<b>3.1. Localização .....</b>	<b>36</b>
<b>3.2 Caracterização fisiográfica e socioeconômica .....</b>	<b>37</b>
3.2.1 Caracterização do meio físico da bacia do rio Doce .....	38
3.2.1.1 Geologia .....	38
3.2.1.2 Geomorfologia.....	41
3.2.1.3 Pedologia .....	43
3.2.1.4 Clima .....	45
3.2.1.5 Hidrografia .....	47
3.2.1.6 Vegetação .....	49
3.2.2 Caracterização socioeconômica da bacia do rio Doce.....	51
3.2.2.1 Análise socioeconômica da bacia para o ano 2000 .....	51
3.2.2.2 Análise socioeconômica da bacia para o ano 2010 .....	53
3.2.3 Uso e cobertura do solo .....	56
<b>4. MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>58</b>
<b>4.1 Materiais utilizados .....</b>	<b>60</b>
4.1.1 Materiais cartográficos .....	60
4.1.2 Sistemas para processamento dos dados .....	61
<b>4.2 Métodos e técnicas .....</b>	<b>61</b>
4.2.1 Implementação do banco de dados geográficos .....	61
4.2.2 Elaboração e atualização dos mapas temáticos .....	62
4.2.2.1 Mapas temáticos do meio físico .....	62
4.2.2.2 Mapas temáticos do meio antrópico .....	63
4.2.3 Delimitação da bacia hidrográfica do rio Doce: procedimentos metodológicos... 64	
4.2.3.1 Delimitação manual.....	64
4.2.3.2 Delimitação Automática da Bacia Hidrográfica: software Taudem.....	65
4.2.3.3 Delimitação Automática da Bacia Hidrográfica: software SAGA.....	69
4.2.3.4 Delimitação Automática da Bacia Hidrográfica: software TERRAHIDRO .....	71
<b>4.3 Atribuição dos valores de vulnerabilidade ambiental.....</b>	<b>72</b>
4.3.1 Geologia .....	73
4.3.2 Geomorfologia.....	74
4.3.3 Pedologia .....	76
4.3.4 Clima .....	77
4.3.5 Hidrografia .....	78
4.3.6 Vegetação .....	79
4.3.7 Uso e cobertura da terra.....	81
<b>4.4 Preparação e compatibilização de valores e mapas de vulnerabilidade.....</b>	<b>83</b>
<b>4.5 Atividades de campo.....</b>	<b>84</b>

## LISTA DE FIGURAS E QUADROS

### INTRODUÇÃO GERAL

<b>Figura 01:</b> Mapa de localização da Bacia Hidrográfica do Rio Doce – RN.....	19
<b>Figura 02:</b> Caracterização de um sistema (input/output) .....	26
<b>Figura 03 -</b> Níveis adotados por Pfafstetter (1, 2 e 3) para a classificação de uma bacia hidrográfica .....	30

### ÁREA DE ESTUDO

<b>Figura 04:</b> Mapa de localização da Bacia Hidrográfica do Rio Doce – RN.....	37
<b>Figura 05:</b> Domínios Geológicos na Província Borborema .....	38
<b>Figura 06:</b> Unidades Geológicas da BHRD .....	40
<b>Figura 07:</b> Mapa geomorfológico da Bacia Hidrográfica do Rio Doce .....	42
<b>Quadro 01:</b> Solos distribuídos na Bacia Hidrográfica do rio Doce por km <sup>2</sup> e percentual de distribuição na superfície .....	43
<b>Figura 08:</b> Mapa de solos da Bacia Hidrográfica do Rio Doce.....	44
<b>Figura 09A e 10B.</b> Mapa das unidades climáticas da BHRD baseada em Felipe et al (2006) e baseada na classificação de SEMARH (2005), respectivamente.....	46
<b>Figura 10:</b> Mapa da Hidrografia da Bacia Hidrográfica do Rio Doce – RN.....	48
<b>Figura 11:</b> Mapa da vegetação e cobertura da terra da Bacia Hidrográfica do Rio Doce – RN .....	50
<b>Figura 12:</b> Mapa das zonas rural e urbana da bacia hidrográfica do rio Doce, ano 2000, elaborado a partir de dados do IBGE (2000) .....	51
<b>Quadro 02 -</b> Dados socioeconômicos por setor censitário na BHRD para o ano 2000.....	52
<b>Figura 13:</b> Mapa das zonas rural e urbana da bacia hidrográfica do rio Doce, ano 2010 .....	54
<b>Quadro 03:</b> Dados socioeconômicos por setores censitários na bacia do rio Doce, ano 2010 .....	54
<b>Figura 14:</b> Mapa de uso e ocupação do solo da BHRD para o ano de 1997 .....	56
<b>Quadro 04:</b> Distribuição espacial das classes de uso do solo na BHRD.....	57
<b>Quadro 05:</b> Classificação do uso do solo na BHRD, segundo Castro (2000) .....	57

### MATERIAIS E MÉTODOS

<b>Quadro 06:</b> Dados obtidos por órgão, escala e ano de publicação para a pesquisa .....	60
<b>Figura 15:</b> Faixa utilizada dos dados TOPODATA .....	64
<b>Figura 16:</b> Resultado da vetorização a partir da análise visual em ambiente SIG .....	65
<b>Figura 17:</b> Aplicação do Pit Remove – Taudem .....	66
<b>Figura 18:</b> Aplicação do D8 FlowDirection - Taudem. Área da bacia sem delimitação.....	66
<b>Figura 19:</b> Aplicação do D8 Contribuing Area – Taudem .....	67
<b>Figura 20:</b> Aplicação do Stream Definition by Threshold - Taudem. Rede de drenagem da bacia .....	67
<b>Figura 21:</b> Determinação do ponto exutório da Bacia - Taudem. Área da bacia sem delimitação.....	68
<b>Figura 22:</b> Layout da ferramenta D8 Contribuing Area para geração do limite da bacia .....	68
<b>Figura 23:</b> Aplicação do D8 Contribuing Area Grid – TauDEM.....	69
<b>Figura 24A e 24B:</b> Bacia delimitada nos formatos <i>raster</i> e vetorial, respectivamente.....	69
<b>Figura 25 A, B e C -</b> Resultados após a aplicação do comando FillSinks no SAGA ...	70
<b>Figura 26:</b> Resultado final da delimitação automática da bacia – SAGA.....	71
<b>Figura 27:</b> Escala de vulnerabilidade para as Unidades Territoriais Básicas.....	73
<b>Quadro 07:</b> Escala de vulnerabilidade à denudação das rochas mais comuns.....	74

<b>Quadro 08:</b> Valores de Vulnerabilidade para densidade de drenagem .....	74
<b>Quadro 09:</b> Valores de Vulnerabilidade para amplitude altimétrica.....	75
<b>Quadro 10:</b> Valores de Vulnerabilidade para declividade .....	75
<b>Quadro 11:</b> Valores de vulnerabilidade dos solos.....	76
<b>Quadro 12:</b> Valores de vulnerabilidade à perda do solo para a intensidade pluviométrica.....	78
<b>Quadro 13:</b> Valores de vulnerabilidade para a densidade de drenagem .....	78
<b>Quadro 14:</b> Valores do grau de vulnerabilidade para o tema uso e cobertura da terra.	81
<b>Figura 28:</b> Vegetação esbranquiçada pela poeira proveniente das atividades mineradoras, extração de brita para construção civil no distrito de Serrinha, São Gonçalo do Amarante – RN .....	82
<b>Figura 29</b> - Campo realizado em julho e outubro de 2015, novembro de 2017 e janeiro de 2018 .....	84
<b>Figura 30</b> - Campo realizado em julho de 2015 .....	85
<b>Figura 31:</b> Assentamentos instalados às margens do rio Guajirú – RN .....	86
<b>Figura 32:</b> Uma das nascentes do Rio do Mudo – RN .....	87
<b>Figura 33:</b> a) Vegetação típica em leito seco nas proximidades da nascente do rio do Mudo e b) desmatamento e entulhamento recente (em 06/08/2016, às 15:02 horas) no leito seco da microbacia de nascente do rio do Mudo.....	88
<b>Figura 34</b> - Campo realizado em julho de 2015 .....	89
<b>Figura 35 A, B, C, D</b> - Casas construídas às margens do rio Doce (35A, 35B); macrófitas no leito do rio e detritos lançados às suas margens (35C, 35D), respectivamente .....	90
<b>Figuras 36 A, B:</b> Extração de vegetação para construção de residências (A e B) .....	91
<b>Figuras 37 A, B, C e D:</b> Vegetação rasteira (A); Mata Ciliar ao longo do rio do Mudo e criação de gado (B); Granjas localizadas nos pontos 09 e 12 do mapa da figura 28 (C e D) .....	92
<b>Figura 38:</b> Cidade de Ceará-Mirim - RN na bacia .....	92
<b>Figuras 39 A, B:</b> Piscina com olheiro (A); “sangradouro” da piscina em direção ao rio do Mudo (B) .....	93
<b>Figuras 40 A, B, C e D:</b> Evidências de extração de rochas (A e B); Água esbranquiçada com presença de macrófitas (C e D) .....	94
<b>Figura 41</b> - Campo realizado em novembro de 2017 .....	95
<b>Figura 42 A, B:</b> Produção de hortaliças, consorciado com frutíferas (A). Leito menor do rio do Mudo sem mapa ciliar e com plantação de frutíferas (B) .....	96
<b>Figura 43:</b> Produção de hortaliças, consorciado com frutíferas no leito menor e maior do rio Doce .....	97
<b>Figura 44:</b> Trecho do rio do Mudo completamente seco .....	97
<b>Figura 45:</b> Cultivo de cana de açúcar consorciado com criação de gado no leito do rio do Mudo .....	98
<b>Figura 46:</b> Formação Suíte Dona Inês, nas proximidades do povoado Primeira Lagoa .....	99
<b>Figura 47:</b> Nascente do rio Guajirú, próximo ao Assentamento Padre Cícero .....	100
<b>Figuras 48 A e B:</b> Produção de cana de açúcar (A). Distrito de Canto da Moça, Município de Ilmo Marinho – RN (B) .....	100
<b>Figura 49:</b> Mapa da área da nascente do Guajirú e o plantio no leito menor do rio .....	101
<b>Figura 50:</b> Afloramento rochoso no distrito de Serrinha, São Gonçalo do Amarante – RN .....	102
<b>Figura 51:</b> Cultivo temporário e permanente ao longo do rio Guajirú nas proximidades do distrito Massaranduba, São Gonçalo do Amarante – RN.....	102
<b>Figuras 52 A e B:</b> Grupo Barreiras, apresentando blocos e cascalhos angulosos e sub-arredondados (A); Vegetação típica de caatinga, relevo pouco ondulado (B) .....	103

<b>Figuras 53 A e B:</b> Grupo Barreiras, apresentando blocos e cascalhos angulosos e sub-arredondados (A); Vegetação típica de caatinga, relevo pouco ondulado (B) .....	103
<b>Figura 52</b> - Campo realizado em janeiro de 2018 .....	103
<b>Figuras 54 A e B:</b> Formação Açú, apresentando alto grau de oxidação .....	105
<b>Figuras 55 A e B:</b> Área de mangue na BHRD (A) com residências no seu leito maior (B) .....	105
<b>Figura 56:</b> Córrego observado no Bairro Lagoa Azul – Natal .....	106
<b>Figura 57:</b> Paleoduna às margens da Avenida Moema Tinoco, Zona Norte de Natal ..	106
<b>Figuras 58 A, B, C e D:</b> Paleoduna às margens da Av. Moema Tinoco, Zona Norte de Natal.....	107
<b>Figuras 59 A e B:</b> Dunas móveis (A) e entrada para passeio de bugres (B), no município de Extremoz – RN.....	108
<b>Figuras 60 A e B:</b> Sedimentos Aluvionares (A) e Lagoa de captação (B) .....	108

**CAPÍTULO 1: ANÁLISE COMPARATIVA DE METODOLOGIAS APLICADAS À DELIMITAÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO DOCE – RN.....**

<b>Resumo</b> .....	105
<b>Abstract</b> .....	105
<b>INTRODUÇÃO</b> .....	106
<b>MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	107
<b>Área de estudo</b> .....	107
<b>Materiais</b> .....	109
<b>Procedimentos Metodológicos</b> .....	109
Análise e delimitação manual.....	109
Delimitação Automática com o software Tudem .....	110
Delimitação Automática com o software SAGA .....	110
Delimitação Automática com o software TERRAHIDRO.....	110
<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	110
<b>CONCLUSÕES</b> .....	115
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	116

**LISTA DE FIGURAS E QUADROS**

<b>Figura 1</b> - Mapa de localização da Bacia Hidrográfica do Rio Doce – RN .....	108
<b>Quadro 1</b> - Área e perímetro da bacia do Rio Doce obtidos em órgão oficial e com diferentes metodologias.....	111
<b>Figura 2:</b> Delimitações realizadas por órgãos públicos Estadual e Federal, respectivamente (A) SEMARH – RN e (B) ANA.....	111
<b>Figura 3:</b> Delimitações manual e automáticas da bacia hidrográfica do Rio Doce – RN: a) manual, b) SAGA, c) TauDEM e d) TERRAHIDRO .....	112
<b>Figura 04</b> - Diferença na porção centro-norte da bacia .....	113
<b>Figura 05</b> - Diferentes delimitações da foz da bacia. A) Delimitações com erros na identificação da foz. B) Delimitações com identificação correta da foz.....	114

## **CAPÍTULO 2: GEOPROCESSAMENTO APLICADO A CARACTERIZAÇÃO GEOAMBIENTAL DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO DOCE – RN/BRASIL**

.....	121
RESUMO .....	122
ABSTRACT .....	122
<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>122</b>
<b>2 MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>124</b>
<b>2.1 Localização.....</b>	<b>124</b>
<b>2.2 Seleção, obtenção e organização dos dados.....</b>	<b>125</b>
<b>3 O MEIO FÍSICO DA BHRD.....</b>	<b>126</b>
<b>3.1 Geologia.....</b>	<b>126</b>
3.1.1 Unidades Geológicas da BHRD .....	127
<b>3.2 Geomorfologia.....</b>	<b>129</b>
3.2.1Espacialização e características das Unidades Geomorfológicas da BHRD.....	130
<b>3.3 Solos .....</b>	<b>131</b>
3.3.1 Espacialização e características dos solos existentes na BHRD.....	132
<b>3.4 Clima.....</b>	<b>132</b>
3.4.1 Espacialização e características das precipitações na BHRD.....	134
<b>3.5 Hidrografia.....</b>	<b>137</b>
3.5.1 Espacialização e características da hidrografia na BHRD.....	137
<b>3.6 Vegetação.....</b>	<b>138</b>
3.6.1 Espacialização e características dos tipos de cobertura vegetal existentes na BHRD .....	138
.....	138
<b>4 USO E COBERTURA DA TERRA DA BHRD.....</b>	<b>140</b>
<b>5 CONCLUSÕES.....</b>	<b>144</b>
<b>6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>145</b>

### **LISTA DE FIGURAS E QUADROS**

<b>FIGURA 01.</b> Mapa de localização da Bacia Hidrográfica do Rio Doce – RN .....	125
<b>QUADRO 01:</b> Dados obtidos por órgão, escala e ano de publicação para a pesquisa..	125
<b>QUADRO 02:</b> Unidades Geológicas da Bacia Hidrográfica do Rio Doce – RN.....	126
<b>FIGURA 02.</b> Unidades Geológicas da BHRD. Fonte: CPRM, 2012 .....	128
<b>FIGURA 03.</b> Mapa geomorfológico da Bacia Hidrográfica do Rio Doce .....	130
<b>FIGURA 04.</b> Mapa de solos da Bacia Hidrográfica do Rio Doce.....	131
<b>QUADRO 03:</b> Solos distribuídos na Bacia Hidrográfica do rio Doce por km <sup>2</sup> e percentual de distribuição na superfície .....	132
<b>FIGURAS 5 A e B.</b> Mapa das unidades climáticas da BHRD organizado a partir dos autores Felipe et al (2006) (A) e na classificação de SEMARH (2005) (B) .....	133
<b>FIGURA 6.</b> Gráfico representando a média da precipitação anual, por município, na BHRD .....	134
<b>FIGURA 7.</b> Mapa da média pluviométrica anual na BHRD (1997 – 2016) .....	135

<b>QUADRO 4:</b> Intervalos das precipitações média anual por área da bacia em km <sup>2</sup> e percentual.....	135
<b>QUADRO 5:</b> Caracterização da precipitação acumulada, por ano, entre 1997 e 2016.	136
<b>FIGURA 8.</b> Gráfico representando a média da precipitação diária por meses, por município, na BHRD .....	136
<b>FIGURA 9.</b> Mapa da duração do período chuvoso em número de meses na BHRD....	137
<b>FIGURA 10.</b> Sub-bacias da Bacia Hidrográfica do Rio Doce – RN.....	138
<b>QUADRO 6:</b> Tipos de cobertura vegetal, descontadas as áreas urbanas .....	139
<b>FIGURA 11.</b> Mapa da vegetação da Bacia Hidrográfica do Rio Doce – RN .....	139
<b>FIGURA 12.</b> Mapa de uso e cobertura da terra da Bacia Hidrográfica do Rio Doce – RN .....	141
<b>QUADRO 7:</b> Principais tipos de cobertura e uso da terra na BHRD, com área e percentual de ocupação a partir de imagens e satélite e dados de campo .....	141
<b>FIGURA 13.</b> Área de Dunas Móveis e Fixas com ocupações irregulares.....	142
<b>FIGURA 14.</b> Vista aérea do rio Doce sob viaduto na Zona Norte de Natal – RN.....	142

<b>CAPÍTULO 3: CARACTERIZAÇÃO PLUVIOMÉTRICA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO DOCE - RN.....</b>	<b>149</b>
RESUMO .....	150
ABSTRACT .....	150
RESUMÉN .....	150
<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>151</b>
<b>2. MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>154</b>
2.1. Caracterização da área de estudo.....	154
2.2 Obtenção e organização dos dados.....	157
2.3 Preparação do Projeto e do Banco de Dados Geográficos no Ambiente SIG .....	158
2.4 Métodos aplicados para elaboração dos resultados (mapas e gráficos) .....	159
<b>3. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>162</b>
3.1 Análise das precipitações anuais na BHRD .....	162
3.2 Número de dias chuvosos por meses na BHRD .....	164
<b>4 CONCLUSÕES.....</b>	<b>166</b>
<b>5 AGRADECIMENTOS .....</b>	<b>168</b>
<b>6 REFERÊNCIAS .....</b>	<b>168</b>

### LISTA DE FIGURAS E QUADROS

<b>Figura 1.</b> Localização da área em estudo.....	154
<b>Figura 2.</b> Mapa das unidades climáticas da BHRD, a partir de Felipe et al. (2006) (A) e SEMARH (2005) (B) .....	156
<b>Quadro 1.</b> Média, por município, das precipitações entre os anos de 1997 e 2016 .....	158
<b>Figura 3.</b> Janela da criação da camada dos pontos de coleta dos dados de chuvas da BHRD .....	160
<b>Figura 4.</b> Localização dos pontos pluviométricos considerados .....	161
<b>Figura 5.</b> Janela da criação da camada dos pontos de coleta dos dados de chuvas da BHRD .....	161
<b>Figura 6.</b> Gráfico representando a média da precipitação anual, por município, na BHRD .....	162

<b>Figura 7.</b> Mapa da média pluviométrica anual na BHRD (1997 – 2016), a partir dos dados da EMPARN de 2017.....	163
<b>Quadro 2.</b> Caracterização da precipitação acumulada, por ano, entre 1997 e 2016.....	164
<b>Figura 8.</b> Gráfico representando a média da precipitação diária, por meses e por município, na BHRD, a partir de dados obtidos na EMPARN, em 2017 .....	165
<b>Figura 9.</b> Mapa da duração do período chuvoso, em número de meses, na BHRD, a partir de dados obtidos na EMPARN, em 2017 .....	165
<b>Quadro 03.</b> Comparação entre os dados pluviométricos de Castro (2000) e os analisados na presente pesquisa, a partir dos dados obtidos na EMPARN, em 2017 ....	166

<b>CAPÍTULO 4: ANÁLISE DAS VULNERABILIDADES NATURAL E AMBIENTAL DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO DOCE - RN .....</b>	<b>171</b>
Resumo .....	172
Resumen .....	172
Abstract.....	172
<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>173</b>
<b>METODOLOGIA.....</b>	<b>176</b>
Área de estudo.....	176
Organização e processamento dos dados.....	180
<b>PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS .....</b>	<b>183</b>
Elaboração das cartas temáticas: vulnerabilidade natural e ambiental .....	183
<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>187</b>
Vulnerabilidade por tema .....	187
<b>ANÁLISE DAS VULNERABILIDADES NATURAL E AMBIENTAL DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO DOCE.....</b>	<b>200</b>
Vulnerabilidade Natural .....	200
Vulnerabilidade Ambiental .....	203
<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>208</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>211</b>

#### LISTA DE FIGURAS E QUADROS

<b>Figura 01:</b> Mapa de localização geográfica da área em estudo.....	177
<b>Quadro 1:</b> Dados obtidos por órgão, escala e ano de publicação para a pesquisa .....	180
<b>Quadro 2:</b> Escala de Vulnerabilidade à perda do solo .....	181
<b>Quadro 3:</b> Grau de vulnerabilidade ambiental para o tema Geologia.....	183
<b>Quadro 4:</b> Valores de vulnerabilidade para o tema Geomorfologia .....	185
<b>Quadro 5:</b> Valores de vulnerabilidade para o tema Vegetação .....	185
<b>Quadro 6:</b> Valores de vulnerabilidade para o tema Solos.....	186
<b>Quadro 7:</b> Graus de vulnerabilidade para o tema Clima.....	186
<b>Quadro 8:</b> Graus de vulnerabilidade para o tema uso e cobertura da terra .....	187
<b>Figura 02:</b> Mapa da vulnerabilidade para o tema Geologia .....	188
<b>Figura 03:</b> Mapa de vulnerabilidade para o tema Geomorfologia .....	189
<b>Figura 04:</b> Mapa de vulnerabilidade para o tema Solos .....	191
<b>Figura 05:</b> Mapa de vulnerabilidade para o tema Vegetação .....	193

<b>Figura 06:</b> Mapa de vulnerabilidade para o tema Clima .....	195
<b>Figura 07:</b> Mapa do grau de vulnerabilidade para o tema uso e cobertura da terra .....	196
<b>Figura 08:</b> Área de cobertura florestal nas proximidades da praia de Genipabu: Limite da bacia.....	196
<b>Figuras 09a e 09b:</b> a) Cultivo de Cajueiro próximo a nascente do Rio Guajirú. b) Cultivo de bananeiras no leito menor do rio Doce .....	197
<b>Figura 10:</b> Cultivo temporário de cana de açúcar, consorciado com criação de gado no leito menor do rio Mudo. Próximo a área de expansão da cidade de Ceará – Mirim (Loteamento Planalto) .....	198
<b>Figura 11:</b> Área de expansão da cidade de Ceará – Mirim/RN.....	199
<b>Figura 12:</b> Distrito de Canto da Moça – Município de Ielmo Marinho – RN.....	199
<b>Figura 13a e 13b:</b> a) Área de mineração industrial. b) Área de mineração artesanal ...	200
<b>Quadro 9:</b> Classes e Níveis de Vulnerabilidade Natural da BHRD.....	201
<b>Figura 14:</b> Mapa da vulnerabilidade natural da BHRD.....	201
<b>Figura 15:</b> Mapa da vulnerabilidade ambiental da BHRD.....	204
<b>Quadro 10:</b> Classes e Níveis de Vulnerabilidade Ambiental da BHRD.....	204
<b>Figura 16:</b> a) Produção mecanizada de cana de açúcar. b) Plantio de hortaliças.....	207
<b>CONCLUSÃO FINAL .....</b>	<b>214</b>
<b>REFERÊNCIAS DA PARTE INTRODUTÓRIA .....</b>	<b>217</b>
<b>ANEXOS – Normas para publicação – Artigos científicos.....</b>	<b>225</b>

# INTRODUÇÃO GERAL

## 1. INTRODUÇÃO

A conservação dos recursos naturais, o ordenamento territorial, o monitoramento e a gestão ambiental, a partir de ações de planejamento ambiental, observando, sobretudo, a interação homem-natureza, são temas estratégicos necessários para alcançar o que autores como Hollanda et al. (2012); EEA (2005); Santos (2004); Young (1992) denominam Desenvolvimento Sustentável. De uma maneira geral, “os estudos relacionados ao planejamento das atividades antrópicas e ao uso dos recursos naturais, baseados em modelos clássicos falham, por trabalharem de forma separada as questões socioeconômicas dos aspectos ambientais” (PIRES & SANTOS, 1995).

Cunha e Guerra (2003) complementam ao afirmarem que os desequilíbrios ambientais se originam de uma visão setORIZADA para um conjunto de elementos que compõem uma determinada paisagem. Segundo os autores, a bacia hidrográfica deve ser vista como uma unidade integradora dos setores naturais e sociais, visando a minimização dos impactos ambientais.

Hollanda et al (2012) afirmam que uma das formas de se operacionalizar o planejamento ambiental é a partir da realização do manejo integrado de bacias hidrográficas (MIBH), entendendo a bacia hidrográfica como unidade geográfica ideal para a caracterização, diagnóstico, avaliação e planejamento de uso dos recursos naturais.

O planejamento integrado de bacias hidrográficas teve como marco importante os Princípios de Dublin, acordados na Rio 92. O Princípio 01 mostra que “a gestão dos recursos hídricos, para ser efetiva, deve ser integrada e considerar todos os aspectos físicos, sociais e econômicos” (PORTO e PORTO, 2008, p.43).

Segundo Nascimento (2013), uma bacia hidrográfica deve ser estudada não só pelos seus recursos hídricos, mas de acordo com a sua complexidade fisiográfica, socioeconômica e cultural. Neste sentido, o autor entende que os recursos naturais ganham destaque, uma vez que são nessas complexidades que se constituem as principais formas de uso do solo, consumindo-os, exaurindo-os ou conservando-os.

De acordo com Grisi (2000), os recursos naturais podem ser entendidos como qualquer componente da natureza (Bióticos ou Abióticos) que seja importante à manutenção, ao crescimento e à reprodução dos seres vivos. Esses componentes, por conseguinte, deverão ser utilizados pelas sociedades humanas com o objetivo de se obter um desenvolvimento socioeconômico e cultural (NASCIMENTO, 2006; SOUZA et al, 2002).

Leal (1995) afirma que o processo do Planejamento Ambiental deve ser enfatizado na esfera local, pois ela se aproxima da população, para que a mesma possa participar ativamente na transformação e resolução dos problemas encontrados no ambiente em que vive.

Com esta perspectiva, o planejamento ambiental vem sendo trabalhado por diversos autores, em várias regiões do país. Leal (1998) apresentou uma proposta metodológica de planejamento ambiental, denominado Plano Motivador, aplicada na bacia do córrego Areia Branca, localizado no município de Campinas – SP. O referido plano foi dividido em 04 (quatro) etapas: Inventário; Diagnóstico do Estado Ambiental; Prognóstico; e Proposta de melhoria do Estado Ambiental. Para tanto, foram obtidas e analisadas informações referentes aos aspectos naturais e sociais da bacia; principais problemas ambientais identificados; processo histórico da urbanização na bacia; compreensão dos processos naturais e sociais presentes; estabelecimento do Estado Ambiental e apresentação de propostas para transformação e melhoria da situação atual.

Como resultado, realizou-se a delimitação da bacia na escala 1:10.000, e foram definidas unidades físicas a partir de cartas temáticas do relevo, solos, geologia, declividade e hidrografia. A vegetação, nesse trabalho, foi incluída no mapa de uso e ocupação do solo, que juntamente com a base da malha urbana e dos bairros, formaram as unidades de uso e ocupação do solo. Por fim, as unidades ambientais foram elaboradas a partir da combinação das unidades físicas e de uso e ocupação do solo.

Silva (2007) realizou uma análise geográfica de informações de aspectos naturais e socioeconômicos, com perspectiva do entendimento da totalidade geográfica da bacia do rio Biguaçu, com fins de planejamento ambiental territorial. O autor elaborou unidades ambientais tendo como referência as características geomorfológicas, além de apoio de campo e literatura especializada. Dentre os mapas temáticos elaborados, citam-se o Hipsométrico, o Clinográfico, o Geológico, o Pedológico, o Geomorfológico, Uso e Cobertura da Terra, Fragilidade Ambiental e Zoneamento Ambiental. Os resultados mostraram a importância da geração de informações espaciais, que, a partir da álgebra de mapas, permitiram concluir que, por meio do zoneamento ambiental proposto no estudo, é possível disciplinar o uso da terra, visando o planejamento ambiental.

Wang (2001) realizou uma análise espacial do uso da terra e da qualidade da água com a análise química e de indicadores ambientais na Bacia do Rio Little Miami, Ohio, USA. Os dados foram obtidos em órgãos federais e estaduais e integrados em ambiente SIG. Os resultados mostraram que a qualidade da água não se apresenta com problema em águas residuais próximas a áreas com vegetação preservada. No entanto, mais a jusante, a qualidade da água se apresenta baixa, nas proximidades de áreas urbanas, devido o impacto ambiental

causado pelo homem. Finaliza afirmando a importância da integração do gerenciamento da qualidade da água e do planejamento do uso da terra para a sustentabilidade futura.

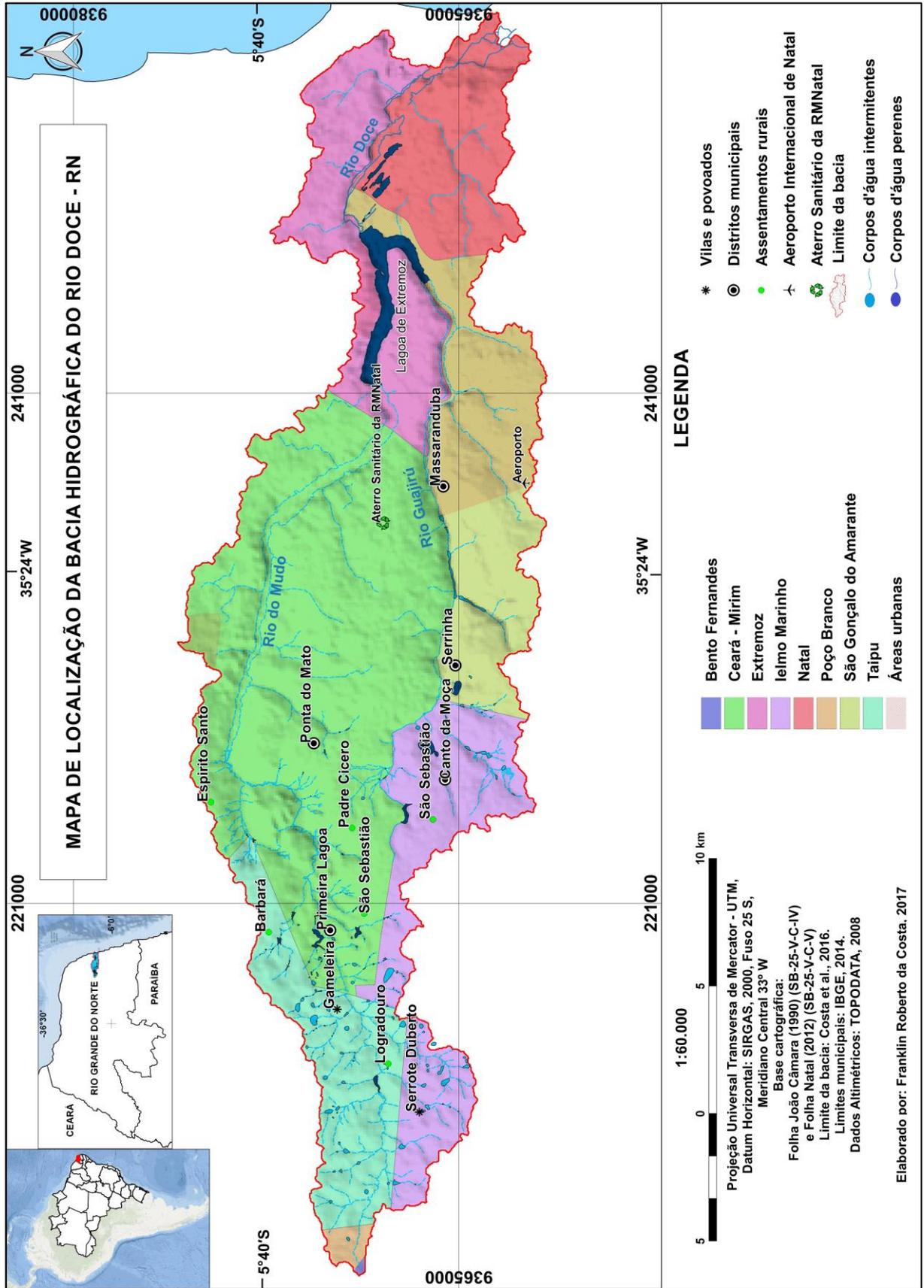
Bezerra (2011) realizou o planejamento ambiental da bacia hidrográfica do Ribeirão Santo Antonio – Mirante do Paranapanema (SP), tendo como base teórica a Geocologia das Paisagens e o conceito geográfico de Paisagem. Como procedimentos, foram feitos o inventário, o diagnóstico ambiental, o prognóstico ambiental e a elaboração de propostas. Como resultado foram apresentados 45 (quarenta e cinco) mapas temáticos, na escala 1:150.000, contemplando o meio físico, antrópico, unidades de paisagem e problemas ambientais.

Na bacia do Rio Doce – RN (BHRD), estudos recentes de Da Silva (2017), Rocha (2017) e Faustino et al. (2014) mostram que já existem processos de degradação ambiental instalados nas nascentes das microbacias dos rios do Mudo e do Guajiru; contaminação de águas (GOMES et al, 2016) e dos solos (FARIA, 2013) causados pelo uso inadequado desses componentes na bacia; rebaixamento do nível de águas na Lagoa de Extremoz (PMN, 2009); além da ocupação em topo de morros e áreas de recarga como o aeroporto, visualizado na delimitação da bacia desenvolvido por Costa et al. (2016).

Citam-se, ainda, na temática da degradação ambiental, que a bacia hidrográfica do Rio Doce - RN vem sofrendo impactos ambientais significativos relacionados à ocupação humana, conforme estudos de Castro (2000); Azevedo (2006); Soares (2006); Barbosa et al (2010); Moura (2010), Jerônimo e Souza (2013) e Faustino et al. (2014). São apontados, entre outros fatores de impactos ambientais negativos, a influência de carga de poluentes provenientes de indústrias, da agricultura irrigada, das áreas urbanas (consolidadas e em expansão), ocorrendo às margens de toda a bacia, desde a sua nascente até a foz do rio. Dentre as áreas mais impactadas está a Lagoa de Extremoz (FARIA, 2013; GOMES et al., 2016), principal corpo d'água da bacia, responsável por abastecimento humano, industrial, agrícola e para lazer.

Considerando a literatura consultada, as visitas anteriores a campo e a motivação própria de estudar e envolver-se nas temáticas em tela, suscitou-se investigar a Bacia Hidrográfica do Rio Doce - RN como uma unidade geográfica e de planejamento, utilizando-se ainda, na medida do possível, tecnologias mais modernas de coleta, tratamento, análise e disponibilização de dados espaciais.

A Bacia Hidrográfica do Rio Doce (BHRD) é formada pelos Rios do Mudo e Guajirú que desembocam na Lagoa de Extremoz, transformando-se no rio único que dá nome a bacia (Figura 01).



**Figura 01:** Mapa de localização da Bacia Hidrográfica do Rio Doce – RN.

A BHRD é considerada de importância estratégica para Região Metropolitana de Natal (RMN), principalmente na sua porção norte, sendo composta por diversas formas de ocupação, desde a instalação das primeiras atividades agroindustriais (cana de açúcar), agropastoril (gado leiteiro), passando por atividades da pesca, parques fabris, indústrias diversificadas, além de ocupações urbanas em Zonas de Proteção Ambiental.

Na literatura analisada, observou-se alguns trabalhos que tratavam da BHRD. Castro (2000) desenvolveu, em sua tese, um diagnóstico da bacia, buscando indicar estratégias voltadas para implementação do gerenciamento das águas subterrâneas no curso inferior da bacia hidrográfica do Rio Doce – RN. Para tanto, a autora realizou levantamento do uso e ocupação do solo; um modelo conceitual hidrogeológico; o conhecimento do potencial hídrico, consumo atual e demandas futuras dos recursos hídricos; caracterização da qualidade das águas e o conhecimento da ocorrência das doenças de veiculação hídrica.

Os resultados obtidos mostraram que a área em estudo apresentou uma infraestrutura precária, principalmente em relação ao abastecimento de água, coleta de lixo e rede de esgotos, que a caracterizou como áreas de alta vulnerabilidade para contaminação das águas subterrâneas. Essa vulnerabilidade foi comprovada em alguns poços tubulares, que apresentaram teores de nitrato superiores a 45 mg/L<sup>1</sup> e na incidência de doenças de veiculação hídrica, como esquistossomose, cólera, hepatite viral e verminoses.

Azevedo (2006) analisou a degradação ambiental no rio Doce - RN, comparando aspectos físico-naturais e socioeconômicos com a legislação ambiental. Azevedo (op cit), afirma, como principal resultado, que há uma retirada da vegetação no setor leste da bacia sobre campo de dunas e que áreas de preservação estão sendo irregularmente ocupadas com moradias e atividades agrícolas, contrariando a legislação vigente.

Soares (2006) avaliou os impactos ambientais na Zona de Proteção Ambiental (ZPA - 9), situada no baixo curso do Rio Doce - RN. Os resultados mostraram que os impactos ambientais existentes na bacia estão relacionados à ação antropogênica e à ausência de ações efetivas que assegurem o cumprimento da legislação referente a ZPA's.

A Prefeitura Municipal de Natal (PMN) elaborou o Plano Diretor Municipal de Manejo e Drenagem Pluviais da cidade do Natal – RN (PMN, 2009). No item 2, que trata dos Estudos Ambientais com definição de parâmetros e relatórios, o plano considera a diminuição do volume de água da Lagoa de Extremoz, bem como dos rios que fazem parte da bacia,

---

<sup>1</sup> Limite 10 mg/L, segundo Portaria n. 2914, de 12/12/2011, emitida pelo Ministério da Saúde – Brasil, que trata sobre procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade.

decorrente do assoreamento causado pelo uso e ocupação às margens dos corpos d'água. Além da diminuição do volume de água, os autores afirmam que o assoreamento causa vários problemas de alagamentos, em períodos de grandes precipitações, ocasionados pela diminuição de áreas permeáveis e de vegetação que facilita a infiltração do solo.

Análises químicas do potencial genotóxico das águas da Lagoa de Extremoz realizadas por Barbosa et al (2010) mostraram que houve um aumento do nível de metais pesados em diferentes períodos, resultando na deterioração da qualidade da água da Lagoa, causado pela contaminação de metais pesados e atividades genotóxicas.

Segundo Moura (2010), o panorama do uso de agrotóxicos na região do baixo curso do Rio Doce - RN não é dos melhores. Esta autora avaliou a degradação ambiental mediante testes de toxicidade crônica em um microcrustáceo e os resultados indicaram a presença de toxicidade em todas as espécies coletadas e que tal contaminação está provavelmente associada às atividades de horticultura e uso de agrotóxicos.

Jerônimo e Souza (2013) geraram o índice de qualidade da água na Lagoa de Extremoz entre janeiro de 2011 e agosto de 2012. Estes autores concluem que, naquele momento, a água apresentava bons indicadores de qualidade, porém houveram indicativos de riscos devido à concentração de cianobactérias e elementos químicos que influenciam no custo do tratamento da água.

Faustino et al. (2014) mostraram que, ao longo do tempo, a BHRD sofreu uma forte pressão imobiliária, culminando com a redução da cobertura vegetal e ampliação das áreas de impermeabilização dos solos. A partir da análise temporal do uso e cobertura do solo na bacia, os autores afirmaram que a bacia perdeu 11% da cobertura vegetal natural densa, configurando uma perda de 52,17% da cobertura vegetal no intervalo de 24 anos (1977 – 2001). Neste mesmo espaço-tempo, houve um aumento de 11% dos campos antropizados, 5% do solo exposto e redução de 2% de lâminas d'água.

Gomes et al (2016) avaliaram a qualidade da água do rio Doce, por meio de análise dos parâmetros físicos e químicos e de ensaios ecotoxicológicos, utilizando *Ceriodaphnia dubia* Richard, 1894 (Crustacea, Cladocera) e *Ceriodaphnia silvestrii* como organismo teste, em amostragens realizadas mensalmente, entre maio de 2012 e maio de 2013. Os resultados mostraram a existência de toxicidade em todos os pontos amostrados. Os autores (op. cit) afirmam que os fatores que influenciaram nos resultados observados foram a proximidade de áreas agrícolas, utilização indiscriminada de agrotóxicos, descarte inadequado de resíduos desses produtos, proximidade de vias de tráfego, descarte de esgotos domésticos e crescimento urbano desordenado, observados ao longo da drenagem da bacia.

Faria (2013) realizou a caracterização dos atributos físicos e químicos do solo na zona ripária da Lagoa de Extremoz sob influência de diferentes tipos de uso (agrícola, pastagem, urbano, industrial e vegetação natural). Os dados obtidos foram submetidos à análise descritiva e à análise de componentes principais. Como resultado, Faria (2013) mostrou que houveram alterações negativas na qualidade do solo, como alcalinização e aumento de teores de P, Pb, Mn e Zn em áreas mais antropizadas, decorrentes da substituição da vegetação natural na zona ripária da lagoa por usos antrópicos, aliada à textura arenosa e ao baixo teor de matéria orgânica. Esses fatores foram responsáveis pela fragilidade do solo frente à erosão e à lixiviação de nutrientes e metais pesados para os corpos d'água, o que deu potencial para os solos atuarem como fonte difusa de poluição para o manancial.

Rocha (2016) concluiu que a bacia do rio do Guajirú apresenta vários cenários de degradação ambiental, ocasionados, principalmente, pelo desmatamento histórico, pelo barramento dos rios em vista das construções de estradas rurais mal planejadas, além da ocupação e presença de moradias em vales e áreas de recarga de aquíferos.

Da Silva (2016) constata que a microbacia do rio Guajirú está ameaçada em decorrência de ações impactantes, oriundas principalmente das formas de usos consolidados, nos quais há problemas como erosão dos solos, áreas de nascente comprometidas pelo desmatamento, queimadas, obstrução dos leitos dos rios por materiais revoltos do solo, e pela conversão das planícies de inundação e leitos dos rios em área de pasto. Estes fatores constituem os cenários de degradação ambiental encontrados. Da Silva (op cit) aponta que afluentes e subafluentes do rio do Mudo poderiam ser mais, e bem drenados, se não fossem os problemas de barramento e as plantações em áreas de recargas.

Diante do exposto, este trabalho se justifica em face dos inúmeros conflitos ambientais identificados nas últimas décadas, relacionados à dialética existente entre a exploração econômica em setores da bacia hidrográfica (industrialização, produção agrícola, especulação imobiliária) e a necessidade, por outro lado, em se estabelecer a preservação dos sistemas naturais ali existentes.

Com base no acima exposto, elegeu-se com objetivo geral da tese, investigar a vulnerabilidade natural e ambiental da bacia do Rio Doce, tendo como suporte técnicas e produtos de geotecnologias, para com isto levantar questões e subsídios para a elaboração de políticas públicas e projetos de planejamento ambiental/ordenamento territorial da bacia e de outras bacias com características semelhantes.

Para atingir o objetivo geral preconizado a nível pré-operacional da pesquisa, verificou-se a necessidade de se desenvolver e trabalhar os seguintes objetivos específicos:

- i) redefinir os limites da bacia, considerando a disponibilidade de dados digitais de elevação do terreno (TOPODATA), comparando os resultados do processo manual de delimitação com o automatizado;
- ii) caracterizar o meio ambiente da bacia a partir da revisão, detalhamento e atualização de bases de dados e produtos encontrados em órgãos públicos das esferas estadual e federal;
- iii) identificar e caracterizar o regime pluviométrico da bacia hidrográfica para espacializar a distribuição de chuvas e entender a sua influência no grau de riscos e vulnerabilidades da bacia;
- iv) fazer o diagnóstico e avaliação das vulnerabilidades natural e ambiental, com base nos dados relativos aos meios físico e antrópico da bacia.

A seguir serão tratados alguns fundamentos teóricos, essenciais, e que deram embasamento para a pesquisa.

## **2 ESTADO DA ARTE**

### **2.1 Paisagem: principais conceitos e características**

O conceito de paisagem está diretamente atrelado ao conceito de meio, e se fundamenta na combinação de elementos físicos, biológicos e antrópicos, que se apresentam em diferentes formas, de acordo com seu tempo e escala de análise.

Seu vocábulo, de raiz germânica, foi usado pelos holandeses no final do século XV e implantado na Inglaterra no século XVI para descrever uma representação pictórica do campo. Nas línguas latinas, o termo *paesaggio* surge na Itália no ano de 1521 para se referir às obras flamengas com representações da natureza (SALGUEIRO, 2001).

Salgueiro (2001) afirma que a paisagem, como conceito científico, pode ser vista de duas formas. A primeira pela fisionomia caracterizada por formas, sobressaindo os estudos morfológicos, que dividiam a estrutura da unidade de observação dos elementos constituintes, examinadas pela função, origem e evolução, e classificando-as, numa sequência de desenvolvimento, permitindo assim gerar uma tipologia das formas e a identificação dos seus padrões de ocorrência. A segunda está relacionada às características de uma área expressa por seus atributos físico-naturais e humanos, e sua relação com o território, tendo como método a análise corológica e os gêneros de vida como conceito explicativo.

Percebe-se que os conceitos iniciais privilegiam as características do meio físico como preponderantes para a descrição da paisagem. No entanto, progressivamente foram

incorporando-se as transformações e interferências do meio antrópico no meio “natural”, que suscitaram na rediscussão do conceito, onde é possível encontrar autores como Santos (1997) que afirma a não existência da paisagem natural.

De acordo com Rodriguez et al (2004), o conceito de paisagem, pensado como uma interligação sociedade/natureza, é definida pelo conjunto inter-relacionado de formações naturais e antroponaturais, capaz de conter e reproduzir recursos, bem como um meio de vida e da atividade humana. Como objeto de investigação científica, compõe-se de estrutura e heterogeneidade na composição de elementos que a integram, bem como suas relações múltiplas, variação dos estados e diversidade hierárquica, tipológica e individual.

Périgord (1996) afirma que a paisagem é o centro e o produto da relação sociedade/natureza. Também é uma realidade cultural, um objeto de consumo, um lugar para morar e um ambiente de vida que não é imutável, mas, pelo contrário, evolui com a globalização da economia. A paisagem tornou-se uma fonte de discórdia ou conflito entre produtores e consumidores de paisagem.

A União Geográfica Internacional (IGU, 1983) apud Rodriguez et al (2004) definiu a ciência da paisagem como disciplina científica composta por 06 (seis) períodos distintos:

- 1850 a 1920: surgem as primeiras ideias físico-geográficas sobre a interação dos fenômenos naturais e a noção científica de paisagem;
- 1920 a 1930: período de desenvolvimento biogeomorfológico (interação entre ciências);
- 1930 a 1955: estabelecimento da concepção físico-geográfica (diferenciação de escalas);
- 1955 a 1970: escala regional e local na caracterização ambiental;
- 1970 até os dias atuais: introdução dos métodos sistêmico e quantitativo e o desenvolvimento da Ecologia da Paisagem;
- 1985 até os dias atuais: inter-relação estrutural-espacial e dinâmico-funcional das paisagens e a integração científica das concepções biológicas e geográficas sobre as paisagens (Ecogeografia e Geoecologia).

Rodriguez et al (2004), ao tratarem sobre o conceito de paisagem nos dias atuais, afirmam existir 05 (cinco) diferentes concepções científicas:

1. Paisagem como aspecto externo de uma área ou território (paisagem como imagem/interpretação estética);
2. Paisagem como formação natural (complexo territorial, geossistema natural);

3. Paisagem como formação antroponatural (paisagens naturais, antroponaturais e naturais, paisagens atuais ou contemporâneas);

4. Paisagem como sistema econômico-social (área onde vive a sociedade humana, sistema antropocológico ou complexo territorial produtivo);

5. Paisagem cultural (resultado da ação da cultura ao longo do tempo, modelando-se por um grupo cultural, a partir de uma paisagem natural. Imagem sensorial, afetiva, simbólica e material dos territórios; paisagem visual).

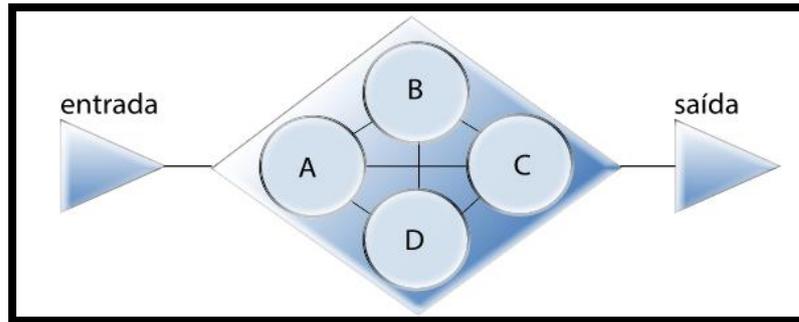
A paisagem vista como um geossistema caracteriza-se pela fisionomia de uma determinada estrutura, composta por repetições de manchas, mosaicos, corredores e limites, que adquirem diversas formas. Ou seja, a paisagem deve ser vista como um sistema dinâmico com trocas de massa e energia com o exterior (FERREIRA et.al, 2001).

Para este trabalho, a paisagem será trabalhada na perspectiva antroponatural, visto que a correlação sociedade-natureza tem se apresentado cada vez mais forte, e, nesse sentido, há necessidade de se alicerçar a pesquisa em fundamentações teóricas e metodológicas concretas, sustentadas em visões integradoras e sistêmicas das unidades ambientais físico-naturais e sociais.

## **2.2 Geossistema: algumas discussões**

A teoria Geossistêmica teve como objetivo aplicar a Teoria Geral de Sistemas, proposta por Ludwig von Bertalanffy, em 1968, para o estudo da superfície terrestre e suas relações diretas e indiretas da ação do homem no meio. Segundo Bertalanffy (1968), a Teoria Geral dos Sistemas seria um instrumento capaz de fornecer modelos a serem aplicados em diferentes campos do conhecimento e transmitidos entre uns e outros. Os princípios da presente teoria estariam na integração de várias ciências, naturais e sociais, buscando alcançar uma teoria mais exata nos campos não físicos da ciência.

Hall & Fagen (1965, apud CHRISTOFOLETTI, 1979) afirmam que um sistema é o conjunto dos elementos e das relações entre eles e seus atributos. Para Vale (2012), o sistema seria o conjunto de elementos e suas relações entre si e seus atributos, sendo estes dependentes uns dos outros e, através destes, sendo possível identificar o direcionamento dos fluxos, partindo de uma entrada (input) e transformando em saída (output) (FIGURA 02).



**Figura 02:** Caracterização de um sistema (input/output).  
**Fonte:** Christofolletti (1979), adaptado por Vale (2012).

O cientista soviético Viktor Borisovich Sotchava, em 1979, lança como proposta, aplicar a Teoria Geral dos Sistemas para os sistemas geográficos, a partir do livro *Introdução à Teoria dos Geossistemas* (RODRIGUEZ e SILVA, 2013). No entanto, Sotchava propõe o conceito e dele se utiliza, de forma pioneira, em estudo publicado em 1960 (RODRIGUES, 2001).

Para Rodriguez e Silva (op.cit), um elemento essencial da teoria geossistêmica foi considerar os espaços (complexos territoriais naturais) como Geossistemas, indo além da fase inicial de análise da paisagem, baseada nos procedimentos de identificação, classificação e mapeamento das unidades ambientais. Segundo Rodriguez e Silva (2013), a fase sistêmica vai identificar e definir as noções de estrutura, função, dinâmica e evolução, ou seja, diagnosticar a organização espacial da natureza.

Troppmair (2006, p.102) conceitua geossistema como “um espaço que se caracteriza pela homogeneidade dos seus componentes, suas estruturas, fluxos e relações que integrados formam o sistema do ambiente físico e onde há exploração biológica”.

De acordo com Sotchava (1977), os geossistemas foram divididos em escalas geográficas diferentes: escala local ou topológica, escala regional e escala planetária. Já pela hierarquia de funcionamento, Sales (2004) afirma que as categorias foram definidas, por ordem decrescente, em geossistema (ambiente natural), geócoro (classe de geossistema com estrutura heterogênea), geômero (classes de geossistema com estrutura homogênea) e geótopo (geossistemas associados a setores fisionômicos homogêneos).

Troppmair (2006) afirma que o conceito de Geossistema criado por Sotchava abrange centenas ou milhares de quilômetros quadrados, a partir do que foi observado na literatura das escolas russa e alemã, deixando claro que o mesmo está associado a uma escala regional.

Sales (2004) afirma que Bertrand (1968), na sua *Geografia Física Global*, conceituou geossistema como um sistema aberto, hierarquicamente organizado, formado pela

combinação dinâmica e dialética (instável) de fatores físicos, biológicos e antrópicos. Resulta da combinação dinâmica de um potencial ecológico, de uma condição de exploração biológica natural e de atividades antrópicas.

Troppmair (2006), ao tratar sobre a aplicação do conceito de geossistema elaborado por Bertrand (1978), afirma que o referido autor o fez levando em consideração as dimensões e escalas do seu país de origem (França), dividindo em geossistema, geofácia e geótopo, variando de muitos quilômetros quadrados (Geossistema) a poucos metros quadrados (geótopo).

Devido aos avanços tecnológicos que geraram mudanças na dinâmica físico-social mundial, bem como a preocupação com temas relacionados à Teoria da Sustentabilidade e Desenvolvimento Sustentável, surge a necessidade de corrigir a forma como o homem explora a natureza. Neste sentido, avançou-se na ampliação e desenvolvimento do conceito de Geossistema.

Segundo Rodrigues e Silva (2013), foram adicionados a essa nova concepção, os conceitos de poliestrutura da paisagem (paisagem vista como uma integridade territorial); processos nos ecossistemas (mudanças nos estados do geossistema descritas pela geoquímica, geofísica, biogeoquímica e paisagem); determinação do estado dos complexos territoriais naturais - CTN (correlações de estrutura e funcionamento na dinâmica da paisagem em um determinado período de tempo); atenção a conceitos integradores como estabilidade (sustentabilidade das propriedades dos CTN), resiliência e sustentabilidade.

Pode-se afirmar, portanto, que Sotchava e Bertrand utilizaram o conceito de Geossistema, porém, com objetivos diferentes, mas que, em comum, direcionaram suas discussões para o meio físico das áreas estudadas. Para Sotchava foi a análise geossistêmica das imensas planícies siberianas, que resultou no zoneamento biogeográfico. Já Bertrand enfocou nos terrenos acidentados dos Pirineus Franceses, motivando uma análise geossistêmica priorizando uma compartimentação geológico-geomorfológica (DANTAS et al, 2015).

Outra vertente da escola francesa foi desenvolvida por Tricart (1977), com os estudos denominados Ecodinâmica e Ecogeografia, cujos temas abordavam a análise da estrutura da paisagem em sua morfodinâmica. Neste sentido, Tricart classifica as diferentes paisagens pelas fragilidades ambientais existentes, enfatizando os processos erosivos-depositacionais e destacando áreas onde predominavam a morfogênese ou a pedogênese.

O exemplo dos campos de dunas dado por Tricart em seu livro Ecodinâmica, serve para mostrar o que o autor chama de unidade ecodinâmica, e se caracteriza pela dinâmica que o meio ambiente tem, de forma mais ou menos imperativa, sobre as biocenoses (relação de

vida em comum dos seres que habitam determinada região). Afirma também que o conceito de unidades ecodinâmicas “baseia-se no instrumento lógico de sistema, e enfoca as relações mútuas entre os diversos componentes da dinâmica e os fluxos de energia/matéria no meio ambiente” (TRICART, 1977, p.35).

Tricart (op.cit) divide em 03 (três) grandes meios morfodinâmicos, quanto a intensidade dos processos atuais: meios estáveis, onde a cobertura vegetal propicia retardar os processos mecânicos de morfogênese; dissecação moderada pela ação da água e ausência de manifestações vulcânicas. Ex: Serra do Divisor, Acre (fitoestasia), meios intergrades, quais sejam os meios delicados e susceptíveis a fenômenos de amplificação, transformando-se em meios instáveis (morfogênese/pedogênese); e os fortemente instáveis, onde a morfogênese aparece como elemento predominante da dinâmica natural, podendo citar como exemplo deste último a Caatinga, em Juazeiro/BA.

A avaliação integrada das características regionais criadas por Tricart teve como função reunir e confrontar um grupo de aspectos do meio natural que se condicionam mutuamente e deduzir diagnósticos contínuos, correspondendo, cada etapa, em respostas mais concretas e, portanto, mais operacionais. Neste caso, ele divide estas etapas em “definição do quadro regional; análise morfodinâmica; recursos ecológicos e problemas da gestão do território” (TRICART, 1977, p.66).

A visão dinâmica de Tricart, tendo como ponto de partida as relações morfogênese-pedogênese, juntamente com os princípios de homogeneidade e diferenciação (geômero, geócoro) para a caracterização do meio natural de Sotchava (1978), se mostram como eficientes até os dias atuais, para entender as intervenções humanas que modificam as dinâmicas naturais, podendo, assim, realizar estudos do meio natural de maneira integrada.

### **2.3 Bacia hidrográfica como unidade de análise**

A bacia hidrográfica como unidade de planejamento ambiental, vem sendo utilizada, aliando não apenas a gestão dos recursos hídricos, mas todos os elementos naturais e antrópicos que a caracterizam. Oliveira (2009) considera as bacias hidrográficas como eficazes unidades de planejamento ambiental, pois mostra, através da interação entre os elementos naturais e sociais, que os recursos hídricos são os indicadores dos efeitos das ações do homem no meio natural, desequilibrando as interações entre os componentes (objetos geográficos) que a compõem.

No contexto físico-ambiental, Rasmusson e Carpenter (1983) definem bacia hidrográfica como toda a área geográfica que drena água, sedimentos e materiais em solução

para um ponto comum, em todo o curso de água ou rio. Silva (1995) define Bacia Hidrográfica como um compartimento geográfico que possui divisores topográficos e escoamento superficial, com um rio principal e seus tributários. Entende-se que estes conceitos se complementam e definem a bacia hidrográfica enquanto recorte espacial e objeto de estudo.

Corroborando este pensamento, Pires et al (2005) afirmam que a bacia hidrográfica é caracterizada como um sistema biofísico complexo, que evidencia sistemas hidrológicos e ecológicos coesos. Consideram também a água como ponto de convergência de um sistema ambiental de múltiplas relações estabelecidas entre os diversos componentes físicos, bióticos e antrópicos.

Embora seja um sistema natural complexo, a bacia hidrográfica, como unidade físico-territorial, não é um sistema ambiental único. Isso porque, segundo Ross e Prette (1998), é preciso considerar as questões socioeconômicas regionais que, em muitos casos, não respeitam os divisores de água. Segundo Souza et al (2002), ratificando a questão, a delimitação de bacias, enquanto unidades de análise para estudos de planejamento, justifica-se pelo reconhecimento da importância dos recursos hídricos e na identificação de informações do relevo, solo, vegetação e interferências humanas.

Nesse cenário conceitual, a bacia hidrográfica do Rio Doce se apresenta como uma base territorial/ambiental que possibilita diagnósticos do meio físico para preservação e conservação dos recursos naturais (BELTRAME, 1994; SILVA et al., 2017), como proposição metodológica na perspectiva de zoneamento (MENDONÇA, 1999), e em face da degradação ambiental observada por Azevedo (2006), Soares (2006), Melo (2009), Barbosa et al., (2010), Moura (2010), Jerônimo e Souza (2013), Faustino et al. (2014), Rocha (2016) e Da Silva (2016).

Segundo Cunha e Guerra (2003), a degradação ambiental em bacias hidrográficas deve ser observada de forma integrada, considerando as relações entre os impactos ambientais negativos e as sociedades que as impactam, bem como as sociedades que sofrem os efeitos e procuram solucionar, recuperar e reconstituir as áreas degradadas.

Gondolo (1999) afirma que, para essa questão, o essencial é não apenas identificar os fatores que contribuem com a degradação, mas saber quais os processos que submetem a bacia hidrográfica, e sobre os locais onde ocorre a degradação e os fatores que a alimentam.

Entende-se que, apesar da bacia hidrográfica ser considerada por vários autores como uma unidade fisiográfica de estudo, ou seja, pela análise integrada do relevo e formação da paisagem (divisores de água, seção de controle, rio principal e rede de drenagem), as ações antrópicas no entorno da bacia também são importantes pontos a serem identificados, pois são

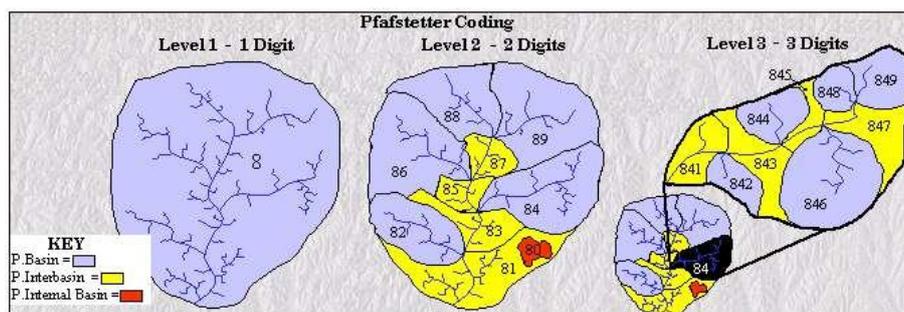
condicionantes socioeconômicos capazes de influenciar na dinâmica de uso e cobertura dos solos entre bacias, principalmente quando a mesma possui relevo plano a suave ondulado, dificultando, portanto, a delimitação precisa de uma bacia hidrográfica.

O Conselho Nacional de Recursos Hídricos - CNRH, ao considerar a bacia hidrográfica como unidade de gerenciamento hídrico, a partir da Resolução nº 30, de 11 de dezembro de 2002, estabelece que a metodologia de codificação das bacias hidrográficas em 10 bacias criada por Pfafstetter (1989) seria adotada em todo o país, cujo objetivo era realizar a subdivisão e agrupamento das bacias hidrográficas nacionais.

A construção das 10 bacias é, metodologicamente, baseada na topologia da superfície. É um sistema hierárquico onde suas bacias hidrográficas são delineadas pelas junções da rede de um rio, divididas por 10 (dez) níveis de detalhamento (0 a 9). O nível 01 corresponde à escala continental da bacia; os níveis maiores (2 a 9) representam as subdivisões da bacia, alcançando as sub-bacias de níveis inferiores (PFAFSTETTER, 1989; VERDIN, 1997, VERDIN e VERDIN, 1999).

Inicia-se pela determinação do curso d'água principal da bacia a ser codificada, identificando, primeiramente, qual o trecho de maior contribuição. Este processo se repete a cada confluência e vai se agregando ao curso d'água principal até o trecho mais a montante.

De acordo com Silva et al. (2008), a codificação destaca-se pela representação da estruturação de uma bacia por meio da utilização de códigos. Para tanto, faz uso do sistema decimal de numeração, a fim de estabelecer uma relação topológica entre segmentos de rios e a perspectiva de foz desta rede (FIGURA 03).



**Figura 03** - Níveis adotados por Pfafstetter (1, 2 e 3) para a classificação de uma bacia hidrográfica.

**Fonte:** Furnans et al., 2001.

Quanto maior for o código do tributário, mais distante ele estará da foz do curso principal ao qual se conecta diretamente. De acordo com Silva et al. (2008), para 02 (dois) tributários de um mesmo curso principal, aquele que tiver o código de maior valor estará mais próximo de sua nascente.

Freitas et al. (2012) afirmam que a delimitação dos limites físicos de uma bacia hidrográfica é obtida, tradicionalmente, a partir do traçado da linha que representa o divisor

de águas em cartas topográficas impressas ou em meio digital. Com o advento das novas tecnologias, o uso da delimitação automatizada de bacias de drenagem deu um caráter mais preciso das propriedades espaciais a partir dos Modelos Digitais de Elevação (MDE).

Strahler (1952) propõe, a partir da utilização da hierarquização fluvial, um modelo de delimitação que pode ser resumido em 04 (quatro) pressupostos: (1) canais que, originados nas nascentes, são definidos como canais de primeira ordem; (2) quando dois canais de ordem “x” se juntam, e um canal de ordem “x+1” é criado; (3) quando dois canais de ordem diferentes se juntam ao segmento do canal imediatamente à jusante e adquire a mais alta ordem entre os dois canais; (4) a ordem da bacia é a mais alta ordem de canal nela existente.

Outro processo automático para delimitação de bacias hidrográfica pode ser desenvolvido a partir de dados da missão Shuttle Radar Topography Mission (SRTM). A missão foi realizada no ano 2000, a bordo da nave Endeavour, e o resultado é a disponibilização de dados relativos ao relevo em escala global. Esses dados têm sido utilizados em diversas pesquisas que, com o auxílio de Sistemas de Informação Geográfica - SIG, possibilitam a realização de trabalhos de análise, comparação e atualização das informações da superfície da Terra, dentre elas a delimitação de bacias hidrográficas (ALVES SOBRINHO et al., 2010).

Para Gerstenecker et al. (2005), o uso dos dados SRTM para geração de Modelos Numéricos de Terreno (MNT), responsável direto pela delimitação de bacias hidrográficas, se mostrou mais eficaz que aquelas extraídas de cartas topográficas em escala 1:50.000.

Por esta razão, os dados SRTM vêm sendo utilizados com frequência nos últimos anos, demonstrando a importância deste produto para a realização de trabalhos voltados para análise e diagnóstico de bacias hidrográficas. No tocante a delimitação de bacias hidrográficas, vários são os autores que utilizaram os dados SRTM em ambiente SIG para desenvolver seus respectivos trabalhos, como, por exemplo Freitas et al. (2012); Alves Sobrinho et al. (2010); Gopinath et al. (2014); Di Franco et al. (2012).

Freitas et al. (2012) utilizaram os dados do Modelo Digital de Elevação (MDE) do SRTM para delimitação da Microbacia do arroio Burati, na Serra Gaúcha, comparando o uso do Google Earth com a delimitação automática. Alves Sobrinho et al. (2010) realizaram a delimitação da bacia hidrográfica do Guariroba – MS e afirmaram que a delimitação automática é vantajosa em relação ao custo-benefício, além de padronizar o traçado, visando a diminuição de conflitos na gestão de recursos hídricos.

Gopinath et al. (2014) compararam a extração da drenagem de dados SRTM com cartas topográficas na escala 1:50.000, e, como resultado, revelaram que a delimitação de bacia extraída do SRTM apresentou melhores produtos.

Di Franco et al. (2012) utilizaram dados do SRTM para a parametrização da bacia hidrográfica do rio Luján, Argentina. Concluíram que a metodologia aplicada com dados SRTM ajudou na delimitação da bacia e, por conseguinte, na caracterização morfoométrica da área da bacia.

No Brasil, o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE vem desenvolvendo um projeto denominado TOPODATA, que visa a construção de um banco de dados nacional com a elevação e variáveis morfoométricas calculadas a partir dos dados SRTM disponíveis para o Brasil. Para tanto, foram realizados processamentos de dados visando a interpolação dos dados SRTM com 90 metros de resolução espacial, para 1” ou quase 30 metros de resolução espacial, seguidos de análises morfoométricas do Modelo Digital de Elevação – MDE, mediante algoritmos instalados em ambiente SIG (VALERIANO, 2005). A disseminação destes dados permitiu a realização de diversos trabalhos envolvendo a delimitação de bacias hidrográficas.

Brubacher et al. (2012) realizaram uma análise comparativa entre as bases SRTM existentes no Brasil, oriundas da NASA, EMBRAPA e INPE (TOPODATA). Como resultado observaram que o TOPODATA foi que teve menos alterações em relação aos dados altimétricos e que todos tiveram discrepâncias em bacias mais planas e com rios sinuosos, sendo subtraídos alguns trechos de rios existentes em cartas topográficas do DSG na escala de 1:50.000.

Mantelli et al. (2011) utilizaram os dados TOPODATA para determinar os riscos ecológicos em Unidades de Conservação (Alto da Ribeira), localizadas no Estado de São Paulo, a partir da extração automática de drenagem e da bacia hidrográfica. Segundo os autores, os resultados obtidos a partir do TOPODATA demonstraram os melhores resultados, quando comparados com dados do SRTM e do Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) Global Digital Elevation Model Version 2 (GDEM V2).

## **2.4 Vulnerabilidade ambiental: principais conceitos**

O tema vulnerabilidade ambiental tem sido muito discutido nos últimos anos, utilizando-se de diferentes tipos de indicadores na caracterização da vulnerabilidade, em diferentes tipos de recortes espaciais.

Para Tagliani (2003), vulnerabilidade ambiental é definida como qualquer susceptibilidade de um ambiente a um impacto potencial provocado por qualquer tipo de uso antrópico.

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

Dentre os vários conceitos de Vulnerabilidade Ambiental, o adotado por Li et al. (2006) correlaciona-se com o objetivo deste trabalho. Segundo os autores, o conceito de vulnerabilidade está relacionado às características do meio físico e biótico, à exposição a fontes de pressão ambiental (dentre eles o uso e cobertura da terra) e à ocorrência de impactos ambientais por erosão hídrica.

Lima et al. (2000) analisam a vulnerabilidade de um geossistema pela avaliação das características do meio físico, biótico e antrópico, que tornam o relevo mais ou menos instável pelos processos erosivos. Os dados do meio físico relacionam-se aos temas geologia, geomorfologia, pedologia, clima e hidrografia. O meio biótico está relacionado à vegetação e as características antrópicas ligadas ao uso e ocupação do solo.

Christofoletti (1999) afirma que o espaço geográfico é caracterizado pelo relacionamento de fatores abióticos, bióticos e antrópicos, incluindo o homem na inter-relação e fluxo de matéria e energia. Segundo Figueiredo et al. (2010), nessa abordagem, a estrutura e a dinâmica ambiental em um espaço pode ser visualizada a partir de produtos do sensoriamento remoto, buscando distinguir as variações de relevo, vegetação, hidrografia e tipo de solo. O clima e a geologia também integram a análise da vulnerabilidade, embora não podendo ser visualmente separados. Inclui-se nesse tipo de análise o planejamento das bacias hidrográficas.

A partir da identificação das variáveis do meio físico e antrópico, é possível a organização dos indicadores ambientais responsáveis pelo planejamento e ordenamento territorial em bacias hidrográficas. Segundo a OMS (2002), os indicadores podem ajudar na simplificação de arranjos complexos de informações sobre saúde, meio ambiente e desenvolvimento, possibilitando uma visão sintética das condições e tendências existentes.

No presente trabalho, os indicadores ambientais foram usados de acordo com Crepani et al. (2001), Grigio (2003) e Oliveira (2011). O primeiro autor teve como objetivo a geração de cartas de vulnerabilidade natural à perda de solo, a partir da média aritmética simples de mapas temáticos do meio físico para subsidiar o Zoneamento Ecológico-Econômico da Amazônia e de outras regiões do país. Grigio (2003) e Oliveira (2011) adaptaram a metodologia adotada por Crepani et al. (2001), inserindo a variável antrópica “uso e cobertura da terra” e adotando “pesos” que indicavam a importância de cada tema para identificar as

vulnerabilidades ambientais no município de Guamaré – RN e no litoral sul do Estado do Rio Grande do Norte, respectivamente.

De acordo com os autores, a metodologia é definida a partir da reinterpretação das informações temáticas disponíveis em imagens de satélite utilizadas como “âncora”, e a geração de curvas de intensidade pluviométrica, definindo Planos de Informações temáticos georreferenciados. Posteriormente é feita uma classificação do grau de vulnerabilidade de cada unidade territorial nos processos de morfogênese e pedogênese, a partir da atribuição de 21 valores para cada unidade da paisagem.

O mapeamento da vulnerabilidade à perda do solo utilizada por Crepani et al. (2001) vem servindo de base para inúmeros trabalhos em todo o país, dentre outros, tem-se Grigio (2003), Ribeiro e Campos (2007), Mesquita et al. (2010), Mota e Valladares (2011), Oliveira (2011), Medeiros et al. (2012), Silva e Machado (2014), Fagundes e Queiroz Filho (2014), Rovani et al. (2015).

Grigio (2003) realizou a identificação, o mapeamento e a interpretação da evolução do uso e ocupação do solo e a vulnerabilidade ambiental do Município de Guamaré (RN), tendo como base o uso de dados de sensoriamento remoto e reconhecimento de campo, integrados em ambiente SIG. Em relação a vulnerabilidade ambiental, os resultados mostraram que o uso de pesos compensatórios, com ênfase no fator antrópico, mostrou-se relevante para a busca do resultado final, entendendo esse fator como importante agente modelador da paisagem local. Afirma, ainda, que a criação de um banco de dados consistente sobre o uso e ocupação do solo, juntamente aos dados relativos às características físicas, permitiram uma melhor compreensão dos processos participantes na área em estudo.

Ribeiro e Campos (2007) montaram um banco de dados com informações cadastrais, com o objetivo de elaborar o mapa temático de vulnerabilidade natural à erosão do solo para o zoneamento ecológico da bacia hidrográfica do Alto Rio Pardo – SP, através do SIG SPRING, imagem digital do sensor Landsat 7 ETM<sup>+</sup>, e os dados relativos aos mapas de solo, geológico, geomorfológico, assim como as cartas topográficas e os dados de precipitação. O mapa da vulnerabilidade foi elaborado a partir da distribuição dos pesos médios para cada tema associado, gerando uma grade resultante da média zonal. Os resultados mostraram a importância do uso da imagem digital para o mapeamento do uso do solo. Como resultado do produto, observou-se que 95% da bacia apresenta grau de vulnerabilidade mediana e moderadamente estável, presença de solos jovens, relevo suave ondulado e coberto por pastagem e cultura anual.

Mota e Valladares (2011) elaboraram o mapa de vulnerabilidade à degradação dos solos da bacia do rio Acaraú – CE, utilizando Sistema de Informações Geográficas - SIG e a

metodologia multicritério aditivo. Foram avaliados os temas geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e clima, definindo 05 (cinco) classes de vulnerabilidade: estável, moderadamente estável, medianamente estável/vulnerável, moderadamente vulnerável e vulnerável. Como resultado, a classe medianamente estável/vulnerável foi a mais representativa, ocupando 67,8% da bacia. Os autores afirmam, também, a viabilidade da aplicação do método para a elaboração da vulnerabilidade ambiental para o uso na gestão territorial da bacia estudada.

Oliveira (2011) identificou os impactos ambientais negativos e determinou os graus de vulnerabilidade ambiental existentes no litoral sul do estado do Rio Grande do Norte. As classes de vulnerabilidade ambiental foram determinadas a partir de modelamentos por álgebra de mapas, seguindo a metodologia adotada por Crepani et al. (2001). Como resultado, observa que, em relação à vulnerabilidade ambiental, mais de 80% da área é classificada como de baixa a moderada vulnerabilidade, sendo considerada, portanto, uma área equilibrada em relação a morfogênese/pedogênese. No entanto, as dunas ativas apresentaram vulnerabilidade muito alta, indicando que devem ser prioritariamente protegidas.

No estado do Rio Grande do Norte, Medeiros et al. (2012) identificaram as áreas de vulnerabilidade ambiental na zona oeste de Natal/ RN. Para tanto, realizaram a identificação das áreas de risco, a partir da metodologia adotada por Crepani et al. (2001), indicando o grau de vulnerabilidade conforme os processos morfodinâmicos. Como resultado, observou-se que esta zona da cidade é bastante vulnerável a deslizamento do material friável das dunas, ocupadas, na maioria, por residências de famílias de baixa renda, gerando riscos de desmoronamentos das suas residências.

Silva e Machado (2014) realizaram a classificação e mapeamento da susceptibilidade erosiva natural e com a influência antrópica da bacia hidrográfica do córrego Mutuca, Nova Lima, Minas Gerais. Para tanto, utilizou a metodologia de análise multicritério, o que permitiu a investigação combinada de diferentes variáveis para gerar um mapa síntese, a partir da atribuição de pesos às variáveis e classes, demonstrando a influência de cada variável no fenômeno considerado. Como resultado, os autores fizeram uma análise qualitativa e quantitativa da influência antrópica na susceptibilidade erosiva da bacia em estudo.

Fagundes e Queiroz Filho (2014) analisaram a variação de escala nas metodologias de fragilidade ambiental e de vulnerabilidade à perda do solo na bacia hidrográfica do Rio Jundiá – SP. Como resultado, os autores afirmaram que na metodologia adotada por Crepani et al. (2001), há uma tendência de atenuação dos valores extremos e uma acentuação dos valores intermediários, enquanto na metodologia de Ross (1994) ocorre o inverso, atenuando valores intermediários e acentuando os extremos. A tendência da diferenciação entre os

resultados dos mapas de vulnerabilidade e fragilidade ambiental se dão com o aumento da escala do mapa.

Rovani et al. (2015) analisaram a vulnerabilidade natural a perda do solo do município de Barão de Cotegipe, RS. Para tanto, criou-se um banco de dados espaciais no SIG SPRING 5.0.6. Os dados utilizados foram relativos aos temas geologia, geomorfologia, solos, vegetação e uso e ocupação da terra, de acordo com o grau de vulnerabilidade de cada informação, por meio da álgebra de mapas. Como resultado, observou-se que predominaram as unidades identificadas como medianamente estável/vulnerável, ocupando 72,53% do município, representando um equilíbrio entre a pedogênese e a morfogênese.

Há inúmeros outros trabalhos com a aplicação da metodologia criada por Crepani et al. (1996) e readaptada em 2001. No geral, há o incremento ou retirada de alguns temas, principalmente o mapa climático, devido à falta de materiais disponíveis. Percebe-se que, na maioria dos trabalhos realizados, os resultados alcançados atenderam aos objetivos do trabalho, mostrando, portanto, a sua eficiência metodológica.

### **3 ÁREA DE ESTUDO**

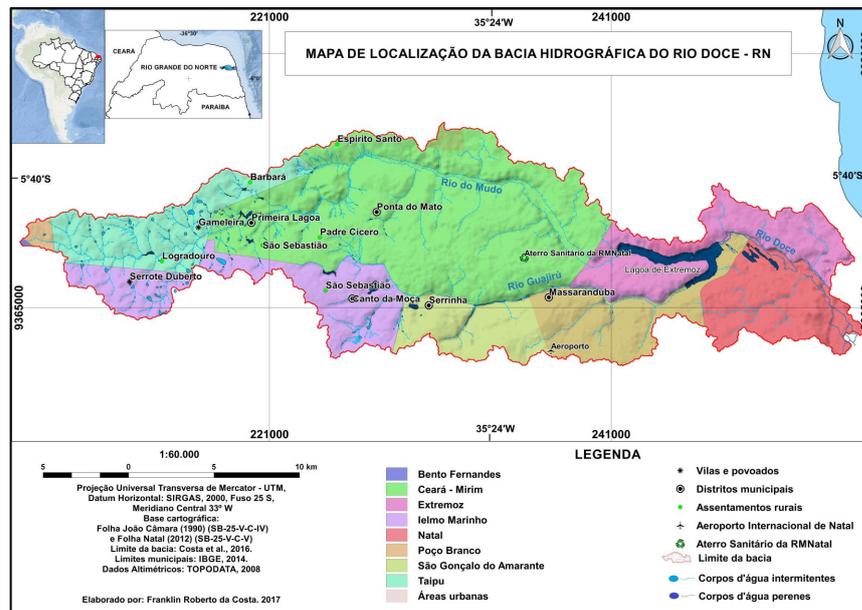
#### **3.1 Localização**

A Bacia Hidrográfica do rio Doce é uma das mais importantes da Região Metropolitana de Natal. Localizada na porção leste do Estado do Rio Grande do Norte, tem importância maior, para a Zona Norte do Município de Natal – RN, pois nela está a maior fonte de abastecimento d'água daquela região: a Lagoa de Extremoz. A bacia, como um todo, está inserida em parte de 8 (oito) municípios, quais sejam, Ceará-Mirim, Extremoz, Natal, Ielmo Marinho, São Gonçalo do Amarante, Taipu, Poço Branco e Bento Fernandes. Esses municípios reúnem diversos atores sociais como produtores rurais, empresários e sociedade civil em geral (FIGURA 04).

O Rio Doce, que dá nome a bacia, tem origem na Lagoa de Extremoz, e esta, por sua vez, é alimentada pela confluência de dois rios, o Guajirú e o do Mudo, que são os principais tributários da bacia, localizados a montante dessa lagoa.

Os rios Guajirú e do Mudo são intermitentes em suas nascentes, permanecendo assim por vários e extensos trechos até a lagoa de Extremoz. A partir da lagoa de Extremoz as águas fluem como um único rio perene, denominado de rio Doce. Segundo Cunha (2004), este rio corre sobre sedimentos quaternários de dunas e aluviões até a sua desembocadura. É

alimentado por olhos d'água em aproximadamente 14 km de percurso, pois seu leito está em um nível mais baixo que o nível estático das águas.



**Figura 04:** Mapa de localização da Bacia Hidrográfica do Rio Doce – RN

Nas proximidades da foz da bacia, a evolução paleogeográfica foi complexa, por estar ligada ao desenvolvimento do campo de dunas que contorna e desvia sua desembocadura e drenagem normais, formando lagoas alinhadas, que, em determinadas ocasiões, se comunicam entre si. Apesar da falta de dados mais concretos, Cunha (2004) afirma que houve uma migração de alguns quilômetros da sua desembocadura, como resposta à ação eólica existente.

No ano de 1965, para evitar o total soterramento do curso do rio pelo avanço das dunas, o Departamento Nacional de Obras e Saneamento - DNOS canalizou o rio através de dragagens e outras obras superficiais, levando seu curso para o estuário do rio Potengi, através do Canal de Manimbu (CUNHA, 2004).

O autor afirma, ainda, que estudos batimétricos de detalhe, realizados em setembro de 2001, permitiram observar um paleocanal do rio Doce, comprovado a partir de levantamentos geofísicos através de registros na área de pós-praia da Redinha Nova.

### 3.2 Caracterização fisiográfica e socioeconômica

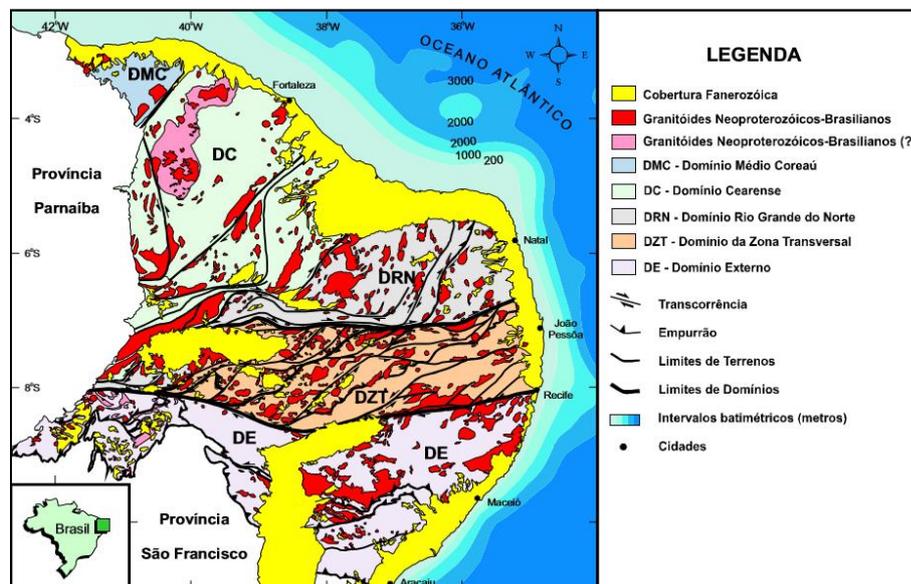
As caracterizações do meio físico e socioeconômico foram realizadas a partir dos levantamentos cartográficos e bibliográficos referentes aos temas geologia, geomorfologia, solos, clima, hidrografia, vegetação e dados socioeconômicos relativos a demografia, saúde, educação, renda e uso do solo. Os mapas foram gerados na escala 1:100.000 e tiveram como

referências os dados obtidos nos órgãos públicos municipais, estaduais e federais reunidos e consistidos para análises e extração de informações com apoio de geotecnologias e implementação de um banco de dados geográficos.

### 3.2.1 Caracterização do meio físico da bacia do rio Doce

#### 3.2.1.1 Geologia

Segundo Almeida et al (1977), o Nordeste brasileiro é predominantemente constituído por rochas do embasamento pré-cambriano, que fazem parte da Província Borborema, subdividida em 05 (cinco) domínios geológicos (MEDEIROS, 2004), enquanto que as rochas sedimentares do Fanerozóico, pertencem à Província Costeira e à Margem continental (FIGURA 05).



**Figura 05:** Domínios Geológicos na Província Borborema.

**Fonte:** Medeiros, 2004.

Jardim de Sá (1994) e Medeiros (2004) afirmam que a BHRD está inserida no extremo leste no Domínio Rio Grande do Norte, onde afloram Coberturas Fanerozóicas e Granitóides Neoproterozóicos (FIGURA 05). A Cobertura Fanerozóica é a predominante na Bacia, ocupando toda a parte centro-leste, enquanto as rochas pertencentes ao Domínio Rio Grande do Norte aparecem na parte mais a oeste da bacia intrudidas por Granitóides Neoproterozóicos-Brasílios (FIGURA 05), também na porção oeste da bacia.

De acordo com Nascimento et al (2008), o Domínio Rio Grande do Norte apresenta cinco suítes de rochas magmáticas de idade Ediacarana a Cambriana. São eles a shoshonítica (Shos); cálcio-alcálica de alto K porfirítica (CalcKP); cálcio-alcálica de alto K equigranular

(CackEq), alcalina (Alc) e alcalina chamoquítica (AlcCh). Na BHRD, tem-se a Suíte Cálcio Alcalina de Alto K Equigranular Taipu e Dona Inês, aflorantes no extremo oeste da bacia.

O arcabouço tectonoestrutural da Bacia Hidrográfica do Rio Doce – RN compreende majoritariamente as Bacias Sedimentares Mesozóicas, costeiras, classificadas como Bacia Potiguar/Coberturas cenozoicas – BP e a oeste da bacia pelos Complexos Paleo e Neoproterozóicos, tendo como referência na região o granito Taipu (ANGELIM et al., 2006).

Amaral (1990) e Fonseca et al (2012) elaboraram cartas geológicas das folhas João Câmara (SB.25-V-C-IV) e Natal (SB.25-V-C-V), na escala 1:100.000, identificando-se, a partir dessas cartas, as unidades geológicas referentes à BHRD, onde a maior parte desta bacia está inserida na folha Natal (FIGURA 06).

Percebe-se que as unidades geológicas presentes na bacia são caracterizadas por estarem inseridas em um período de depósitos recentes, geralmente representados por coberturas sedimentares inconsolidadas, o que caracteriza uma área eminentemente vulnerável ambientalmente. Isso é ainda mais significativo pela natureza dessas coberturas predominantemente arenosas, de granulometria média a grossa, friáveis, de alta permeabilidade e porosidade primárias, favorecendo um maior escoamento/liquefação, erosão e transporte de materiais. Contribui, dessa forma, no assoreamento de diversos canais, ou uma maior infiltração e recarga subterrânea, a depender da maior exposição dos terrenos ou da cobertura vegetal, respectivamente.

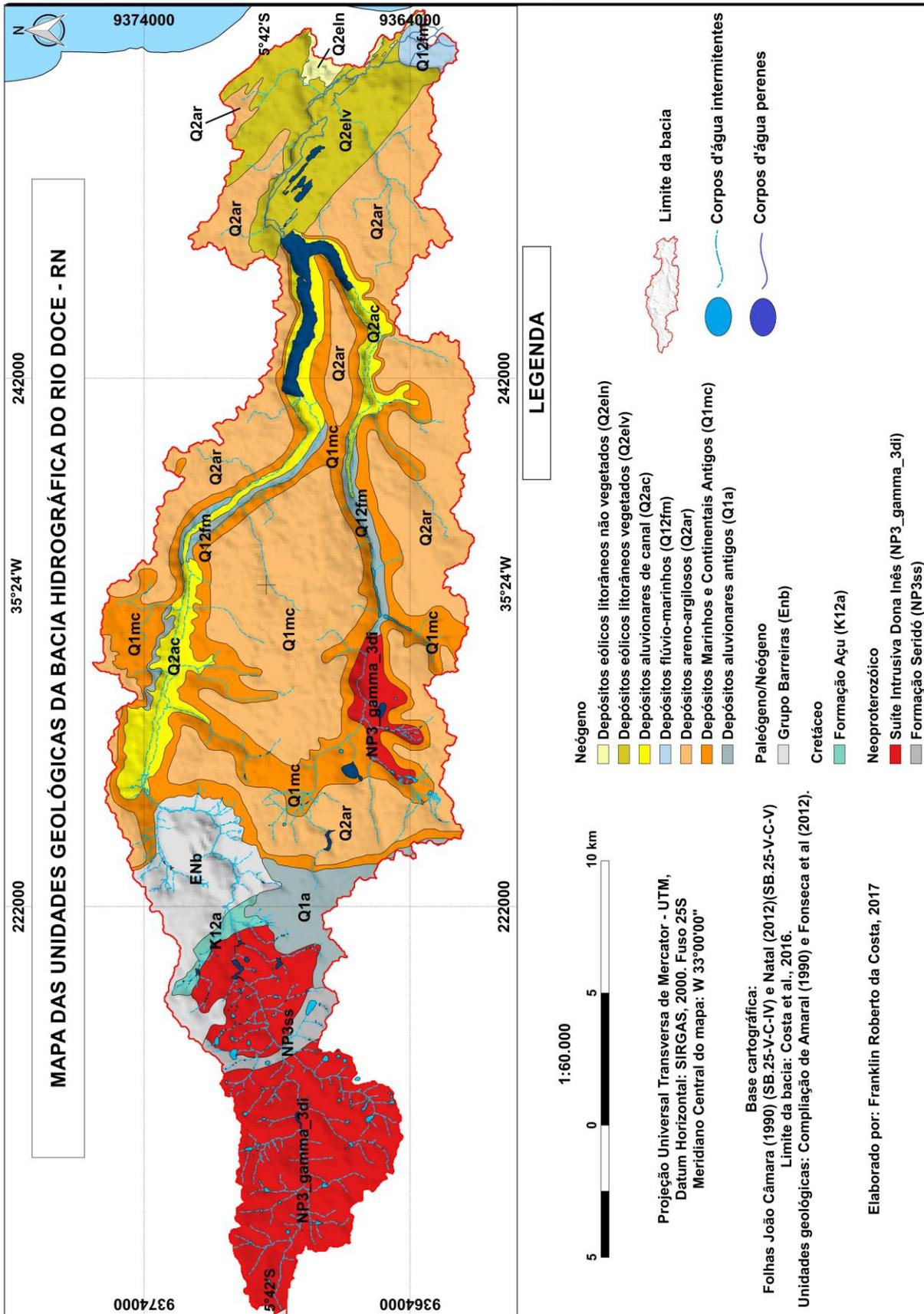
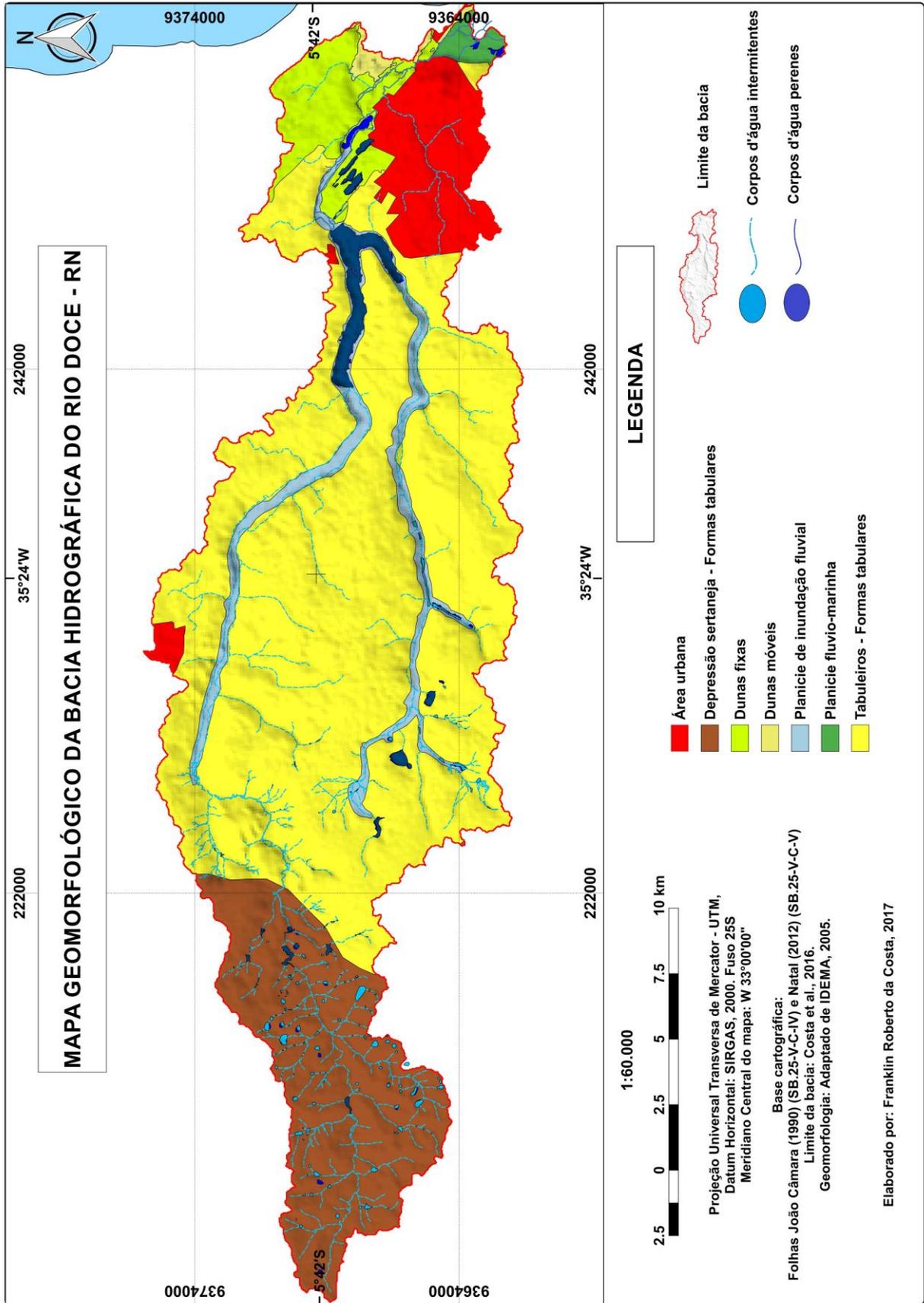


Figura 06: Unidades Geológicas da BHRD. Fonte: Amaral (1990); Fonseca et al. (2012).

### 3.2.1.2 Geomorfologia

A geomorfologia da BHRD pode ser dividida, no sentido oeste-leste, em 03 (três) unidades naturais, onde foi possível identificar 06 (seis) unidades geomorfológicas distintas (IDEMA, 2005) (FIGURA 07).

A primeira é representada pela unidade **Depressão Sertaneja**, que está localizada na porção oeste da bacia, chegando próximo à porção central. Na porção central da bacia, avançando para a porção leste, têm-se a predominância da unidade geomorfológica dos **Tabuleiros**, considerada a maior unidade existente na bacia. A terceira unidade geomorfológica é a **Planície de Inundação Fluvial**, que percorre margeando o leito dos rios que compõem a bacia. Na porção leste da bacia, observam-se as unidades **Dunas Fixas** na porção centro-norte e **Dunas Móveis** no extremo leste. Por fim, na porção sudeste da bacia encontra-se a unidade **Planície Flúvio-Marinha**.



**Figura 07:** Mapa geomorfológico da Bacia Hidrográfica do Rio Doce.  
**Fonte:** Adaptado de IDEMA, 2005.

### 3.2.1.3 Pedologia

Os solos da bacia são classificados como Neossolos, Latossolos, Planossolos, Argissolos, Luvisolos e Gleissolos (IDEMA, 2005). Para a caracterização dos solos, foram utilizados os conceitos adotados por Jacomine (2008) (FIGURA 08).

De acordo com o IDEMA (2005), os solos da bacia estão distribuídos de acordo com suas respectivas áreas e os percentuais da distribuição na superfície da bacia (QUADRO 1).

Os solos do tipo Neossolo ocupam uma área de 34,79 km<sup>2</sup>, o equivalente a 8,77% da superfície da bacia, localizados na porção leste. São constituídos por material mineral, não hidromórficos, ou por material orgânico pouco espesso e não apresentam alterações expressivas em relação ao material originário, devido à baixa atuação dos processos endogenéticos.

**Quadro 01:** Solos distribuídos na Bacia Hidrográfica do rio Doce por km<sup>2</sup> e percentual de distribuição na superfície.

Classes de solos	Sigla	Área	
		Km <sup>2</sup>	%
Latossolo	LA	182,31	45,96
Argissolo	PA	97,73	24,64
Planossolo	SX	63,98	16,13
Neossolo	RQ	34,79	8,77
Gleissolo	GJ	10,07	2,54
Luvisolo	TX	1,50	0,42
Corpos d'água	Ag	6,11	1,54

**Fonte:** Adaptado de IDEMA, 2005.

Os Latossolos são constituídos por material mineral, com horizonte B latossólico, abaixo de qualquer um dos tipos de horizonte superficial. São solos em estágio de intemperização avançado. É o solo mais abundante na bacia, localizado na porção central. De acordo com os dados do IDEMA (2005), ocupam 182,31 km<sup>2</sup>, o que corresponde a 45,96% de toda a bacia.

Os Planossolos são solos minerais imperfeitamente ou mal drenados, com horizonte superficial ou subsuperficial eluvial, textura mais leve, contrasta abruptamente com o horizonte B ou com transição conjugada. Geralmente, com acentuada concentração de argila e permeabilidade lenta a muito lenta. São encontrados na porção oeste, ocupando 54 km<sup>2</sup> da bacia, o que representa 13,9% da sua superfície.

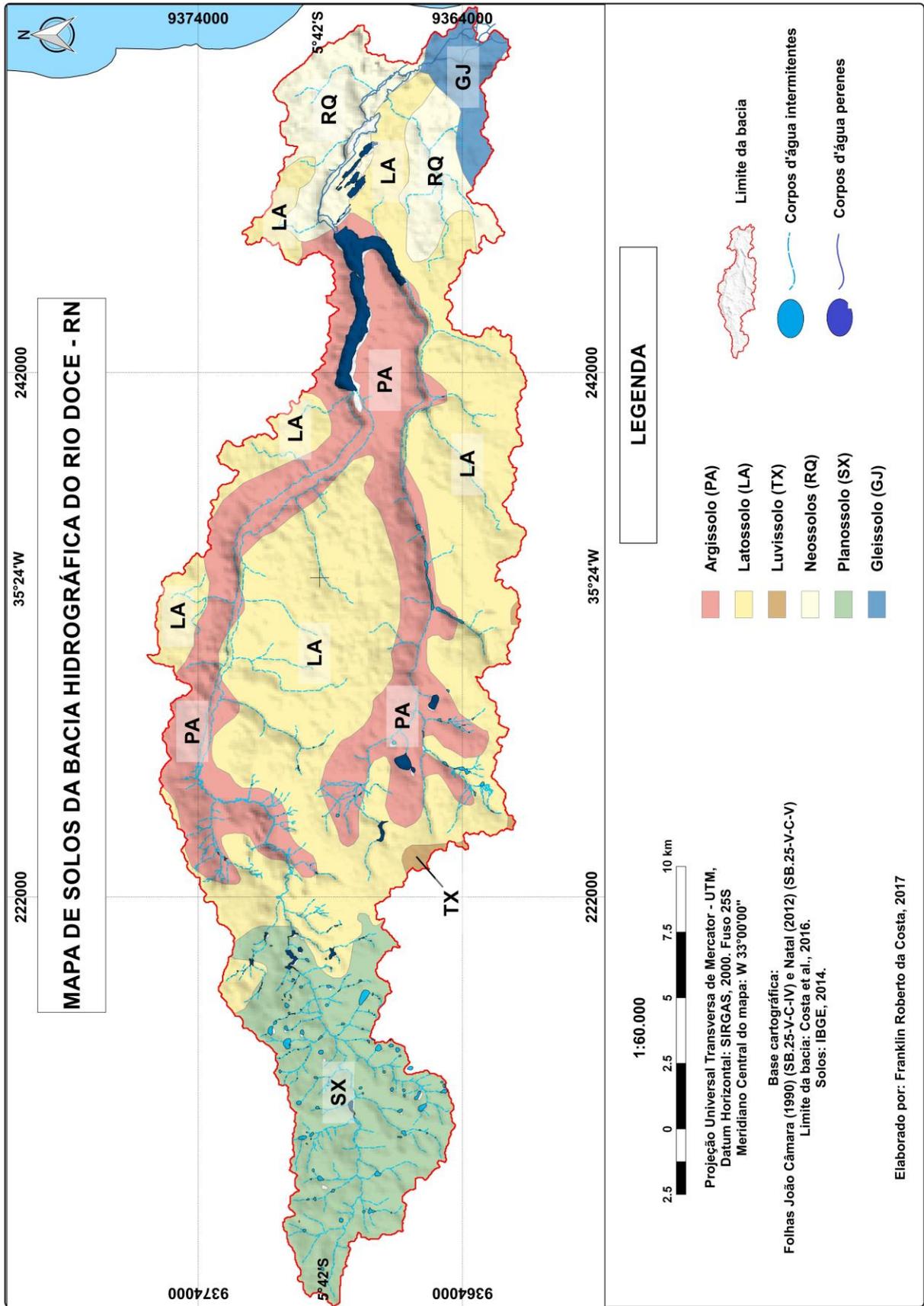


Figura 08: Mapa de solos da Bacia Hidrográfica do Rio Doce.

Os Argissolos são encontrados em praticamente toda extensão da bacia, seguindo os cursos principais dos rios. São solos constituídos por material mineral, que tem como característica a presença de horizonte B textural de argila de atividade baixa, ou alta conjugada com saturação por bases baixa. O horizonte B textural encontra-se abaixo de qualquer horizonte superficial.

Os Luvisolos são solos minerais, não hidromórficos, com horizonte B textural, argila de atividade alta e saturação de bases elevada, imediatamente abaixo do horizonte A ou E. Localizam-se nos limites da bacia, na sua porção centro-oeste, sendo pouco significativos para a bacia, tratando-se de extensão territorial.

Por fim, os Gleissolos (ou Solos Indiscriminados de Mangue) são solos pouco desenvolvidos, lamacentos, escuros e com alto teor de sais provenientes da água do mar, formados em ambientes de mangues a partir de sedimentos flúvio-marinho recentes, misturados com detritos orgânicos. Tais sedimentos são decorrentes da deposição pelas águas dos rios quando se encontram com as águas do mar, em condição de baixa energia. Estão localizados na foz do rio Doce, a leste da bacia e ocupam 8,7 km<sup>2</sup>, representando 2,3% da sua porção territorial.

#### 3.2.1.4 Clima

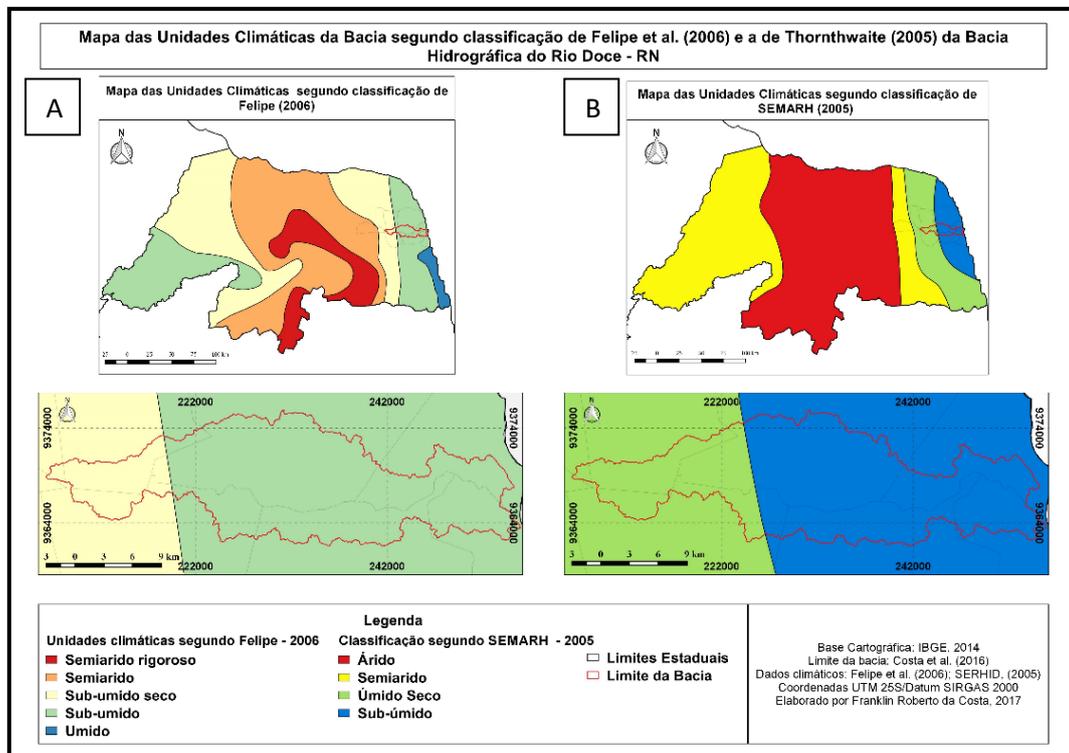
Felipe et al (2006) elaboraram o mapa das unidades climáticas do Estado, a partir de dados obtidos no Instituto de Desenvolvimento do Rio Grande do Norte, dividindo-o em 5 (cinco) tipos: Úmido, Sub-úmido, Sub-úmido seco, Semiárido e Semiárido Rigoroso (FIGURA 9A).

A BHRD está localizada nas unidades climáticas Sub-úmido e Sub-úmido Seco. Segundo Felipe et al. (2006), o clima Sub-úmido é caracterizado por médias pluviométricas anuais que variam entre 800 e 1200 milímetros. Equivale, na Classificação de Köppen, ao clima tropical chuvoso, com inverno seco e com estação chuvosa prolongando-se até o mês de julho.

O clima Sub-úmido seco possui média de precipitação entre 600 e 800 milímetros. Equivale na classificação de Köppen à transição entre o Tropical Típico (Aw) e o Semiárido (Bs).

Já na classificação da SEMARH (2005) (FIGURA 9B), que teve como referência a classificação de Thornthwaite (1948), a bacia está inserida nas unidades Sub-úmido (C1DA'a') e Úmido seco (C1WA'a'). A primeira unidade tem como característica um clima

seco e sub-úmido, com pequeno ou nenhum excesso de água, megatérmico e com baixa variação estacional. Já o úmido seco tem como característica um clima seco e sub-úmido, com moderado excesso de água, megatérmico, com baixa variação estacional. Percebeu-se que ambas classificações mostram uma área de transição nas unidades climáticas existentes na bacia, partindo, de leste para o oeste, com menores precipitações.



**Figura 09A e 09B.** Mapa das unidades climáticas da BHRD baseada em Felipe et al (2006) e baseada na classificação de SEMARH (2005), respectivamente.

Segundo a classificação de Köppen, a bacia hidrográfica do Rio Doce-RN é caracterizada como predominantemente do tipo As' – clima tropical chuvoso com verão seco. A estação chuvosa se aproxima no período do outono (entre março e junho). As chuvas anuais médias crescem do interior para o litoral, passando de 700 milímetros nas cabeceiras para 1.400 milímetros na foz (SEMARH, 2000).

Castro (2000) realizou uma caracterização da precipitação na BHRD, tendo como referência os dados dos Postos Pluviométricos dos municípios de Taipu (alto curso do rio), Ceará-Mirim (médio curso), entre os anos de 1912 a 1976, e Natal (baixo curso), entre os anos de 1910 a 1979. Segundo Castro (op cit), a maior precipitação pluviométrica no alto curso da bacia foi de 2.432 mm e a menor de 306 mm. A média obtida no mesmo período foi de 733,29 mm. No médio curso, a maior precipitação foi de 2.098 mm e a menor de 382 mm, com média anual de 1.032,65 mm. Já no baixo curso, a maior precipitação foi de 3.511 mm e a menor de 530 mm, com média anual de 1.563 mm.

A temperatura média no médio curso da bacia foi de 25,4°C, com variações de 24°C a 26,5°C e amplitude térmica de 2,5°C. Já no baixo curso, as temperaturas variaram entre 24,4°C e 27,3°C, com média anual de 26,2°C e amplitude térmica de 2,9°C. Em toda a bacia, os meses mais quentes são dezembro, janeiro e fevereiro e os mais frios são julho, agosto e setembro (CASTRO, 2000).

Somando-se as médias obtidas por Castro (2000), a média pluviométrica da bacia para o período analisado foi de 1.109,65 mm. Já a temperatura média da bacia variou entre 24°C e 27,3°C com uma amplitude térmica de 3,3°C.

### 3.2.1.5 Hidrografia

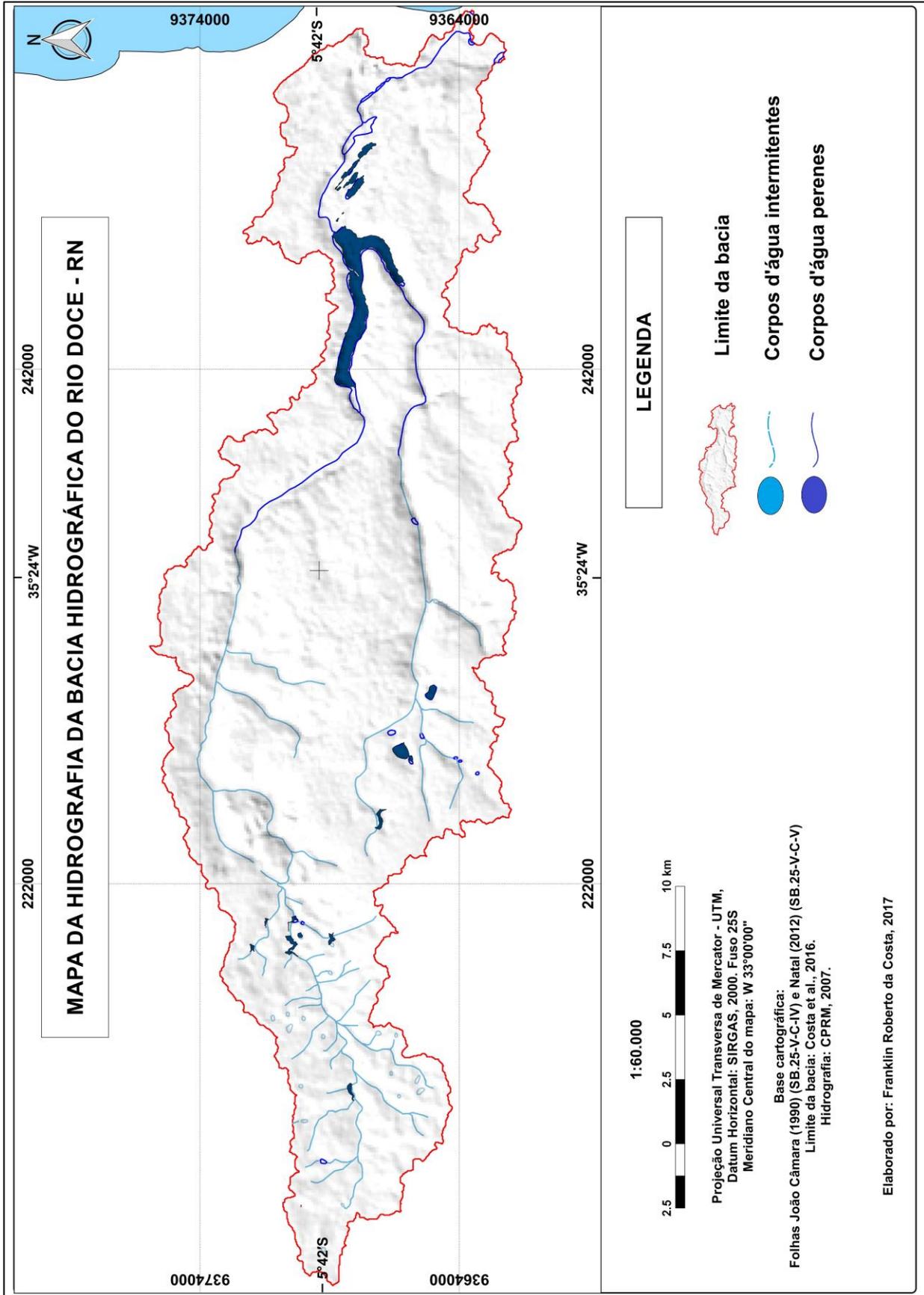
A caracterização do meio físico tem na hidrografia, uma das principais variáveis utilizadas para se entender a dinâmica de formação de uma bacia hidrográfica. Permite, nesse sentido, avaliar as diferentes dinâmicas, interações ecossistêmicas e fluxos de massa.

Neste sentido, entende-se como bacia hidrográfica, uma área formada por um rio principal e seus afluentes. Esses afluentes seguem em direção ao rio principal e este segue em direção a foz para desaguar, no caso da BHRD, no estuário do rio Potengi.

A hidrografia da BHRD é formada por 3 microbacias, onde 02 (dois) rios principais, bem como seus afluentes, são considerados intermitentes (rios do Mudo e Guajirú) e 01 (um) possui o rio principal perene e seus afluentes intermitentes (rio Doce). Segundo Cunha (2004), o rio Doce corre sobre sedimentos quaternários de dunas e aluviões até a sua desembocadura. É alimentado por olhos de água em aproximadamente 14 km de percurso, pois seu leito está em um nível mais baixo que o nível estático das águas (FIGURA 10).

De acordo com a Figura 10, observa-se que a maior sub-bacia é a bacia do rio do Mudo. Seu rio principal possui uma extensão de, aproximadamente, 47 quilômetros. A segunda maior é a sub-bacia do rio Guajirú. Seu rio principal com uma extensão de 28 quilômetros. Já o rio principal da sub-bacia Doce possui uma extensão de 12 quilômetros, a partir da passagem da água da Lagoa de Extremoz para o rio, até a sua atual desembocadura.

Os cursos d'água intermitentes estão localizadas em uma região de clima mais árido, cujas características são a baixa pluviosidade e temperaturas elevadas, aumentando a evapotranspiração. O trecho perene da bacia é alimentado pelo aquífero Dunas/Barreiras, principalmente a partir da Lagoa de Extremoz, mais a jusante da bacia (CASTRO, 2000).



**Figura 10:** Mapa da Hidrografia da Bacia Hidrográfica do Rio Doce – RN.

### 3.2.1.6 Vegetação

A bacia hidrográfica do rio Doce – RN apresenta pequenas porções do seu território cobertas com vegetação nativa e sucessionais. Isso porque as formas de ocupação marcaram a supressão da vegetação para o desenvolvimento de atividades diversas, destacando-se o desmatamento para produção agrícola, a pecuária e a expansão urbana.

As formações vegetais encontradas na BHRD pertencem ao Domínio fitogeográfico Caatinga, e uma pequena parte, mais a leste da bacia, ao Domínio Mata Atlântica. De acordo com PROBIO (2006), as formações existentes na bacia são: Savana Estépica Arborizada, Savana Arborizada, Floresta Estacional Decidual de Terras Baixas e Formações Pioneiras com Influência Fluvial e/ou Lacustre e Fluviomarinha (vegetação de Mangue). O trabalho desenvolvido pelo IBGE (2012) se deu na escala 1:250.000 e contribuiu para a identificação das principais formações de vegetação da bacia (FIGURA 11).

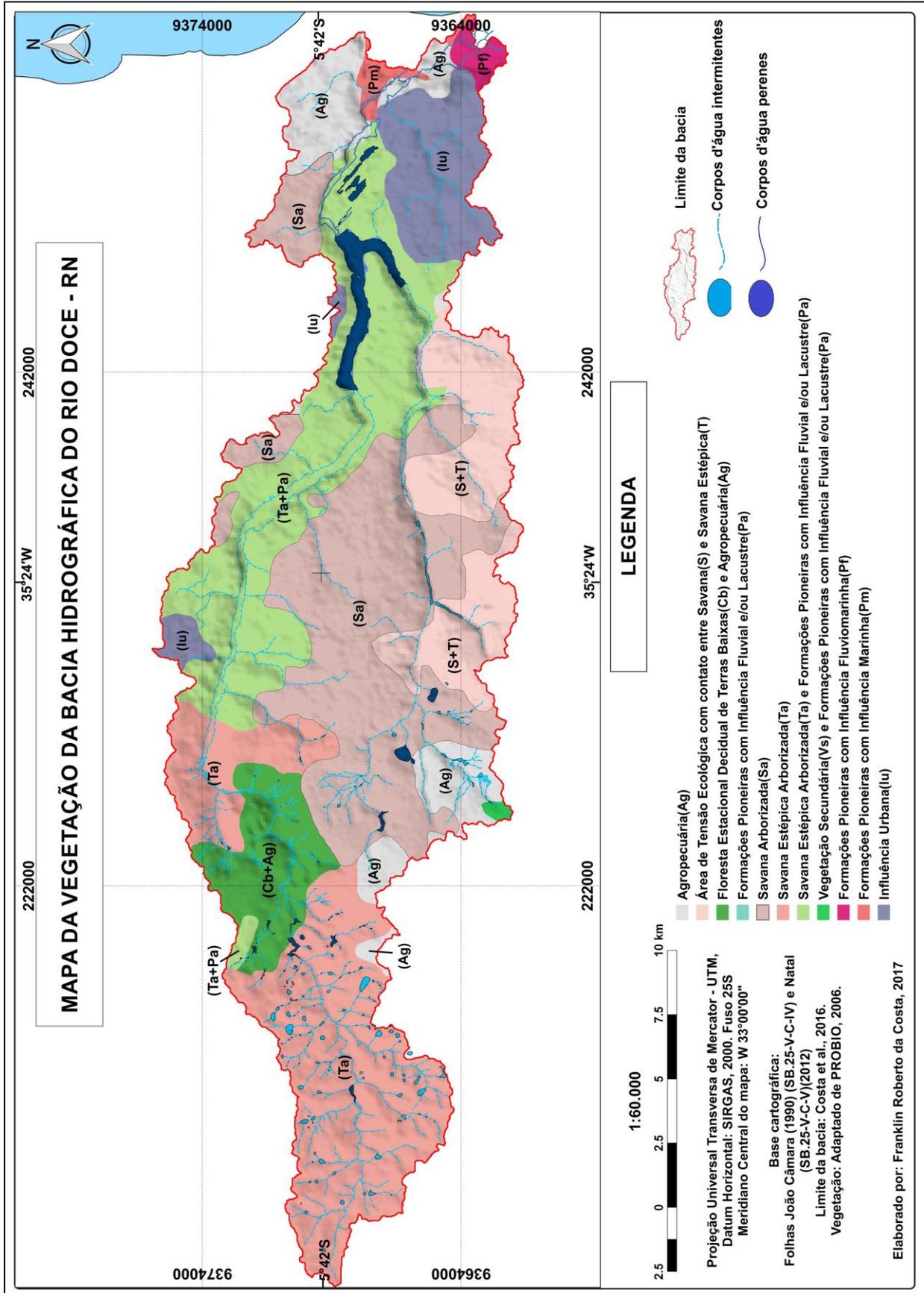


Figura 11: Mapa da vegetação e cobertura da terra da Bacia Hidrográfica do Rio Doce - RN

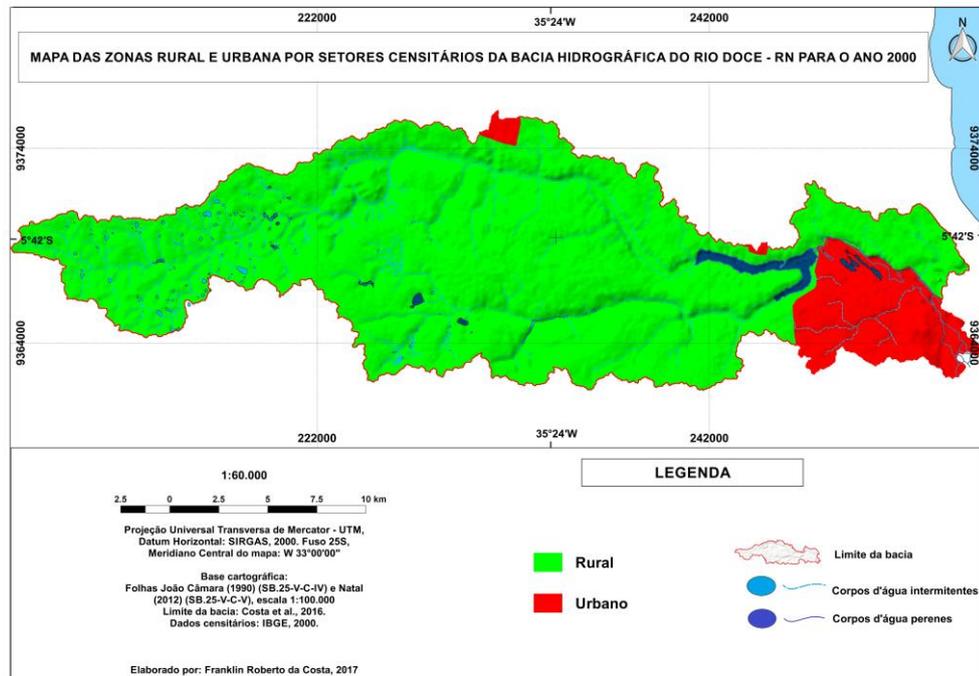
### 3.2.2 Caracterização socioeconômica da bacia hidrográfica do Rio Doce

Os dados do IBGE são a base para a definição do perfil socioeconômico da bacia, pois é considerada a base de dados mais completa referente à educação, saúde, renda, moradia e demografia. No presente trabalho estes dados tiveram como recorte geográfico os setores censitários inseridos parcial ou totalmente nos limites da bacia. Com isso, se aproxima das condições reais de ocupação, como, por exemplo, a população total da bacia em setores urbanos e rurais.

Para realizar a análise socioeconômica da área de estudo, foram utilizados dados de domicílios, demografia, educação e renda dos anos 2000 e 2010, com o objetivo de retratar as mudanças ocorridas no perfil da população residente na bacia, tendo como base a malha dos setores censitários urbanos e rurais.

#### 3.2.2.1 Análise socioeconômica da bacia com dados do ano 2000

No ano 2000, a bacia hidrográfica do rio Doce era prioritariamente rural, tendo como áreas urbanas parte da zona norte da cidade de Natal e na zona sul da cidade de Ceará-Mirim (FIGURA 12).



**Figura 12:** Mapa das zonas rural e urbana da bacia hidrográfica do rio Doce, ano 2000, elaborado a partir de dados do IBGE (2000).

O número de moradores em Domicílios Particulares Permanentes era de 285.441, distribuídos em 68.022 domicílios. A média de moradores por domicílio era de 4,58 (IBGE, 2000) (QUADRO 02).

No entanto, ao observar o quadro 3, percebe-se que os moradores, e conseqüentemente o número de domicílios da bacia, estão concentrados em Natal e Ceará-Mirim, representando 92,57% (71,13% e 21,44%, respectivamente) dos moradores e 93,01% dos domicílios particulares permanentes. O município de Bento Fernandes, localizado no extremo oeste da bacia, é o que possui os menores valores por ter a menor área inserida na bacia.

**Quadro 02** - Dados socioeconômicos por setor censitário na BHRD para o ano 2000.

Variáveis socioeconômicas	Total	Natal	Extremoz	Ceará-Mirim	S.G. Amarante	Taipu	Poço Branco	Ielmo Marinho	Bento Fernandes
Domicílios particulares permanentes	<b>68022</b>	49930	557	4573	2395	478	232	1044	47
Moradores em DPP	<b>285441</b>	203039	2543	20394	10287	2218	1149	4766	237
Media do número de moradores em DPP	<b>4,58</b>	4,08	4,48	4,46	4,32	4,73	4,95	4,6	5,04
Total do Rendimento Mensal por pessoas responsáveis (R\$)	<b>558,26</b>	1.336,08	350,02	604,95	1.329,33	185,63	268,26	341,21	49,90
Rendimento Mensal por pessoa responsável DPP (R\$)	<b>205,24</b>	384,17	245,30	252,05	268,02	116,75	115,63	153,84	106,17
Pessoas responsáveis por DPP com renda mensal maior q zero	<b>58547</b>	43885	528	10703	2019	361	230	789	32
Pess Resp por DPP com número de anos de estudos determinado	<b>67904</b>	49831	557	13329	2386	478	232	1044	47
Media do número de anos de estudos das Pess Resp por DPP	<b>2,57</b>	5,85	2,94	3,06	3,25	1,39	1,51	1,56	1

**Fonte:** IBGE, 2000.

Já a média do número de moradores por domicílio tem relação inversa quando se trata do campo-cidade. A área urbana, com 4,35, possui uma média abaixo da bacia como um todo (4,60). Já a zona rural tem média acima da média geral da bacia (4,69 habitantes por domicílio).

Com relação à renda da população, se comparada ao valor do salário mínimo da época, instituído pela Lei 9971/2000 da Previdência Social, que trata da fixação do valor do salário mínimo para os anos de 1996, 1997, 1998, 1999 e 2000 (BRASIL, 2000), e cujo valor à época era de R\$ 151,00, o total do rendimento médio por pessoas responsáveis era de R\$ 558,26, equivalente à 3,7 salários mínimos da época. No entanto, este valor foi elevado pelo rendimento observado nos setores de Natal e São Gonçalo do Amarante, cujos valores equivaliam a 8,8 salários mínimos.

A média do total de rendimentos dos outros municípios, excluídos os 02 (dois) maiores (Natal e São Gonçalo do Amarante), foi de R\$ 299,99, equivalente a 1,99 salários mínimos. O setor pertencente a Ceará Mirim apresentou o total de R\$ 604,95 (4 salários), enquanto Bento Fernandes apenas R\$ 49,90, equivalente a 0,33 salário, ou seja, um terço de 01 (um) salário mínimo.

O rendimento mensal por responsável em domicílios particulares permanentes mostra que a média atinge um pouco mais de um salário mínimo (1,36), continuando a se destacar os setores de Natal, com 384,17 reais (2,54 s.m.). Os setores de Extremoz, Ceará-Mirim, São Gonçalo e Ielmo Marinho possuem uma média entre 01 e 02 salários mínimos e os demais municípios como Taipu, Poço Branco e Bento Fernandes não chegam a 01 salário mínimo.

No tocante ao item educação, o percentual de pessoas com anos de estudos determinado (que possui mais de 01 ano de estudo) chega a 99,83%, sendo bem acima da média nacional para o ano 2000, que era de 91,6% (IBGE, 2000). No entanto, a média do número de anos de estudos dos responsáveis por setores na bacia (2,57 anos) está bem abaixo da média de anos de estudo da população nacional, que alcançou 5,8 anos para o ano 2000 (IBGE, 2000).

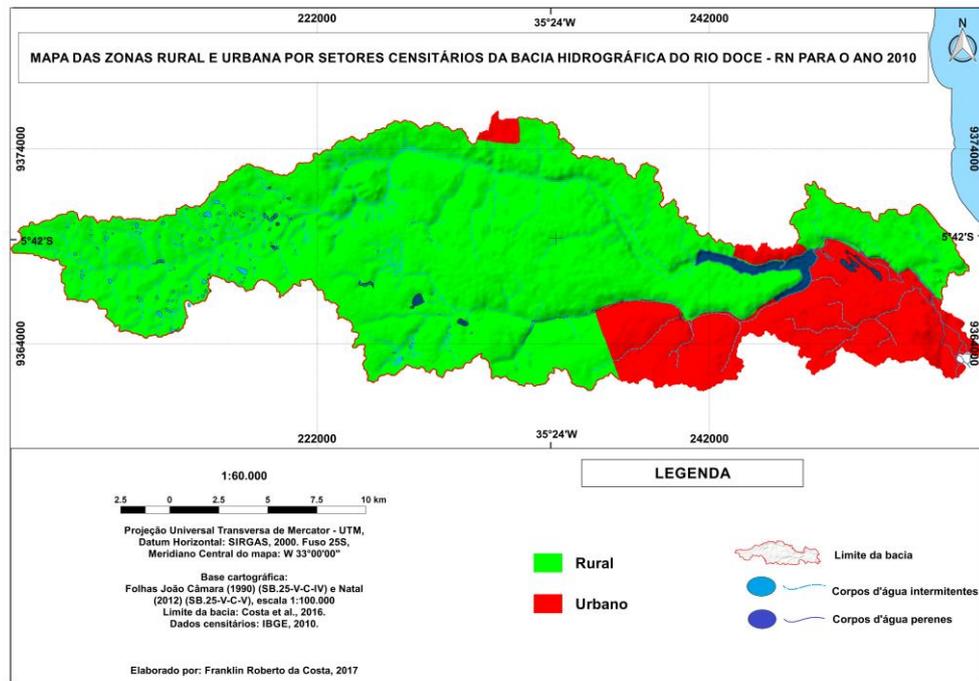
Ao avaliar cada município individualmente, apenas Natal conseguiu alcançar a média nacional para o tema escolaridade, enquanto que as pessoas responsáveis por domicílio nos setores dos municípios de Taipu, Poço Branco, Ielmo Marinho e Bento Fernandes não alcançaram 02 anos de estudos.

### *3.2.2.2 Análise socioeconômica da bacia com dados do ano 2010*

Em 2010, a bacia hidrográfica do rio Doce permanecia com características de área eminentemente rural. Porém, algumas áreas urbanas foram acrescidas à bacia, como a área limítrofe do município de São Gonçalo do Amarante com o município de Natal (FIGURA 13).

Essa área limítrofe foi incorporada ao município de São Gonçalo do Amarante pela redefinição dos limites geográficos dos bairros de Natal realizada pela Secretaria de Meio Ambiente e Urbanismo de Natal (SEMURB, 2008).

Além da área supracitada, a parte centro-nordeste do município de São Gonçalo do Amarante também passou de zona rural para área urbana. O mesmo ocorreu com o município de Extremoz, cujo território pertencente a área da bacia passou a ser considerado urbana, nos dados do censo demográfico de 2010, aumentando consideravelmente a influência urbana na bacia.



**Figura 13:** Mapa das zonas rural e urbana da bacia hidrográfica do rio Doce, ano 2010.  
**Fonte:** Adaptado de IBGE (2010).

A grande extensão da zona rural na bacia, contrapõe-se à concentração populacional nas áreas urbanas. Segundo dados do IBGE (2010), o número de moradores em Domicílios Particulares Permanentes era de 322.087, distribuídos em 90.502 domicílios. A média de moradores por domicílio era de 3,81 (QUADRO 03).

**Quadro 03:** Dados socioeconômicos por setores censitários na bacia do rio Doce, ano 2010.

Variáveis 2010	Total	Natal	Extremoz	Ceará Mirim	SG Amarante	Taipu	Poço Branco	Ielmo Marinho	Bento Fernandes
Domicílios particulares permanentes	<b>90941</b>	73608	3243	6828	4780	663	271	1507	41
Moradores em DPP	<b>323710</b>	258921	12170	25990	17156	2613	1144	5562	154
Média do número de moradores em DPP	<b>3,81</b>	3,52	3,74	3,82	3,65	4,02	4,22	3,78	3,76
Total do rendimento nominal mensal das pessoas responsáveis (R\$)	<b>1.135,61</b>	2.256,15	1.617,07	1.417,64	1.735,33	576,68	824,43	536,24	121,33
Valor da renda, nominal mensal médio das pessoas de 10 ou mais idade (com renda)(R\$)	<b>547,51</b>	747,88	722,78	639,35	618,95	466,68	432,95	407,47	343,98
Pessoas responsáveis com renda maior que zero	<b>80.124</b>	66027	2801	5468	3858	492	215	1235	28
(%) Pessoas responsáveis com renda maior que zero alfabetizadas	<b>78,51 (75365)</b>	94,96 (62698)	90 (2521)	96,05 (5252)	90,72 (3500)	68,50 (337)	68,84 (148)	72,55 (896)	46,43 (13)
Média do número de anos de estudos das pess resp por DPP*	-	-	-	-	-	-	-	-	-

**Fonte:** IBGE, 2010.

Os territórios pertencentes a Natal, Ceará-Mirim, Extremoz e São Gonçalo representam 97,74% dos moradores na bacia e 97,07% dos domicílios particulares

permanentes. O município de Bento Fernandes continua com os menores valores, por ter a menor área inserida na bacia.

A média do número de moradores por domicílio é de 3,81, sendo Poço Branco o setor que possui a maior média, com 4,22 moradores e o menor Natal, com 3,52 moradores por domicílio. Os municípios que possuem área urbana na bacia têm, em média, 3,68 moradores por domicílio, enquanto a área rural possui 3,94 moradores por município, portanto, acima da média da bacia.

O salário mínimo no ano de 2010 era de R\$510,00, promulgado pela Lei 12.255/2010, publicada no Diário Oficial da União, em 16 de junho de 2010 (BRASIL, 2010). Na bacia, o total de rendimento médio por pessoas responsáveis era de R\$ 1.135,61, o que daria em torno de 2,23 salários mínimos. Os valores dos setores urbanos e rurais para esta variável são responsáveis pelo resultado apresentado. Natal foi o setor que apresentou o maior resultado (R\$2.256,15), equivalente a 4,42 salários mínimos. A média dos demais setores urbanos foi de 3,12 salários mínimos.

A média das áreas rurais foi um pouco maior que 01 salário mínimo. O setor de Bento Fernandes foi o único cujo total do rendimento mensal médio foi inferior ao salário mínimo. Os setores de Poço Branco apresentaram um total de R\$ 824,43 (1,62 salário) e o setor de Bento Fernandes apresentou o menor rendimento por pessoas responsáveis, com R\$ 121,33, equivalente a 0,24 salário, ou seja, um quarto de 01 (um) salário mínimo.

A média do rendimento mensal por responsável em domicílios particulares permanentes foi de R\$ 547,51, equivalente a um pouco mais de um salário mínimo (1,07), destacando-se os setores de Natal, com R\$ 747,88 (1,47 s.m.). Os setores de Extremoz, Ceará-Mirim e São Gonçalo (com setores urbanos) tem uma média acima de 01 (um) salário mínimo. No entanto, os demais municípios (Ielmo Marinho, Taipu, Poço Branco e Bento Fernandes) não chegaram a (um) 01 salário.

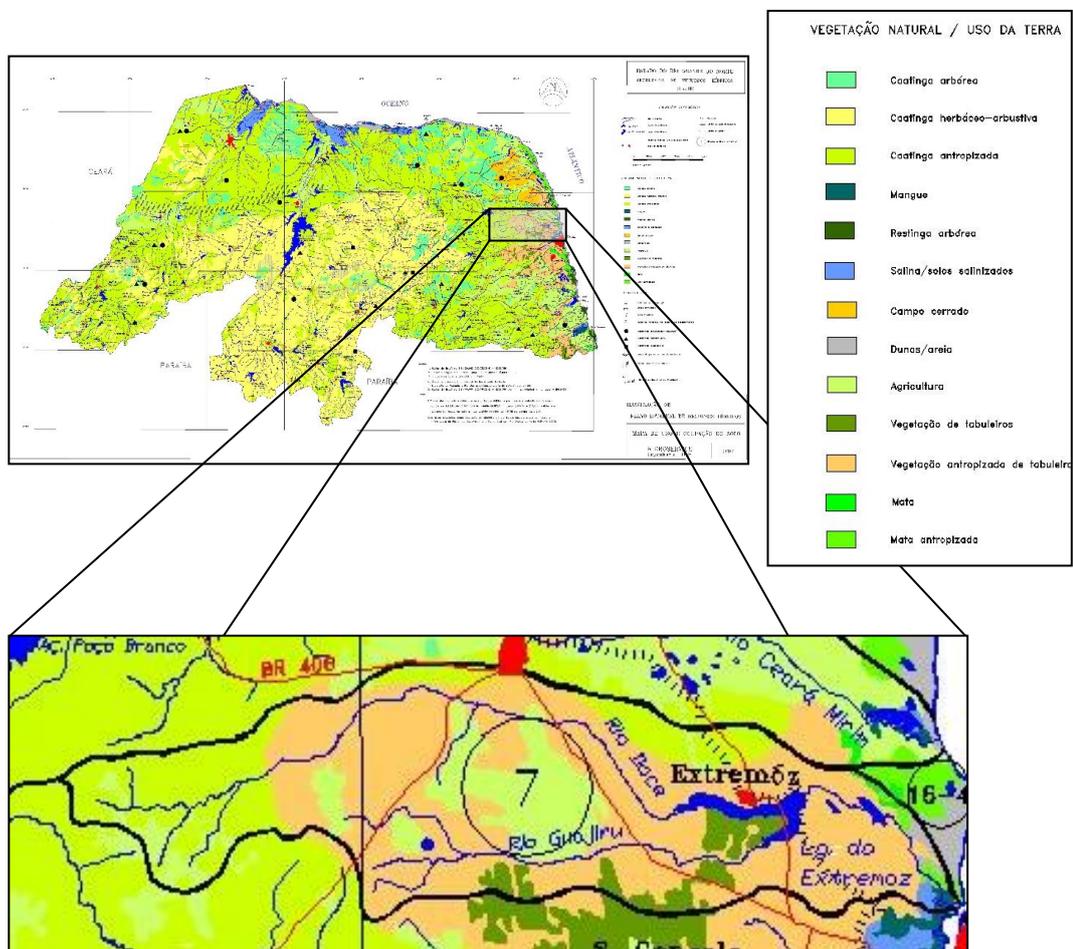
Na educação, para o ano de 2010, analisou-se o número de alfabetizados por setor censitário. Na bacia, cerca de 75.365 pessoas responsáveis por domicílios são alfabetizadas, equivalente a 94,06%. A média nacional de analfabetismo para o censo 2010 foi de 9,02%. Neste caso, as pessoas responsáveis residentes na área da bacia, como um todo, estão abaixo da média nacional, totalizando 5,94% de analfabetos.

Ao avaliar cada município individualmente, os setores de Ceará-Mirim apresentaram o maior percentual de alfabetizados, com 96,05%, seguido de Natal (94,6%) e São Gonçalo do Amarante (90,72%). Os demais municípios apresentaram percentuais abaixo da média nacional. Bento Fernandes destaca-se negativamente, pois apresentou uma taxa de apenas 46,43% de alfabetizados, ou seja, 53,57% de analfabetos.

### 3.2.3 Uso e cobertura do solo

As mudanças do uso e ocupação do solo são de grande importância para entender as mudanças em escalas global e local, no tocante aos processos que impactam o meio e a sociedade. Segundo Colditz et al. (2012), em escala local estes estudos podem auxiliar na gestão territorial. De acordo com Porto e Porto (2008), no Brasil a gestão dos recursos hídricos é baseada no recorte territorial das bacias hidrográficas, onde se situam atividades dos setores primário, secundário e terciário, sendo este último predominante em áreas urbanas.

Para a BHRD, a análise do uso e cobertura da terra teve como base o trabalho desenvolvido pelo IDEMA na elaboração do relatório síntese do Plano Estadual de Recursos Hídricos - PERH, no ano de 1998 (FIGURA 14).



**Figura 14:** Mapa de uso e ocupação do solo da BHRD para o ano de 1997.  
**Fonte:** RIO GRANDE DO NORTE, 1997.

O Instituto de Gestão de Águas do RN – IGARN (2009), utilizando-se dos dados do PERH, caracteriza o uso e ocupação do solo de acordo com o Quadro 04.

**Quadro 04:** Distribuição espacial das classes de uso do solo na BHRD

Classes de uso do solo	Área	
	Km <sup>2</sup>	%
Caatinga Antropizada	84,0	21,7
Vegetação de Tabuleiro	0,9	0,2
Vegetação Antropizada de Tabuleiro	272,2	70,2
Manguezais	7,2	1,9
Dunas/Areais	9,0	2,3
Agricultura	10,6	2,7
Lagoas/Açudes	3,9	1,0
Total	387,8	100,0

**Fonte:** IGARN, 2009.

Observa-se no Quadro 04 que, em 1996, grande parte da bacia se apresentava com características relacionadas à antropização, seja na alteração da vegetação (Caatinga e Vegetação de tabuleiro), como na agricultura, cuja soma de 366,8 km<sup>2</sup> representa 94,6% da área da bacia.

O restante, cerca de 5,4% ou 21 km<sup>2</sup>, eram consideradas áreas preservadas, representadas pela vegetação de Tabuleiro, os Manguezais, as Dunas/Areais e as Lagoas/Açudes.

Castro (2000) elaborou um mapa de uso e ocupação do solo de parte da BHRD, principalmente na porção centro-leste, identificando o uso e ocupação da bacia e classificando-o conforme o Quadro 05.

**Quadro 05:** Classificação do uso do solo na BHRD, segundo Castro (2000)

Trecho da bacia	Classes de uso do solo	Área (%)
Alto Curso	Área urbana	0,7
	Mata ciliar	10,4
	Vegetação Tabuleiro	2,3
	Agricultura e Pastagem	23,4
Médio curso	Área urbana	0,3
	Mata ciliar	0,5
	Vegetação Tabuleiro	14
	Agricultura e Pastagem	21,5
Baixo Curso	Área urbana	15
	Total	88,1%*

\* Na sua tese, Castro não realiza a classificação de toda a bacia.

**Fonte:** Adaptado de Castro (2000);

No Quadro 05 percebe-se que, ao considerar a totalidade da área classificada por Castro (2000), somando-se as áreas consideradas antropizadas (área urbana e agricultura/pastagem), cerca de 69,13% da área teve algum tipo de interferência do homem, desconsiderando a Vegetação de Tabuleiro, que em outros trabalhos se apresenta antropizada. Ao acrescentar essa variável, a Bacia apresenta 87,63% da área antropizada.

Em trabalho mais recente, Faustino et al. (2014) realizaram, com base em dados de sensoriamento remoto, a análise da dinâmica temporal do uso e cobertura do solo na BHRD para os anos de 1977 e 2001. Esses autores obtiveram resultados semelhantes ao do PERH - RN. De acordo Faustino et al. (2014), as transformações ocorridas na bacia se deram, principalmente, na densidade e no padrão de cobertura da vegetação natural, onde a cobertura mais densa deu lugar aos campos antropizados, às áreas urbanizadas e aos solos expostos.

Conforme Faustino et al. (2014), para o ano de 1977, somadas as variáveis solo exposto e campo antropizado, a bacia apresentou 74% de áreas antropizadas. Já no ano de 2001, além das variáveis supracitadas, acrescenta-se a área urbana, o que fez aumentar a área antropizada para 85%. Em relação as áreas “naturais”, houve grande redução, entre os anos de 1977 e 2001, da vegetação densa, de 23% para 12% e dos corpos d’água de 2% para 1%.

#### **4 MATERIAIS E MÉTODOS**

O método científico utilizado no trabalho foi o hipotético-dedutivo, que, segundo Popper (1975), inicia-se com o conhecimento prévio das teorias existentes, passando pela tentativa em se identificar as contradições e problemas existentes na teoria e suas aplicações. O passo seguinte foi a construção das hipóteses e das perguntas que deram subsídio à construção dos objetivos específicos de cada passo da pesquisa, de partes para o todo, que constitui o objetivo geral da pesquisa, mostrando, no desenvolvimento do trabalho, os pontos favoráveis, desfavoráveis, as dificuldades existentes e os resultados alcançados.

Em cada capítulo construiu-se pelo menos uma hipótese e uma pergunta que pudesse ser respondida. No primeiro capítulo, ao observar a atual delimitação da bacia fornecida por órgãos públicos do Estado, a hipótese levantada foi a de que seria possível elaborar e indicar uma nova e possível delimitação, como sugestão, compatível para os órgãos públicos municipais, estadual e federal, elaborada com apoio de geotecnologias, que possibilitasse uma representação cartográfica mais realista, precisa, em torno dos divisores naturais da bacia e em escala de maior detalhe.

O segundo capítulo resulta dos estudos baseados na pesquisa bibliográfica e cartográfica, que teve como hipótese a existência de materiais suficientes para a montagem de uma base de dados espaciais referentes ao meio físico, bem como da possibilidade de se empregar e testar a utilidade e o alcance de emprego de geotecnologias, baseadas em dados, produtos, e *softwares* SIGs de código aberto, ponderando o seu emprego em trabalhos dessa natureza por parte dos que estudam, produzem e divulgam informações territoriais básicas e

temáticas do território nacional, tomando como exemplo, o estudo de caso da Bacia Hidrográfica do Rio Doce (BHRD).

O terceiro capítulo procura responder se os dados relativos à precipitação permitem avaliar a distribuição das chuvas em toda a bacia. Para tanto, mostram-se os resultados da análise de dados e estudos anteriores relativos as características climáticas, da pluviosidade em particular, da BHRD, na tentativa de entender e responder sobre a influência das chuvas para a dinâmica espacial socioeconômica e ambiental na bacia.

O quarto capítulo teve como objetivo, testar a hipótese principal da tese, que é a de que as metodologias adotadas por Crepani et al. (2001), Grigio (2003) e Oliveira (2011), a partir de indicadores de vulnerabilidade das variáveis temáticas relativas às características físicas e antrópicas da bacia, permitem analisar, em ambiente SIG, o grau de vulnerabilidade natural e ambiental da BHRD.

Realizou-se levantamentos bibliográficos sobre temas referentes aos conceitos de meio ambiente, geotecnologias, geossistemas, vulnerabilidade e paisagem, visando entender as bases para a aplicação nos estudos relacionados a vulnerabilidade natural e ambiental em bacias hidrográficas, particularmente para a bacia hidrográfica do rio Doce - RN.

Em relação às questões teórico-metodológicas, a presente tese está fundamentada na Ecodinâmica de Tricart (1977), que prevê que as unidades da paisagem sejam apresentadas a partir dos diferentes graus de fragilidade dos ambientes naturais, em face das intervenções do homem na natureza, definindo-as em unidades morfodinâmicas. A Ecogeografia trabalhada por Ross (2006) também foi utilizada no presente trabalho, pois o mesmo considera que a sociedade altera a intensidade dos fluxos de energia e matéria dos geossistemas e que nem todas as interferências podem ser mensuradas.

Essas interferências produzem territórios com maiores ou menores modificações, de acordo com as relações estabelecidas por diferentes grupos sociais, compondo os sistemas ambientais, que para este trabalho, são os geossistemas. Observou-se a necessidade de entender o ambiente como um todo dinâmico e em constante processo de busca do equilíbrio.

É importante destacar que os capítulos da tese, em formato de artigo científico, foram submetidos a revistas e eventos científicos. O primeiro capítulo, que propõe uma nova delimitação da BHRD, foi submetido e publicado na Revista Sociedade e Natureza, com Qualis A2 para Ciências Ambientais.

O segundo capítulo, que aborda a caracterização geoambiental da bacia, foi submetido a Revista Boletim Paranaense de Geociências, com qualis B1 em Ciências Ambientais, e aguarda-se parecer.

O terceiro capítulo trata da caracterização pluviométrica da bacia. Foi apresentado no VIII Workshop de Mudanças Climáticas e Recursos Hídricos do Estado de Pernambuco e V Workshop Internacional sobre Mudanças Climáticas e Biodiversidade, entre os dias 30/10 e 01/11 do ano de 2017, na cidade de Recife - PE. O trabalho foi premiado como um dos melhores, na modalidade pôster. O artigo foi encaminhado para a Revista Caderno Prudentino de Geografia, com qualis B1 em Ciências Ambientais, e aguarda-se parecer.

O quarto capítulo refere-se a análise das vulnerabilidades natural e ambiental da bacia, e será encaminhado para o Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía.

## 4.1 Materiais e dados utilizados

### 4.1.1 Dados cartográficos

As informações e dados secundários relativos a bacia foram obtidos em diferentes órgãos públicos e privados (secundários), conforme apresentados no Quadro 07. Os dados primários foram obtidos em visitas *in loco* e interpretação de imagens orbitais.

Nos procedimentos adotados para execução da pesquisa, foram utilizados materiais como as cartas topográficas da SUDENE, na escala 1:100.000, folhas SB.25-V-C-V-MI-978 (Natal) e SB.25-V-C-IV-MI-977 (João Câmara) elaboradas a partir de fotografias aéreas de 1969, restituição em 1970 e edição impressa de 1983, com intervalos de curvas de nível de 50 metros (QUADRO 06).

**Quadro 06:** Dados obtidos por órgão, escala e ano de publicação para a pesquisa.

Produto	Órgão	Escala	Ano Publicação
Cartas topográficas	SUDENE	1:100.000	1982
TOPODATA	INPE	1:50.000	2008
Geologia (Folha Natal)	CPRM	1:100.000	2012
Geologia (João Câmara)	CPRM	1:100.000	1990
Geomorfologia	IDEMA	1:250.000	2005
Pedologia	IBGE	1:250.000	2015
Clima	EMPARN	1:50.000	1997 – 2016
Vegetação	IBGE	1:250.000	2014
Hidrografia*	Autor	1:50.000	2017
Uso e ocupação*	Autor	1:50.000	2017
Dados socioeconômicos	IBGE	Não definida	2000/2010
Assentamentos Rurais	INCRA	Não definida	2009
Limites territoriais*	IBGE	Não definida	2015

\* Dados extraídos por interpretação visual de imagens cedidas pelos satélites administrados pela empresa Digital Globe e disponibilizados pelo Google Earth Pro.

Extraiu-se das cartas topográficas os vetores da hidrografia, que foram posteriormente comparadas com a hidrografia atualizada pela Secretaria de Meio Ambiente e Recursos

Hídricos do Estado do RN – SEMARH, no ano 2000, e os dados altimétricos (pontos cotados e curvas de nível). Foram utilizados também os dados TOPODATA e os arquivos em *shapefile* das otobacias brasileiras, obtidos via internet em seus respectivos sites institucionais, comoo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais -INPE e a Agência Nacional de Águas - ANA, respectivamente.

As imagens do Google Earth Pro foram extraídas e estruturadas em uma base de dados geográficos no sistema de informações geográficas QGIS Essen 2.14 (QGIS DEVELOPMENT TEAM, 2015) para a extração e melhoria dos dados relativos à hidrografia da bacia.

Para a delimitação da bacia foram utilizados, além do SIG QGIS, a plataforma TERRAHIDRO/INPE (ROSIM et al, 2003), o software TauDEM - Terrain Analysis Using Digital Elevation Model (<http://hydrology.esu.edu/taudem>) e o SAGA/GIS - System for Automated Geoscientific Analyses (<http://www.saga-gis.org/en/index.html>).

#### *4.1.2 Sistemas para processamento dos dados*

Os Sistemas de Informação Geográfica – SIGs utilizados para a interpretação das imagens, organização do banco de dados geográficos – BDG e a elaboração dos mapas temáticos foram os softwares QGIS Essen 2.14 e o TERRAHIDRO/INPE 0.4.1. Este último foi utilizado para a realização da delimitação automática dos limites da bacia.

A organização dos dados para apresentação no formato de tabelas e gráficos foi realizada em softwares voltados para a construção de planilhas eletrônicas como o Microsoft Office Excel e o Libreoffice Calc. Os dados relativos ao campo foram georreferenciados a partir do uso de um GPS Garmin Etrex Venture e Etrex 26S.

## **4.2 Métodos e técnicas**

### *4.2.1 Implementação do banco de dados geográficos*

O SIG QGIS Essen 2.14.18 foi o programa empregado para a implementação de Banco de Dados Geográficos - BDG, com estrutura de dados matriciais (*raster*) e vetoriais. A projeção cartográfica utilizada foi a Universal Transversa de Mercator – UTM, Datum SIRGAS 2000, 25 S, Meridiano Central 33°W.

O BDG auxiliou na identificação e caracterização dos sistemas relativos ao meio físico e humano, e, por conseguinte, na elaboração dos mapas temáticos, que ajudaram a

diagnosticar e avaliar as principais causas e consequências da vulnerabilidade socioambiental existente na bacia.

#### 4.2.2 *Elaboração e atualização dos mapas temáticos*

##### 4.2.2.1 Mapas temáticos do meio físico

A Geologia e a Geomorfologia foram extraídas das Folhas Natal e João Câmara, frutos de trabalhos de mapeamentos institucionais desenvolvidos pela CPRM – Serviço Geológico Brasileiro, em parceria com universidades brasileiras, dentre elas a UFRN e a UNB, que elaboraram as cartas geológicas/geomofológicas supracitadas na escala 1:100.000. Para a carta geomorfológica, procurou-se atualizar, a partir da reinterpretação dos temas em imagens orbitais disponíveis no *plugin quickmapservices*, que pôde ser aberto no software SIG QGIS Essen 2.14.

O mapa pedológico da BHRD foi readaptado do Mapa Pedológico elaborado pelo IBGE no ano de 2015, na escala 1:250.000, que trata da Folha Natal SB-25. Para tanto, recorreu-se a análise visual das características dos solos classificados pelo IBGE nas imagens orbitais, buscando atualizar e redefinir os limites de classificação.

O mapa da vegetação da BHRD foi readaptado do Mapa da vegetação elaborado pelo IBGE no ano de 2014, eassim como os mapas de Geomorfologia e Pedologia, realizou-se uma reinterpretação das variáveis temáticas relativas a vegetação e, por conseguinte, uma reestruturação dos dados, adicionando algumas classificações existentes no Manual da Vegetação Brasileira (IBGE, 2012).

O mapa de hidrografia foi desenvolvido em ambiente SIG, a partir de imagens orbitais disponibilizadas pelo Google Earth, no SIG QGIS Essen. Para tanto, foi utilizado o plugin Quickmapservices, para extrair os cursos d'água de toda a bacia.

O mapa de clima foi elaborado com base nos dados obtidos na EMPARN e sua classificação se deu pelas médias adotadas pela EMPARN em relação ao clima do Estado.

Foram realizadas visitas em campo para reconhecimento da área em estudo. Para tanto, utilizou-se máquina fotográfica para registrar a paisagem de toda a bacia. Utilizou-se um GPS Garmim Etrex Venture para a marcação dos pontos visitados e identificação das fotos registradas.

##### 4.2.2.2 Mapas temáticos do meio antrópico

Além do meio físico, foram coletados dados socioeconômicos na esfera federal visando a elaboração de um perfil da população inserida na bacia. Buscaram-se, inicialmente, os dados por setores censitários do IBGE para os anos 2000 e 2010. Os dados selecionados tiveram como foco uma análise de temas ligados aos domicílios particulares permanentes (DPP), tais como: número de DPP; número de moradores por domicílios particulares permanentes; a média de moradores por DPP; o total de rendimento mensal por pessoas responsáveis; rendimento por pessoa responsável por DPP; pessoas com rendimento mensal maior que zero em DPP; pessoas responsáveis com número de anos de estudo determinados e alfabetizados; média do número de anos de estudos das pessoas responsáveis por DPP.

Outro órgão consultado para obtenção de dados foi o Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária – INCRA. Foram trabalhados os vetores, em formato *shapefile* (\*.shp), relativos aos limites de cada assentamento inserido na bacia. Montou-se o BDG com informações alfanuméricas relativas à data de criação do assentamento; quantidade de famílias presentes; capacidade de famílias suportadas pelo assentamento; área e estágio de implantação.

Para a delimitação da bacia, a proposta teve como suporte os dados do TOPODATA, da SUDENE, da SEMARH – RN, da ANA, além de softwares SIG e do Google Earth Pro.

Para o mapeamento da vulnerabilidade ambiental, utilizou-se a metodologia de Crepani et al. (2001, p.3) que

foi desenvolvida com base no conceito de Ecodinâmica e na reinterpretação de dados temáticos preexistentes com a utilização de imagens de satélite, que permitem uma visão sinótica e holística da paisagem. A análise e interpretação destas imagens é feita considerando-se os padrões fotográficos identificados pelas variações de cores, textura, forma, padrões de drenagem e relevo. A vulnerabilidade das unidades da paisagem é estabelecida por meio de uma escala de valores relativos e empíricos de acordo com a relação morfogênese/pedogênese analisando-se individualmente cada um dos temas: geologia, geomorfologia, pedologia, uso da terra e clima.

O passo seguinte foi a realização da análise dos mapas produzidos, objetivando construir o diagnóstico dos componentes existentes na bacia, referentes ao zoneamento e caracterização do espaço observado (vivido) e a construção do prognóstico necessário para a delimitação de uso e ocupação adequada para a sustentabilidade socioeconômica e ambiental da área em estudo.

### 4.2.3 Delimitação da bacia hidrográfica do Rio Doce: procedimentos metodológicos

#### 4.2.3.1 Delimitação manual

A primeira fase da pesquisa consistiu na obtenção de dados espaciais referentes à bacia em órgãos públicos e privados, que pudessem dar a noção da sua localização espacial no Estado, bem como identificar quais dados deveriam ser utilizados. Para a Bacia Hidrográfica do Rio Doce - RN foi utilizada apenas uma faixa dos dados TOPODATA, classificada pelo INPE como 05S36 (FIGURA 15).



**Figura 15:** Faixa utilizada dos dados TOPODATA.

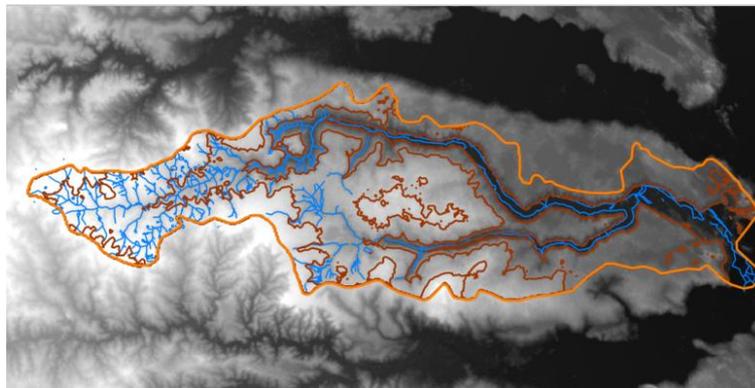
Os dados TOPODATA foram baixados e armazenados em ambiente SIG no formato Geotiff. O SIG QGIS permite a importação dos dados vetoriais e *raster* diretamente das pastas em arquivo. Para que fosse realizado este comando, primeiramente organizou-se as coordenadas do projeto para o sistema UTM 25S, Datum SIRGAS 2000, EPSG: 31985.

Logo em seguida, importou-se os dados vetoriais referentes as otobacias de nível 05, as curvas de nível, pontos cotados e hidrografia das cartas da SUDENE, na escala 1:100.000. Foi instalado o *pluginquickmapservices* no SIG QGIS para visualização das imagens orbitais da área de estudo, disponibilizadas pelo Google Earth.

A vetorização manual da delimitação da bacia teve como referência inicial os dados altimétricos com cota 30 metros gerados pelo TOPODATA. Nesta vetorização foi sobreposta uma camada da imagem de satélite fornecida pelo Google Earth a partir do *pluginquickmapservices*. Para identificar os limites da Bacia previamente, utilizou-se a ampliação da elevação vertical em 3 vezes no Google Earth Pro - GEP.

O GEP é um software gratuito que combina imagens orbitais com a malha altimétrica desenvolvida pelo SRTM para mostrar uma renderização digital em 3D da superfície terrestre em uma interface de fácil manipulação para o uso corporativo e acadêmico (LIMA, 2012). O exagero vertical aplicado apresentou, com mais clareza (embora cartograficamente não aplicado pelo exagero excessivo) a delimitação da BHRD.

Em seguida, utilizou-se o *plugin* Qgis2threejs, que permitiu realizar uma visualização em 3 dimensões do terreno. O objetivo deste *plugin* foi a visualização dos limites (topos) da bacia. A hidrografia extraída das cartas topográficas da SUDENE (1983), bem como os pontos cotados de altimetria, serviu como direcionamento para a vetorização manual, a partir da análise visual dos limites da bacia (FIGURA 16).



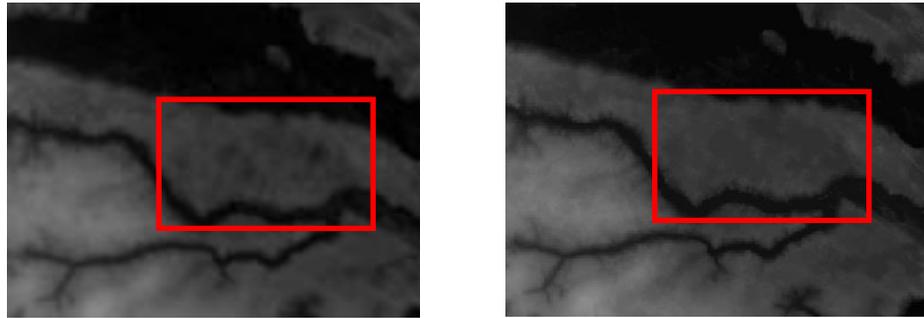
**Figura 16:** Resultado da vetorização a partir da análise visual em ambiente SIG.

#### 4.2.3.2 Delimitação Automática da Bacia Hidrográfica: software Taudem

A primeira delimitação automática da bacia hidrográfica do Rio Doce foi realizada com o software TauDEM (Terrain Analysis Using Digital Elevation Models), que segundo Tarboton (2008), é um conjunto de ferramentas para a análise do terreno utilizando modelos digitais de elevação. Ele incorpora programas e funções de análise de Modelo Digital de Elevação (MDE) desenvolvidas ao longo de vários anos de pesquisas.

Para a realização da delimitação da bacia, foram realizados os seguintes procedimentos:

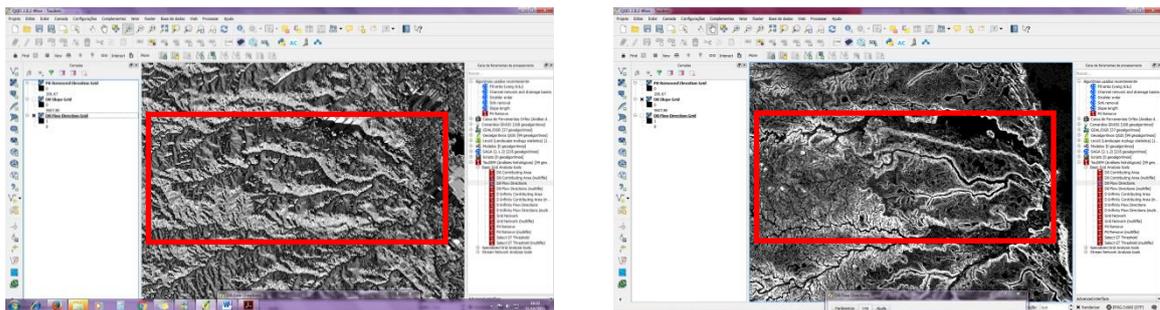
1. O algoritmo Pit Remove foi utilizado para preencher os “buracos” presentes no MDE, consideradas as células mais baixas cercadas por relevo mais elevado. Neste primeiro momento, abriu-se a caixa de ferramentas do Taudem, e, em seguida, a pasta Basic Grid Analysis Tools e, por conseguinte, a ferramenta Pit Remove. O resultado pode ser visto na figura 17.



**Figura 17:** Aplicação do Pit Remove - Taudem.

Segundo Santos (2015), o *raster* gerado pelo processo do Pit Remove no TauDEM é uma cópia do dado original, corrigindo as áreas com “buracos”, considerando que, na execução deste comando, o MDE está hidrologicamente corrigido.

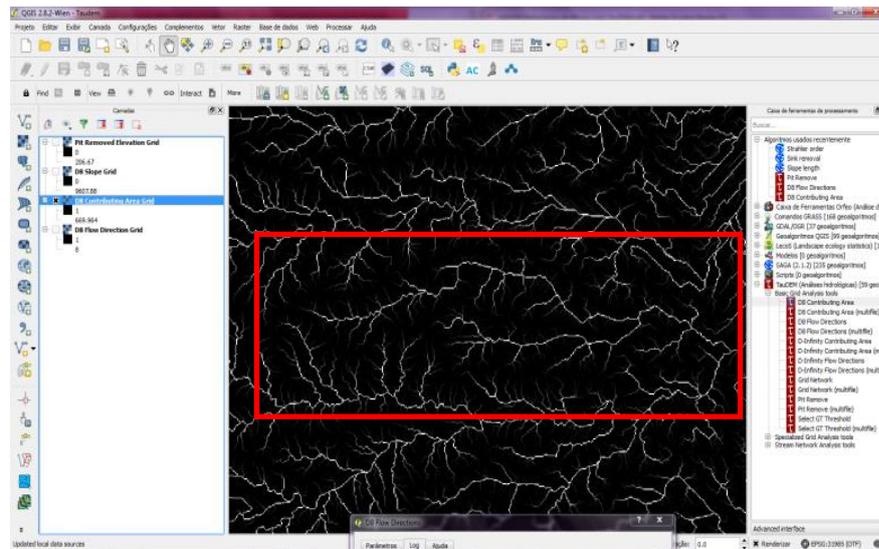
2. O passo seguinte foi a utilização do aplicativo D8 FlowDirections, cuja função é o mapeamento do escoamento de água, estimando 8 direções para o fluxo hídrico. Como produto ele gerou a direção de fluxo e a declividade. Na mesma pasta Basic Grid Analysis Tools selecionou-se a ferramenta D8 FlowDirections. Este processo foi o mais demorado, exigindo um pouco mais de processamento (FIGURA 18).



**Figura 18:** Aplicação do D8 FlowDirection - Taudem. Área da bacia sem delimitação.

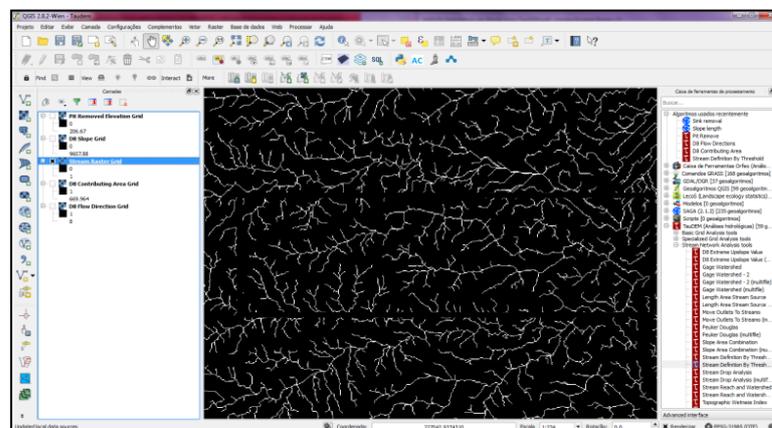
3. O procedimento seguinte foi a aplicação do algoritmo D8 Contributing Area, cuja função é a realização da delimitação da bacia hidrográfica determinada pela escolha do ponto exutório, que, segundo Santos (2015), pode ser uma barragem, exutório ou reservatório. Esta fase, segundo o autor, deve ser realizada em duas etapas, sendo a primeira para criar uma área de contribuição geral para visualizar possíveis sub-bacias e na segunda a partir da informação do exutório nos parâmetros do programa.

Ainda na pasta Basic Grid Analysis Tools escolheu-se a ferramenta D8 Contributing Area. O resultado gerado pelo comando permitiu visualizar a rede de drenagem (FIGURA 19).



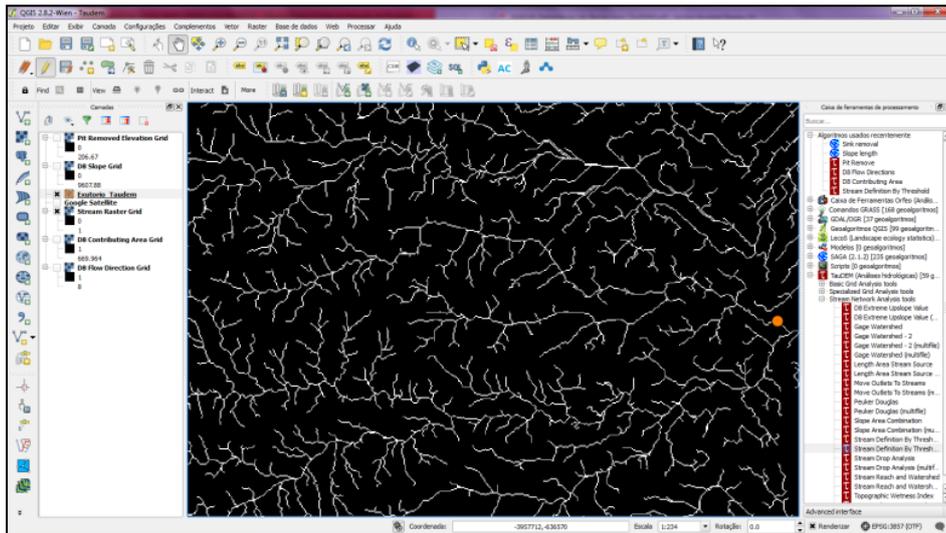
**Figura 19:** Aplicação do D8 ContributingArea - Taudem.

4. Para uma melhor definição da rede de drenagem, o passo seguinte se deu pela ferramenta Stream Definition by Threshold, responsável por gerar um *raster* contendo a rede de drenagem. Esta fase também se desenvolve em duas etapas. A primeira foi construída visando a definição dos córregos de uma maneira geral, tendo o limiar (threshold) voltado para a criação dos rios de margens simples (SANTOS, 2015) (FIGURA 20).



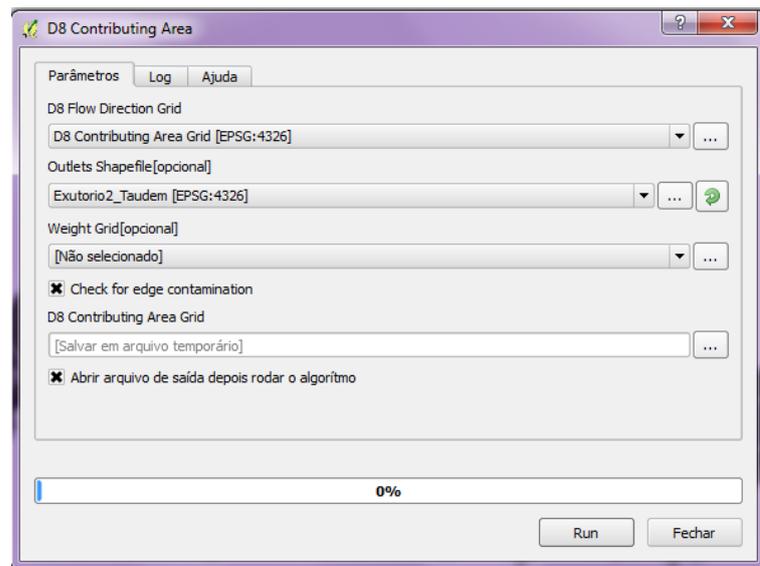
**Figura 20:** Aplicação do Stream Definition by Threshold - Taudem. Rede de drenagem da bacia.

Na segunda etapa, o limiar foi estabelecido a partir de um ponto de exutório, neste caso, para a drenagem que percorre a bacia do Rio Doce - RN. Criou-se uma camada vetorial no formato ponto para indicar o local do exutório da bacia. Como referência, observou-se a camada sobreposta no Google Earth, disponível no *pluginopenlayersplugins* existente no SIG QGIS e o ponto extremo foi a sua foz (FIGURA 21).



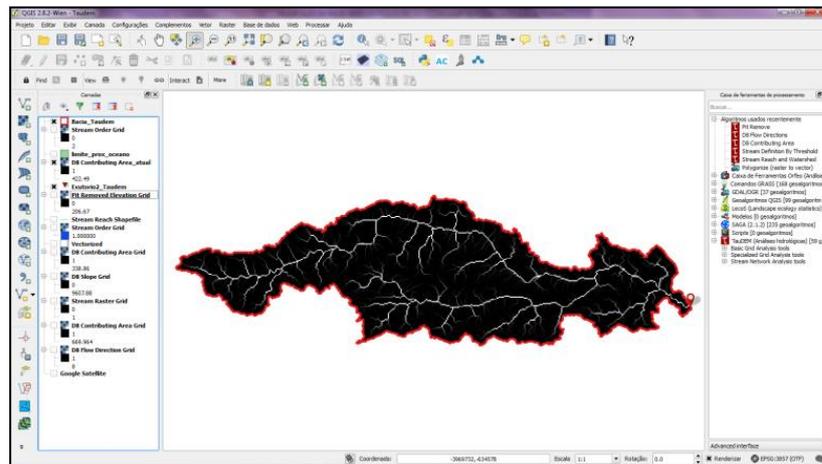
**Figura 21:** Determinação do ponto exutório da Bacia - Taudem. Área da bacia sem delimitação.

5. Para a delimitação da bacia do Rio Doce, o processo anterior foi repetido, adicionando o outlets shapefile, que, neste caso, foi o ponto exutório criado anteriormente. Utilizou-se a ferramenta D8 ContributingArea, inserido na pasta Basic Grid Analysis tools e escolheu-se no Outletsshapefile o ponto exutório criado anteriormente para a geração da bacia (FIGURA 22).



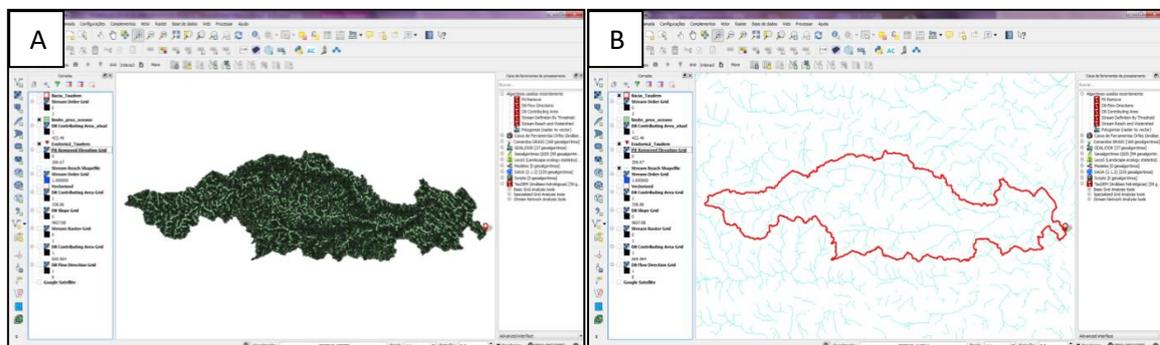
**Figura 22:** Layout da ferramenta D8 Contributing Area para geração do limite da bacia.

Após a utilização dos comandos, o resultado foi a delimitação da bacia com sua rede de drenagem (D8 ContributingArea Grid) (FIGURA 23).



**Figura 23:** Aplicação do doD8 ContributingArea Grid - TauDEM.

6. Por fim, a vetorização da área da bacia foi realizada a partir de 02 (dois) comandos existentes no QGIS, um para arquivos do tipo *raster* e outro para vetorial. Foi realizada a conversão do *raster* para vetor a partir da ferramenta *poligonalizar*. Após a vetorização foi necessário utilizar o comando denominado *dissolver*, inserida na subpasta geoprocessamento, do comando Vetor, para gerar um único polígono (FIGURAS 24A e 24B).



**Figura 24A e 24B:** Bacia delimitada nos formatos *raster* e vetorial, respectivamente.

O resultado final apresentou a delimitação da bacia com uma área de 391.329 km<sup>2</sup> e perímetro equivalente a 195.369 quilômetros.

#### 4.2.3.3 Delimitação Automática da Bacia Hidrográfica: software SAGA

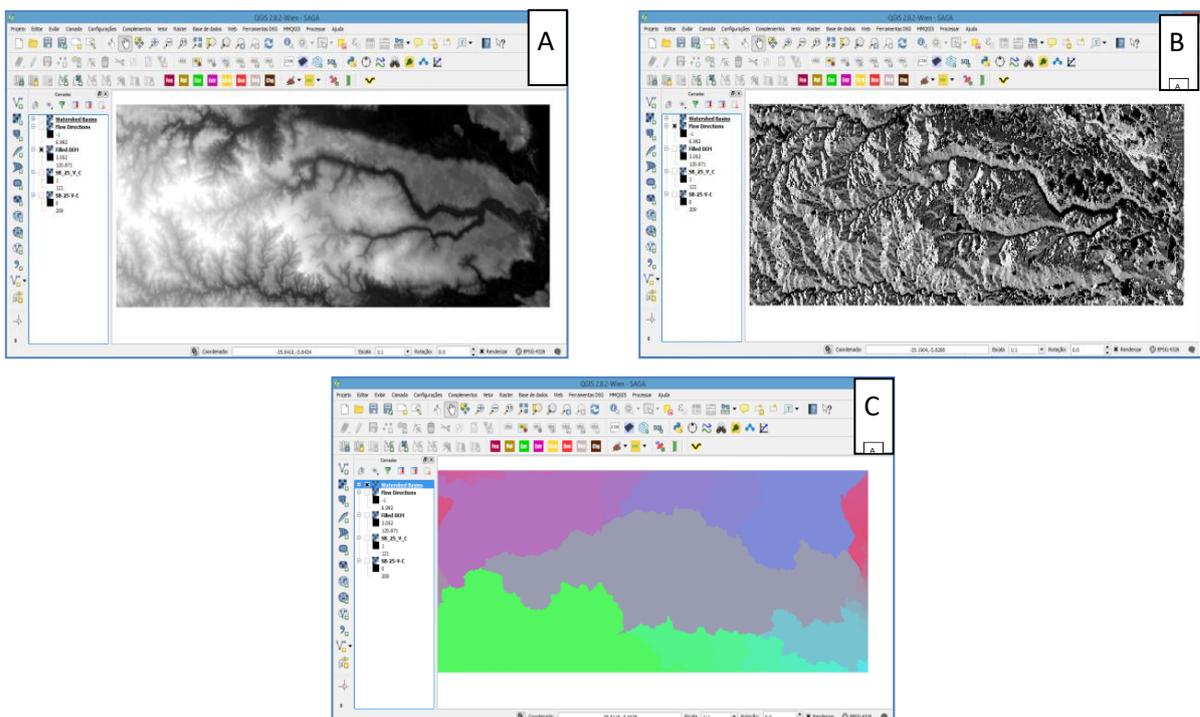
O software SAGA foi desenvolvido para ser capaz de implementar, de maneira fácil e eficaz, algoritmos espaciais, ou seja, servir como um instrumento para o desenvolvimento e implementação de métodos e modelos geocientíficos (CONRAD et.al, 2015).

A linha de comando SAGA (CLI) é usada para executar ferramentas do software em ambientes externos ao programa a partir de sistemas integradores como os pacotes RSAGA, que integram ferramentas SAGA com o ambiente de scripts de R, bem como pelo módulo Sistema Extremeño de Análisis Territorial (SEXTANTE). Este último é capaz de ser utilizado em vários programas baseados em Java GIS, tais como o gvSIG e o OpenJUMP. No ano de 2013, o SEXTANTE migrou para o módulo Python para se tornar um complemento funcional para o QGIS, possibilitando assim o uso do SAGA em outros softwares SIG (CONRAD et al, 2015).

No módulo SAGA, a delimitação da bacia se deu a partir das seguintes etapas:

1. No software QGIS abriu-se o menu processamento e, no programa SAGA, escolheu-se a opção FillSinks (Wang e Liu, 2006). Segundo Wang e Liu (2006), esta metodologia foi criada para identificar e preencher as depressões da superfície nos Modelos Digitais de Elevação, visando determinar a direção do fluxo e a divisão das microbacias com apenas um comando.

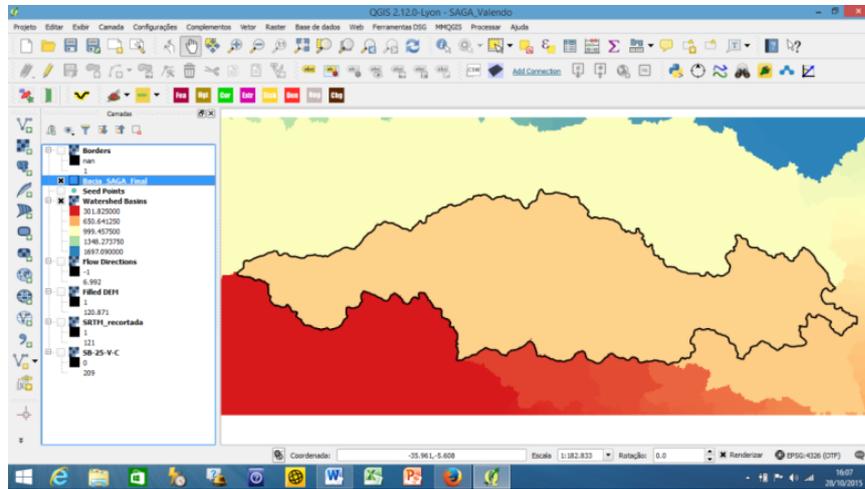
O resultado são 3 produtos: a) Filled DEM, b) FlowDirections e o c) WatershedBasins (FIGURAS 25 A, B e C).



**Figura 25 A, B e C:** Resultados após a aplicação do comando FillSinks no SAGA.

2. O segundo passo foi a transformação do formato matricial em vetorial. Para tanto, no menu *raster* acessou-se o sub-menu conversão e, em seguida, poligonalizar (*Raster* para vetor). O resultado foi a divisão das bacias hidrográficas existentes dentro do recorte espacial analisado.

Após a transformação da imagem *raster* em vetor (do tipo shapefile), fez-se a extração da bacia hidrográfica do Rio Doce para comparar com as demais delimitações realizadas. O resultado é um produto vetorial representando a delimitação gerada pelo módulo SAGA, referente à bacia hidrográfica do rio Doce (FIGURA 26).



**Figura 26:** Resultado final da delimitação automática da bacia – SAGA.

#### 4.2.3.4 Delimitação Automática da Bacia Hidrográfica: software Terrahidro

O TerraView é um SIG montado sobre a plataforma da biblioteca do TerraLib (VINHAS e FERREIRA, 2005), capaz de manipular dados vetoriais (pontos, linhas e polígonos) e matriciais (grades e imagens).

O TerraHidro é uma plataforma desenhada para facilitar o desenvolvimento de aplicativos na área de recursos hídricos no ambiente do Terraview. Integra funções como capturar, representar, armazenar, manipular, recuperar e processar informações físicas e socioambientais relacionadas a elementos de bacias hidrográficas em ambiente geo-computacional (ROSIM et al., 2003). Dentre os trabalhos realizados a partir desta plataforma, citam-se Falck et al. (2015), Rosim et al. (2012), Santos e Linhares (2012).

O processo de identificação dos limites da bacia hidrográfica do Rio Doce ocorreu a partir das seguintes etapas: *Flow Extraction* (direção de fluxo), *Contributing Area* (fluxo acumulado), *Drainage Extraction* (extração da rede de drenagem), *Segments* (definiu segmentos de drenagem), *Mini Basins* (delimitou a área de contribuição para cada segmento da rede de drenagem), *Vector Segments* (vetorizou cada segmento da rede de drenagem), *Vector Watersheds* (vetorização de cada bacia da rede de drenagem em formato vetorial), *Outlet Points* (Ponto para delimitação de áreas de contribuição), *Watershed*

*Delineation*(delimitação da BH) e *Vector Watersheds* para vetorização de cada bacia tendo como referência o *outlet point* (ROSIM et al., 2003).

### **4.3 Atribuição dos valores de vulnerabilidade ambiental**

A atribuição dos valores da vulnerabilidade (socio) ambiental da BHRD teve como referência a metodologia de mapeamento da vulnerabilidade natural à erosão aplicada por Crepani et al. (1996 e 2001), fundamentada no conceito de Ecodinâmica de Tricart (1977). O conceito compreende que a dinâmica dos ambientes passa pela avaliação dos processos de pedogênese (formadores do solo) e da morfogênese (processos erosivos).

Neste caso, foram atribuídos valores de vulnerabilidade para as unidades do meio físico dos temas Geologia, Geomorfologia, Pedologia, Clima e Vegetação. Para o meio antrópico, inseriu-se o mapeamento do uso e cobertura da terra, considerando que esse tema é importante para auxiliar no planejamento e tomada de decisões que visem a promoção do desenvolvimento sustentável, sob o ponto de vista ambiental.

Segundo Crepani et al. (2001), os princípios da Ecodinâmica de Tricart (1977) estabelecem diferentes categorias dos processos de morfogênese e pedogênese, em que a primeira se relaciona aos processos erosivos, modificadores das formas de relevo/paisagem. A pedogênese se dá quando prevalecem os processos formadores do solo. Crepani et al. (2001) propõem uma classificação do grau de vulnerabilidade/estabilidade de uma área, relacionando a resistência ao processo natural de erosão, em que são atribuídos valores de 1,0 a 3,0, onde os mais próximos a 1,0, caracterizam áreas mais estáveis, prevalecendo a pedogênese, e os valores mais próximos a 3,0 caracterizam áreas mais instáveis, predominando a morfogênese. Os valores próximos a 2,0 apresentam equilíbrio entre ambos (FIGURA 27).

UNIDADE DE PAISAGEM	MÉDIA			GRAU DE VULNERAB.	GRAU DE SATURAÇÃO			
					VERM.	VERDE	AZUL	CORES
U1	↑	3,0		VULNERÁVEL	255	0	0	
U2		2,9			255	51	0	
U3		2,8			255	102	0	
U4		V	2,7			255	153	
U5	U	2,6		255	204	0	MODERADAM. VULNERÁVEL	
U6	L	2,5	E	255	255	0		
U7	N	2,4	S	204	255	0		
U8	E	2,3	T	153	255	0		
U9	R	2,2	A	102	255	0	MEDIANAM. ESTÁVEL/VULNERÁVEL	
U10	A	2,1	B	51	255	0		
U11	B	2,0	I	0	255	0		
U12	I	1,9	L	0	255	51		
U13	L	1,8	I	0	255	102	MODERADAM. ESTÁVEL	
U14	I	1,7	D	0	255	153		
U15	D	1,6	A	0	255	204		
U16	A	1,5	D	0	255	255		
U17	D	1,4	E	0	204	255	ESTÁVEL	
U18	E	1,3		0	153	255		
U19	↓	1,2		0	102	255		
U20		1,1		0	51	255		
U21		1,0		0	0	255		

**Figura 27:** Escala de vulnerabilidade para as Unidades Territoriais Básicas.

**Fonte:** Crepani et al. (2001).

A definição e atribuição dos valores de vulnerabilidade/estabilidade dos temas do meio físico trabalhados na bacia hidrográfica do Rio Doce se deu com base na metodologia de Crepani et al. (2001). Para o uso e cobertura da terra, utilizou-se as metodologias adotadas por Grigio (2003) e Oliveira (2011).

#### 4.3.1 Geologia

Crepani et al (2001) afirmam que o grau de coesão das rochas é a informação básica da Geologia a ser considerada na Ecodinâmica, uma vez que em áreas com rochas pouco coesas pode prevalecer os processos erosivos modificadores das formas de relevo (morfogênese), enquanto que nas áreas com rochas bastante coesas deve prevalecer os processos de intemperismo e formação de solos (pedogênese).

Nesse sentido, para a atribuição dos valores de vulnerabilidade ambiental utilizou-se as cartas geológicas das Folhas João Câmara (SB.25-V-C-IV) e Natal (SB.25-V-C-V), na escala 1:100.000, elaboradas por Amaral (1990) e Fonseca et al (2012), respectivamente. Os arquivos baixados do site da CPRM vêm com um banco de dados geográficos onde são espacializadas informações relativas à geologia local, inserindo-se os dados relativos aos tipos de rochas existentes na bacia.

A atribuição dos valores para o tema Geologia seguiu a classificação utilizada por Crepani et al (1996), de acordo com o quadro 07.

**Quadro 07:** Escala de vulnerabilidade à denudação das rochas mais comuns

Escala de vulnerabilidade à denudação das rochas mais comuns					
Quartzitos ou metaquartzitos	1,0	Milonitos, Quartzo muscovita, Biotita, Clorita xisto	1,7	Arenitos quartzosos ou ortoquartzitos	2,4
Riólito, Granito, Dacito	1,1	Piroxenito, Anfibólito, Kimberlito, Dunito	1,8	Conglomerados, Subgrauvacas	2,5
Granodiorito, Quartzo Diorito, Granulitos	1,2	Hornblenda, Tremolita, Actinolita xisto	1,9	Grauvacas, Arcózios	2,6
Migmatitos, Gnaisses	1,3	Estauroлита xisto, Xistos granatíferos	2,0	Siltitos, Argilitos	2,7
Fonólito, Nefelina Sienito, Traquito, Sienito	1,4	Filito, Metassilito	2,1	Folhelhos	2,8
Andesito, Diorito, Basalto	1,5	Ardósia, Metargilito	2,2	Calcários, Dolomitos, Margas, Evaporitos	2,9
Anortosito, Gabro, Peridotito	1,6	Mármore	2,3	Sedimentos Inconsolidados: Aluviões, Colúvios etc.	3,0

**Fonte:** Crepani et al. (1996)

#### 4.3.2 Geomorfologia

O mapa temático da geomorfologia para a BHRD foi construído a partir do mapa base de Geomorfologia desenvolvido pelo IDEMA (2005), e acrescentados os dados referentes a hipsometria e a declividade, extraídos do TOPODATA/INPE e a densidade de drenagem obtido a partir da extração por análise visual de imagens orbitais em ambiente SIG.

De acordo com Crepani et al. (2001) e Florenzano (2008), o grau de estabilidade/vulnerabilidade para o tema Geomorfologia é obtido a partir de uma média aritmética dos valores de vulnerabilidade para densidade de drenagem, hipsométrica e declividade, expressos nos quadros 08, 09 e 10.

**Quadro 08:** Valores de Vulnerabilidade para densidade de drenagem

Densidade de Drenagem	VULNER./ ESTABILIDADE	Densidade de Drenagem	VULNER./ ESTABILIDADE
0 a 0,50	1,0	5,70 a 6,60	1,9
0,50 a 1,0	1,1	6,60 a 7,50	2,0
1,0 a 1,50	1,2	7,50 a 10,0	2,1
1,50 a 2,00	1,3	10,0 a 12,50	2,2
2,0 a 2,50	1,4	12,50 a 15,0	2,3
2,50 a 3,0	1,5	15 a 17,50	2,4
3,0 a 3,90	1,6	17,50 a 20	2,5
3,90 a 4,80	1,7	20 a 100	3,0
4,80 a 5,70	1,8		

**Fonte:** Adaptado de Florenzano (2008).

**Quadro 09:** Valores de Vulnerabilidade para amplitude altimétrica

AMPLITUDE ALTIMETRICA (M)	VULNER./ ESTABILIDADE	AMPLITUDE ALTIMETRICA (M)	VULNER./ ESTABILIDADE	AMPLITUDE ALTIMETRICA (M)	VULNER./ ESTABILIDADE
<20	1,0	77 – 84,5	1,7	141,5 – 151	2,4
20 – 29,5	1,1	84,5 – 94	1,8	151 – 160,5	2,5
29,5 – 39	1,2	94 – 103,5	1,9	160,5 – 170	2,6
39 – 48,5	1,3	103,5 – 113	2,0	170 – 179,5	2,7
48,5 – 58	1,4	113 – 122,5	2,1	179,5 – 189	2,8
58 – 67,5	1,5	122,5 – 132	2,2	189 – 200	2,9
67,5 – 77	1,6	132 – 141,5	2,3	>200	3,0

Fonte: Crepani et al. (2001).

Para as unidades geomorfológicas fez-se a classificação diretamente a partir da metodologia adotada por Florenzano (2008) e Crepani et al. (2001). Os mapas hipsométrico e de declividade foram gerados a partir do modelo numérico de elevação extraídos da missão SRTM e realizado o processamento pelo INPE a partir do Projeto TOPODATA (2008), com resolução espacial de 30 metros e formato Geotiff.

**Quadro 10:** Valores de Vulnerabilidade para declividade

DECLIVIDADE		VULN. ESTAB.	DECLIVIDADE		VULN. ESTAB.	DECLIVIDADE		VULN. ESTAB.
GRAUS	PORCENT		GRAUS	PORCENT		GRAUS	PORCENT	
<2	<3,5	1,0	9,9 – 11,2	17,4 – 19,8	1,7	19,1 – 20,4	34,6 – 37,2	2,4
2 – 3,3	3,5 – 5,8	1,1	11,2 – 12,5	19,8 – 22,2	1,8	20,4 – 21,7	37,2 – 39,8	2,5
3,3 – 4,6	5,8 – 8,2	1,2	12,5 – 13,8	22,2 – 24,5	1,9	21,7 – 23,0	39,8 – 42,4	2,6
4,6 – 5,9	8,2 – 10,3	1,3	13,8 – 15,2	24,5 – 27,2	2,0	23,0 – 24,4	42,4 – 45,3	2,7
5,9 – 7,3	10,3 – 12,9	1,4	15,2 – 16,5	27,2 – 29,6	2,1	24,4 – 25,7	45,3 – 48,1	2,8
7,3 – 8,6	12,9 – 15,1	1,5	16,5 – 17,8	29,6 – 32,1	2,2	25,7 – 27	48,1 – 50	2,9
8,6 – 9,9	15,1 – 17,4	1,6	17,8 – 19,1	32,1 – 34,6	2,3	>27	>50	3,0

Fonte: Crepani et al. (2001).

Já o mapa de densidade de drenagem foi elaborado a partir da extração da drenagem por análise visual em imagens orbitais no ambiente SIG e o cálculo da densidade teve como base poligonal as unidades geomorfológicas elaboradas pelo IDEMA (2005).

O arquivo *raster* foi inserido no SIG QGIS e, posteriormente, transformado em vetor (tipo polígono). Com este arquivo, montou-se um banco de dados geográficos em que foi possível montar um intervalo graduado dos dados tendo como base os valores intervalares adotados por Crepani et al. (2001) para os temas hipsometria e declividade (QUADROS 12 e 13).

Com os valores de vulnerabilidade elaborados no formato vetorial, foi feito o processo de transformação para o formato *raster*, gerando o mapa de vulnerabilidade para cada tema

relacionado a geomorfologia extraídos do TOPODATA, bem como o das unidades geomorfológicas.

Para a obtenção do valor de vulnerabilidade final do mapa de geomorfologia da bacia, fez-se uma média aritmética dos temas unidades geomorfológicas, altimetria e declividade.

#### 4.3.3 Pedologia

De acordo com Crepani et al. (2001), a principal característica considerada para estabelecer as 21 classes de vulnerabilidade do tema solos é o grau de desenvolvimento ou a sua maturidade. Indicam como um tema importante na participação do balanço entre a morfogênese e a pedogênese.

Para o presente trabalho, o mapa pedológico teve como base o trabalho desenvolvido pelo IBGE (2014). No entanto, realizou-se uma atualização do mapa, a partir da interpretação de imagens orbitais disponibilizadas pela empresa Digital Globe no Google Earth, com resolução espacial que varia entre 5 metros e 0,61 centímetros, que foi aberto no SIG QGIS Essen 2.14, através do plugin Open layers plugin, assim como algumas visitas a campo.

Após o refinamento do mapa pedológico, em formato vetor *shapefile* (.shp\*), foram atribuídos os valores de Vulnerabilidade/Estabilidade dos solos de acordo com Crepani et al. (2001) (QUADRO 11).

**Quadro 11:** Valores de vulnerabilidade dos solos.

CLASSIFICAÇÃO DE SOLOS (Camargo et al., 1987)	CLASSIFICAÇÃO DE SOLOS (EMBRAPA, 1999B)	VULN.
Latossolos Amarelos Latossolos Vermelho-Amarelos Latossolos Vermelho-Escuros Latossolos Roxos Latossolos Brunos Latossolos Húmicos Latossolos Húmicos Brunos	Latossolos Amarelos Latossolos Vermelho-Amarelos Latossolos Vermelhos Latossolos Vermelhos Latossolos Brunos Latossolos (...) Húmicos Latossolos Bruno (...) Húmicos	<b>1,0</b>
Podzólicos Amarelos Podzólicos Vermelho-Amarelos Podzólicos Vermelho-Escuros Terras Roxas Estruturadas Brunos Não-Cálcicos Brunizéns Brunizéns Avermelhados Rendzinas Planossolos Solos Hidromórficos (abrupticos) Podzóis	Argissolos Argissolos Luvisolos Alissolos Nitossolos Argissolos Luvisolos Alissolos Nitossolos Argissolos Nitossolos Luvisolo Chernossolos Chernossolos Chernossolos Planossolos Planossolos Espodossolos	<b>2,0</b>
Cambissolos	Cambissolos	<b>2,5</b>
Solos Litólicos Solos Aluviais	Neossolos Litólicos Neossolos Flúvicos	<b>3,0</b>

Regossolos	Neossolos Regolíticos	
Areias Quartzosas	Neossolos Quartzarênicos	
Vertissolos	Vertissolos	
Solos Orgânicos	Organossolos	
Solos Hidromórficos (não abúpticos)	Gleissolos	
Glei Húmico	Gleissolos Plintossolos	
Glei Pouco Húmico	Gleissolos Plintossolos	
Plintossolo	Plintossolos	
Laterita Hidromórfica	Plintossolos	
Solos Concrecionários Lateríticos	Plintossolos	
Afloramento Rochoso	Afloramento Rochoso	

Fonte: Crepani et al. (2001)

#### 4.3.4 Clima

Na análise da vulnerabilidade à erosão dos solos, o principal elemento climático considerado é a precipitação, tendo como principais variáveis a quantidade ou pluviosidade total, a intensidade pluviométrica e a distribuição sazonal (BUCKMAN; BRADY, 1976).

De acordo com CREPANI et al. (2004), a variável mais importante é a intensidade pluviométrica, pois representa a relação entre a quantidade e a distribuição sazonal. Significa dizer que em uma pluviosidade anual elevada, mas distribuída ao longo de todo período anual, o poder erosivo será menor que uma precipitação anual reduzida, mas concentrada em um certo período do ano.

No presente trabalho os dados sobre as precipitações diárias e a sua média anual na bacia foram obtidos na Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Norte – EMPARN, do período de 1997 e 2016.

A intensidade pluviométrica é calculada a partir da equação (CREPANI et al., 2001):

$$\text{Intensidade pluviométrica} = \frac{\text{Precipitação média anual}}{\text{Número de dias com chuva}/30}$$

A divisão do número de dias com chuva por 30 é necessária para transformação dos dias em meses, já que os resultados são apresentados em mm/mês.

No site da EMPARN foram obtidos os dados pluviométricos para cada município pertencente a bacia, entre os anos de 1997 e 2016. A precipitação média anual corresponde aos últimos 20 anos, e o número de dias foram contabilizados por aquelas que apresentaram valores diferentes de zero. Em seguida, a intensidade pluviométrica foi obtida para todos os anos e calculada a média aritmética.

Por fim, a intensidade pluviométrica final para a área de estudo foi classificada a partir do grau de vulnerabilidade à perda de solo elaborada por Crepani et al. (2001) (QUADRO 12).

**Quadro 12:** Valores de vulnerabilidade à perda do solo para a intensidade pluviométrica

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

Fonte: Adaptado de Crepani (2001)

#### 4.3.5 Hidrografia

O mapa de hidrografia foi extraído das imagens orbitais visualizadas no SIG QGIS Essen 2.14, a partir do plugin *quickmapservices*, que disponibiliza imagens de vários sensores e plataformas, como a do Google Earth. Utilizou-se também imagens do Projeto TOPODATA, assim como Cartas topográficas da SUDENE na escala 1:100.000.

O objetivo foi fornecer dados relativos a drenagem da bacia, para que se pudesse calcular a densidade de drenagem, que está relacionada à porosidade e permeabilidade do solo e da rocha, além do volume do escoamento superficial responsável pelo processo erosivo. Para se alcançar esse índice, utiliza-se uma equação que corresponde à razão entre o comprimento total da rede de drenagem e área a ser analisada.

Essa é uma das variáveis utilizadas para gerar a vulnerabilidade do relevo, substituindo a variável índice de dissecação do relevo. Segundo Florenzano (2008), a classificação da densidade de drenagem em valores de vulnerabilidade à erosão pode ser visualizada no Quadro 13.

**Quadro 13:** Valores de vulnerabilidade para a densidade de drenagem

Densidade de Drenagem	Vulnerabilidade	Densidade de Drenagem	Vulnerabilidade	Densidade de Drenagem	Vulnerabilidade
<0,5	1	2,66 – 3,0	1,7	7,5 – 9,6	2,4
0,5 – 0,86	1,1	3,0 – 3,75	1,8	9,6 – 11,7	2,5
0,86 – 1,22	1,2	3,75 – 4,5	1,9	11,7 – 13,8	2,6
1,22 – 1,58	1,3	4,5 – 5,25	2,0	13,8 – 15,9	2,7
1,58 – 1,94	1,4	5,25 – 6,0	2,1	15,9 – 18,0	2,8
1,94 – 2,3	1,5	6,0 – 6,75	2,2	18,0 – 20,0	2,9
2,3 – 2,66	1,6	6,75 – 7,5	2,3	> 20	3,0

Fonte: Adaptado de Florenzano (2008).

#### 4.3.6 Vegetação

Crepani et al. (2001) afirmam que, para o tema vegetação, a densidade de cobertura vegetal é o parâmetro a ser obtido, a partir da documentação existente e da interpretação das imagens orbitais em ambiente SIG para a determinação das 21 classes de vulnerabilidade. Neste caso, os processos da morfogênese se relacionam às coberturas vegetais de densidade baixa, enquanto os processos de pedogênese ocorrem em situações em que a cobertura vegetal densa permite o desenvolvimento e maturação do solo.

O mapa de vegetação para a BHRD teve como base o mapa de vegetação do IBGE, na escala 1:250.000, referente à Folha Natal, desenvolvido em 2014. Esse tema foi inserido em ambiente SIG e reinterpretado a partir de imagens orbitais no SIG QGIS Essen 2.14. Ao concluir a vetorização, os polígonos gerados foram reclassificados, utilizando-se o manual da vegetação brasileira do IBGE (2012).

A definição dos valores de vulnerabilidade para o tema vegetação seguiu a classificação proposta no trabalho de Crepani et al. (2001).

Para a cobertura vegetal das unidades da paisagem, utilizou-se a nomenclatura do Projeto RADAMBRASIL (1973 – 1987), em que são consideradas estáveis as seguintes formações (1,0 – 1,3):

- Floresta Ombrófila Densa, independentemente da posição topográfica (Aluvial, Terras baixas, Submontana, Montana e Alto-montana) e da fisionomia específica (dossel, uniforme ou emergente).
- Floresta Ombrófila Aberta, independentemente da posição topográfica (Terras baixas, Submontana e Montana) e da fisionomia específica (Palmeiras, Cipó, Bambu e Sororoca).
- Floresta Ombrófila Mista, independente da sua posição topográfica (Aluvial, Submontana, Montana e Alto-montana).

Para a cobertura vegetal moderadamente estável (1,4 – 1,7), foram classificados:

- Floresta Estacional Semidecidual (20 a 50% de caducifolia), independente da sua posição topográfica (Aluvial, Terras baixas, Submontana e Montana) e de sua fisionomia específica (dossel uniforme ou emergente).
- Formação Campinarana, fisionomia Florestada e fisionomia específica (Com palmeiras ou sem palmeiras).
- Savana Florestada e Savana Estépica Florestada, independente do relevo e de suas fisionomias específicas, (com ou sem floresta-de-galeria).
- Estepe arbórea densa, com ou sem palmeiras. Incluem-se, nesta categoria, a Vegetação com influência marinha (restinga arbórea), Vegetação com influência fluviomarinha (Manguezal) e Vegetação com influência fluvial e/ou lacustre (arbórea com palmeiras ou sem palmeiras).

As coberturas medianamente estáveis ou vulneráveis (1,8 – 2,2) são as seguintes:

- Savana Arborizada e Savana-Estépica Arborizada, independente do relevo e de suas fisionomias específicas (com ou sem Floresta de Galeria).
- Floresta Estacional Decidual (acima de 50% de caducifolia), independente da posição topográfica (Aluvial, Terras baixas, Submontana e Montana) e da fisionomia específica (dossel uniforme e emergente).
- Campinarana Arborizada, independentemente de sua formação específica (Com ou Sem floresta-de-galeria).
- Estepe Arborizada, (arbórea aberta, com ou sem palmeiras), independente de apresentar floresta-de-galeria ou não.
- Buritizal com influência fluvial e/ou lacustre

As coberturas vegetais moderadamente vulneráveis (2,3 – 2,6) são as seguintes:

- Campinarana arborizada, com ou sem palmeiras.
- Savana Parque, Savana Estépica Parque e Estepe Parque com ou sem floresta-degaleria, independente do relevo.
- Campinarana e Estepe com porte arbustivo.
- Vegetação com influência marianha (Restinga), porte arbustivo (das dunas).
- Vegetação com influência fluvial e/ou lacustre, porte arbustivo (com ou sem palmeiras).
- Refúgio Montano e Refúgio Alto-montano

Por último, a coberturas vegetais consideradas vulneráveis (2,7 a 3,0) são:

- Savana Gramíneo-Lenhosa, Savana-Estépica Gramíneo-Lenhosa e Estepe GramíneoLenhosa, independente do relevo e de suas fisionomias específicas (com ou sem Floresta de Galeria).
- Campinarana Gramíneo-Lenhosa, independente do relevo (tabular e/ou depressão fechada), e de sua fisionomia específica (com ou sem floresta-de-galeria).
- Vegetação com influência marinha herbácea (das praias), vegetação com influência fluviomarinha e a vegetação com influência fluvial e/ou lacustre (porte herbáceo).
- Refúgios Montano e Alto-montano (porte herbáceo).

De acordo com Crepani et al. (2001), para as coberturas artificiais do terreno, as pastagens, as culturas perenes e as culturas anuais, utilizam-se, respectivamente, os valores de 2,8, 2,9 e 3,0 da escala de vulnerabilidade natural.

Para o tema área urbana, área antropizada e corpos d'água, adotou-se o valor 3,0 na escala de vulnerabilidade, por se entender que nessas áreas os impactos causados pela ação antrópica são determinantes para a vulnerabilidade do solo, bem como a água é um recurso natural bastante vulnerável e importante para o equilíbrio ambiental.

#### 4.3.7 Uso e cobertura da terra

O mapeamento do uso e cobertura da terra foi realizada a partir da interpretação de imagens orbitais disponibilizadas pela empresa Digital Globe no Google Earth, com resolução espacial que varia entre 5 metros e 0,61 centímetros, que foi aberto no SIG QGIS Essen 2.14, através do plugin Open layers plugin, arquivos vetoriais *shapefile* e visitas a campo. Teve como objetivo indicar a distribuição espacial das tipologias relativas a ação antrópica no meio. A partir dessas informações, foi possível compreender os padrões de organização do espaço, bem como entender a forma como o homem ocupa esses espaços.

O valor do grau de vulnerabilidade adotado para classificar as diferentes categorias do tema uso e cobertura da terra foi obtido a partir da metodologia utilizada por Oliveira (2011), conforme quadro 14.

**Quadro 14:** Valores do grau de vulnerabilidade para o tema uso e cobertura da terra

Uso e cobertura da terra	Grau de Vulnerabilidade
Florestal	1,0
Campestre	1,5
Cultura Permanente	2,0
Cultura Temporária	2,5
Pastagem/Agropecuária	2,5
Mineração	3,0
Áreas urbanizadas	3,0

Fonte: Adaptado de Oliveira (2011).

Para a presente tese, incluiu-se a categoria Mineração, já que é uma atividade desenvolvida na bacia hidrográfica. A classificação para essa categoria foi 3,0, pois a referida atividade gera impactos ambientais negativos relevantes.

Tal afirmativa sustenta-se em trabalhos como o de Bacci et al. (2006) e Silva (2005), os quais mostram que as pedreiras geralmente são localizadas próximas de áreas habitadas, decorrentes da forte influência do custo dos transportes no preço final do produto. Essas jazidas possuem um grande volume de material e proporcionam uma longa vida útil dos empreendimentos. A falta de planejamento urbano, nesse caso, gera um processo de ocupação irregular, ocasionando uma série de conflitos sociais.

De acordo com Bacci et al. (2006), os impactos ambientais negativos causados pelas atividades em pedreiras se dão em todas as fases de exploração. Na abertura da cava há a retirada da vegetação, as escavações, as movimentações de terra e a modificação da paisagem local; no uso de explosivos para o desmanche da rocha há a vibração do terreno, ultralancamento de fragmentos, gases, poeira e ruídos; no transporte e beneficiamento do

minério há a geração de poeira e ruídos. Esses fatores afetam o meio físico, tais como a água, o ar e o solo, além da população local.

Silva (2005) afirma que os impactos ambientais causados pela atividade extrativista são: as intempéries sobre o substrato desnudo, a emissão de material particulado para a atmosfera, as detonações, a alteração paisagística e a geração de efluentes líquidos. No meio biótico, afeta os ecossistemas pela alteração e/ou destruição de habitats, modificando ecossistemas naturais preexistentes, seus ambientes associados e a fauna, principalmente pela supressão vegetal e geração de solos desnudos, o que possibilitará focos de erosão.

Dias (2001) afirma que dificilmente um projeto de mineração não causa impactos ambientais notórios. Em um primeiro momento, é possível a geração de impactos ambientais positivos, como a geração de emprego e renda, bem como a instalação de uma infraestrutura urbana mais satisfatória.

No entanto, Dias (2001) aponta uma série de impactos ambientais negativos, tais como: alteração paisagística; impactos sobre a saúde; desconforto ambiental ocasionado pela retirada da vegetação, deixando as rochas à mostra, que acabam refletindo os raios solares; desconforto ambiental pelos ruídos, emissão de poeira e águas turvas; alteração na dinâmica demográfica; depreciação do valor dos imóveis circunvizinhos; transtornos no tráfego urbano, ocasionado pelo movimento de caminhões com cargas pesadas; possibilidade de ocupação de áreas abandonadas por populações de baixa renda, alteração da forma de uso do solo.

Na bacia foi possível observar uma série de consequências danosas ao meio e a população circunvizinha. No distrito de Serrinha, localizado no município de São Gonçalo do Amarante, foi possível observar uma quantidade de poeira significativa cobrindo tudo que estava nas proximidades (FIGURA 28).



**Figura 28:** Vegetação esbranquiçada pela poeira proveniente das atividades mineradoras, devido à extração de brita para construção civil no distrito de Serrinha, São Gonçalo do Amarante - RN.

Observou-se que, no entorno das pedreiras, uma imensa quantidade de poeira branca cobria vegetação, carros, residências, animais e tudo mais que estava ao seu redor. Essa poeira no ar, certamente, é aspirada pela população local, podendo causar uma série de doenças nos seres vivos que ali habitam, incluindo o homem.

#### **4.4 Preparação e compatibilização de valores e mapas de vulnerabilidade: Álgebra de mapas**

De acordo com Tomlim (1990), os elementos da álgebra de mapas consistem de mapas que associam a cada local de uma dada área em estudo um valor quantitativo (numérico) ou qualitativo (nominal).

No caso da BHRD, os mapas foram gerados a partir de mapas base existentes, ou seja, extraídos de arquivos nos formatos *raster* e vetorial (pontos, linhas e polígonos), bem como elaborados a partir de imagens orbitais e visitas a campo. Os dados em formato vetorial (modo polígono) foram ajustados para a inserção dos valores de vulnerabilidade ambiental. Destacam-se os mapas da Geologia, Geomorfologia e Solos.

O mapa temático da vegetação/uso e cobertura da terra foi desenvolvido em ambiente SIG e, posteriormente, foi criada uma coluna no banco de dados para a inserção dos valores de vulnerabilidade.

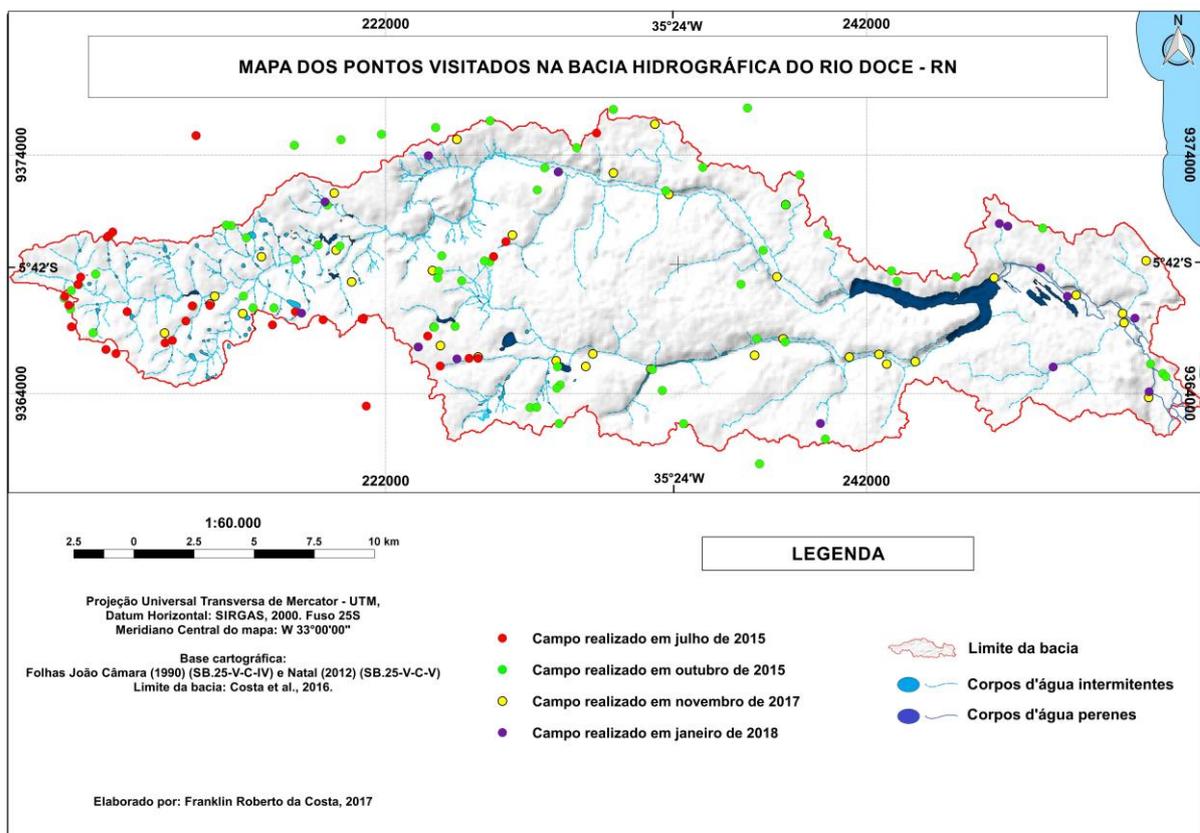
No tema clima, inseriram-se os postos pluviométricos georreferenciados existentes em todos os municípios da bacia. Em seguida, foram importados dados pluviométricos, o que possibilitou a geração dos dados de intensidade pluviométrica. Logo após fez-se a interpolação dos dados pelo método IDW, produzindo um mapa de intensidade pluviométrica no formato *raster* (COSTA et al, 2017, comunicação pôster). O mapa passou pelo processo de vetorização, para, por fim, serem associados aos valores de vulnerabilidade.

Os mapas temáticos em formato vetorial foram transformados para o formato *raster* no SIG QGIS, a partir da ferramenta *converter – vetor para raster* (rasterizar). Para a realização desse procedimento, os valores de vulnerabilidade foram inseridos em cada polígono no formato vetor, de acordo com o tema, e, no processo de conversão, foi escolhida a variável para elaboração dos mapas em formato *raster*. O resultado foram mapas, em formato *raster*, que serviram de base para a aplicação das equações que geraram os mapas de vulnerabilidade natural e ambiental da bacia.

## 4.5 Atividades de campo

As visitas a campo foram realizadas em julho e outubro de 2015, novembro de 2017 e janeiro de 2018, com o objetivo de conhecer as características do meio físico, bem como os aspectos relacionados ao uso e ocupação da bacia, da nascente até a foz (FIGURA 29).

Utilizou-se imagens do Google Earth, cartas e mapas diversos, bússola, caderneta de campo para anotações dos pontos e paisagens observadas e as coordenadas UTM de cada local visitado. As coordenadas de cada ponto foram obtidas a partir de um GPS EtrexGarmin Venture, com precisão de 5 metros. Todos os dados levantados em campo foram fotografados para análise posterior.



**Figura 29** - Campos realizados em julho e outubro de 2015, novembro de 2017 e janeiro de 2018.

A primeira atividade de campo, realizada em julho de 2015, teve como objetivo o reconhecimento das áreas que delimitavam a bacia e a observação (identificação) das nascentes dos rios Guajirú e do Mudo. Neste caso, visualizou-se a porção centro-oeste da bacia, sendo cadastrados 32 pontos com coordenadas ao longo do campo (FIGURA 30).

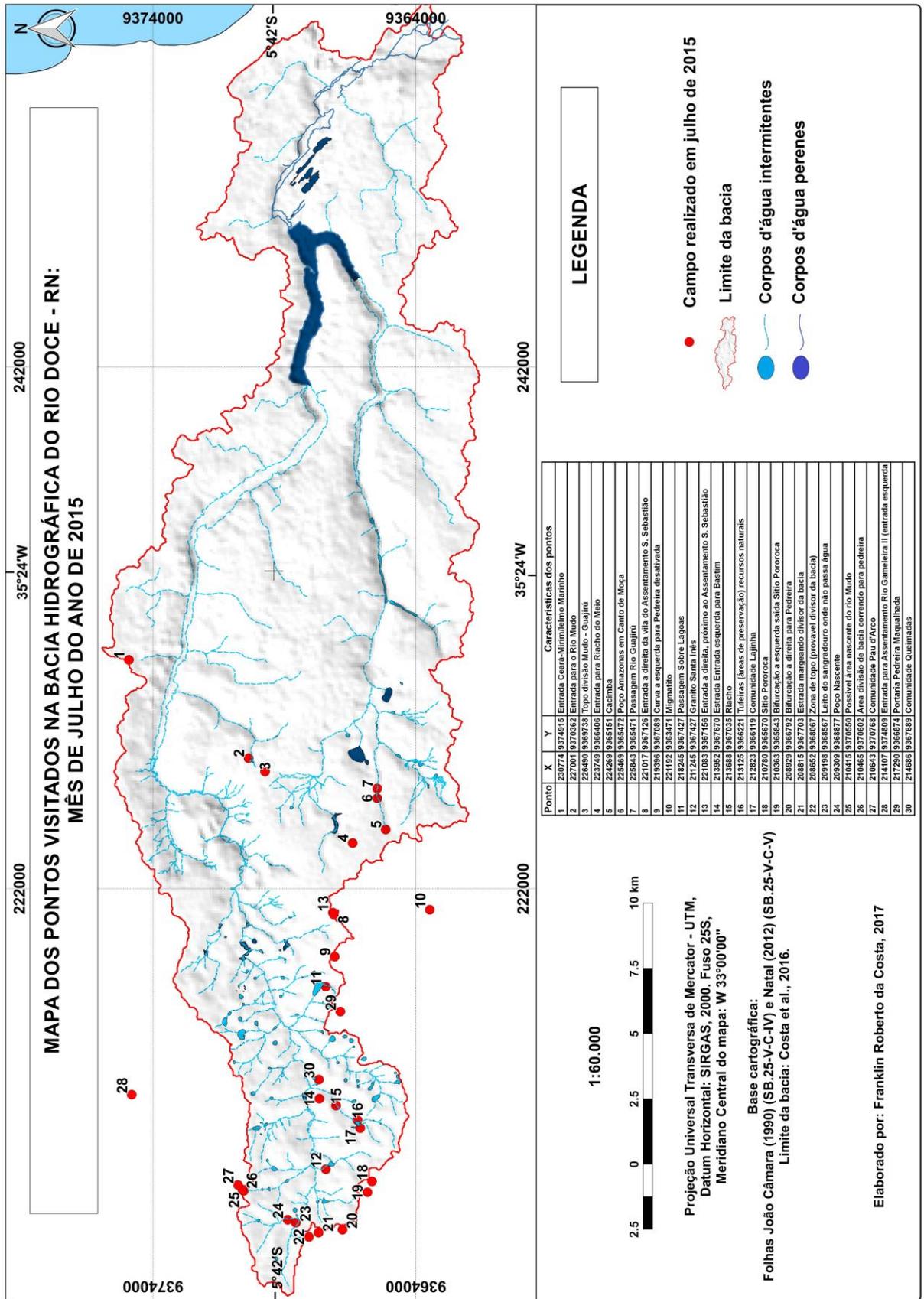
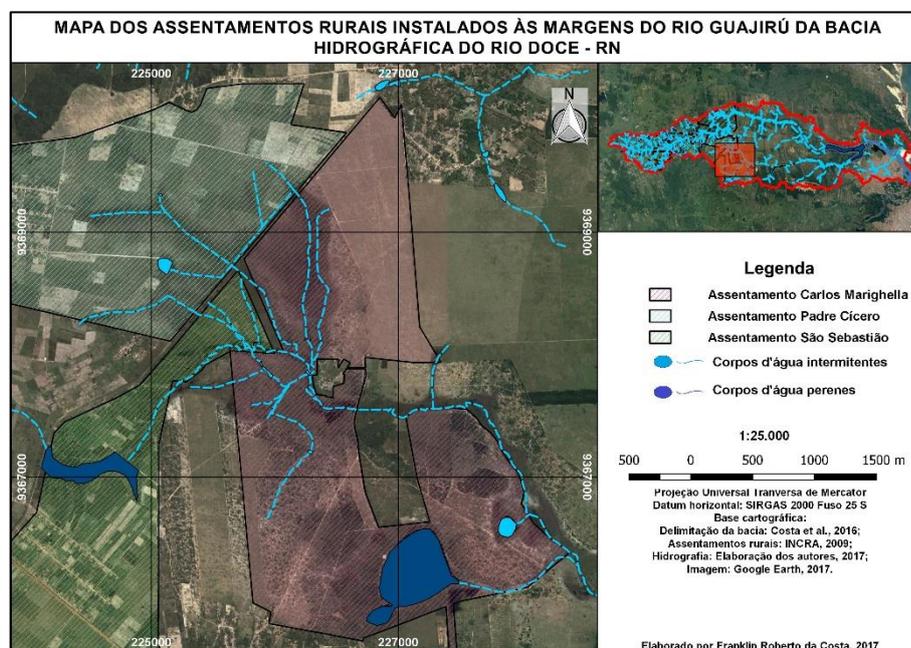


Figura 30 - Campo realizado em julho de 2015.

Observou-se que as nascentes do rio Guajirú são intermitentes, e se apresentam difusas, inseridas em propriedades privadas. Neste caso, as nascentes observadas em campo estão amparadas pelo conceito adotado por Felipe e Magalhães Junior (2013). Os autores afirmam que a nascente é considerada

um sistema ambiental em que o afloramento da água subterrânea ocorre naturalmente, de modo temporário ou perene, e cujos fluxos hidrológicos na fase superficial são integrados à rede de drenagem. Uma nascente abrange, portanto, os mais diversos processos hidrológicos, hidrogeológicos e geomorfológicos que culminam na exfiltração da água e na formação de um curso d'água.

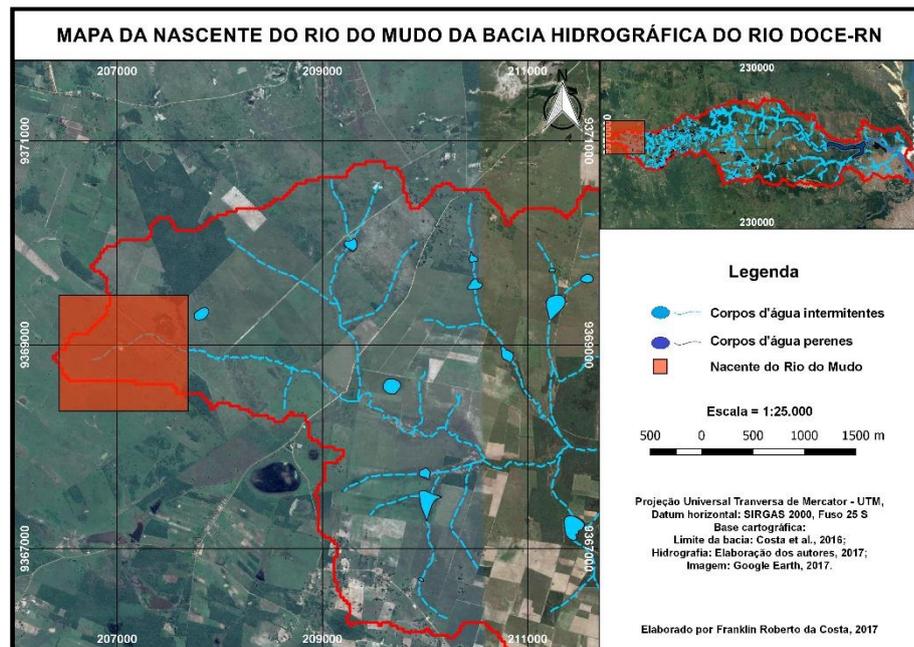
Dentre as propriedades rurais estão 03 (três) assentamentos, quais sejam: Padre Cícero, São Sebastião e Carlos Marighella, (FIGURA 31).



**Figura 31:** Assentamentos instalados às margens das nascentes do rio Guajirú – RN.

Os assentamentos rurais e as propriedades circunvizinhas utilizam a área para o plantio, onde foram identificados fruticulturas e hortaliças, além de pastagem para criação de bovinos, equinos e caprinos.

A nascente do rio do Mudo também é considerada intermitente. Em ambos os rios, as características geológico-geomorfológicas dos divisores da bacia mostram outras nascentes importantes que também contribuem, logo no início, para a formação desses cursos d'água (FIGURA 32).



**Figura 32:** Uma das nascentes do Rio do Mudo – RN.

As nascentes possuem características do meio físico diferenciadas. A nascente do rio do Mudo está assentada em uma formação geológica do Período Neoproterozóico, denominada Suíte Intrusiva Dona Inês, geomorfologicamente denominada de Depressão Sertaneja. A vegetação foi praticamente retirada, para dar lugar às atividades ligadas a agropecuária. Em relação ao clima, possui a maior média de temperatura e a menor precipitação anual, comprovada nos poucos corpos d'água existentes no local.

De acordo com IBGE (2014), o solo da área da nascente do rio do Mudo é formado pelo Planossolo Háplico Eutrófico. Para Sousa et al. (2013), esse tipo de solo apresenta limitações, tais como: dificuldade de mecanização; diferença textural abrupta entre os horizontes A e B. Além disso, por ser um solo raso, constitui um ambiente com pouca sustentabilidade para as raízes de plantas, pela facilidade de compactação. A presença de sódio trocável no horizonte subsuperficial causa problema de salinização, sendo usados, na bacia, principalmente para pastagem, palma forrageira, feijão, milho e sorgo. Relatos de moradores afirmam que a água apresenta salinidade que não permite o consumo humano.

A nascente do Rio Guajirú está assentada na formação geológica do período Neógeno, numa zona de transição entre os Depósitos Aluvionares Antigos, os Depósitos Arenos-argilosos e os Depósitos Marinhos e Continentais Antigos. A Geomorfologia é caracterizada pela zona de Tabuleiros, formada por relevos tabulares em rochas sedimentares, pouco litificadas e dissecadas por uma rede de canais com baixa a moderada densidade de drenagem e padrão dendrítico.

Os solos da nascente do Guajirú são formados pelo Latossolo Amarelo Distrófico e pelo Argissolo Amarelo Distrófico. O latossolo é formado por materiais areno-argilosos, coesos, sendo utilizados para o plantio de cana-de-açúcar e pastagem, além do cultivo de frutas como o abacaxi, encontrados nessa área. Em relação ao clima, possui temperaturas mais amenas que a nascente do rio do Mudo, bem como maiores precipitações ao longo do ano. A vegetação de Savana Arborizada tem sido retirada, dando lugar às atividades agropecuárias.

As áreas e microbacias de nascentes, de ambos os rios, foram motivos de estudos que apontam um forte processo de degradação ambiental nos quais passam o rio do Mudo (SILVA, 2016) e o Guajirú (ROCHA, 2016). Esses autores propõem estudos de maior detalhe das nascentes dessas microbacias, para fins de viabilizar a instalação de algumas APPs de nascentes, de lagos e rios por eles indicadas, delimitadas à luz da legislação vigente.

Percebeu-se, no entanto, que a área que se encontra indicado no mapa, trata-se de uma nascente intermitente e no limite do topo da delimitação da bacia (Figura 33).



**Figura 33:** a) Vegetação típica em leito seco nas proximidades da nascente do rio do Mudo e b) desmatamento e entulhamento recente (em 06/08/2016, às 15:02 horas) no leito seco da microbacia de nascente do rio do Mudo.

**Fonte:** Da Silva (2016).

A segunda etapa de reconhecimento de campo foi realizada em outubro de 2015 e seu objetivo foi dar continuidade à observação das áreas limites da bacia, com o objetivo de servir de subsídio para a elaboração do primeiro capítulo da tese (FIGURA 34).

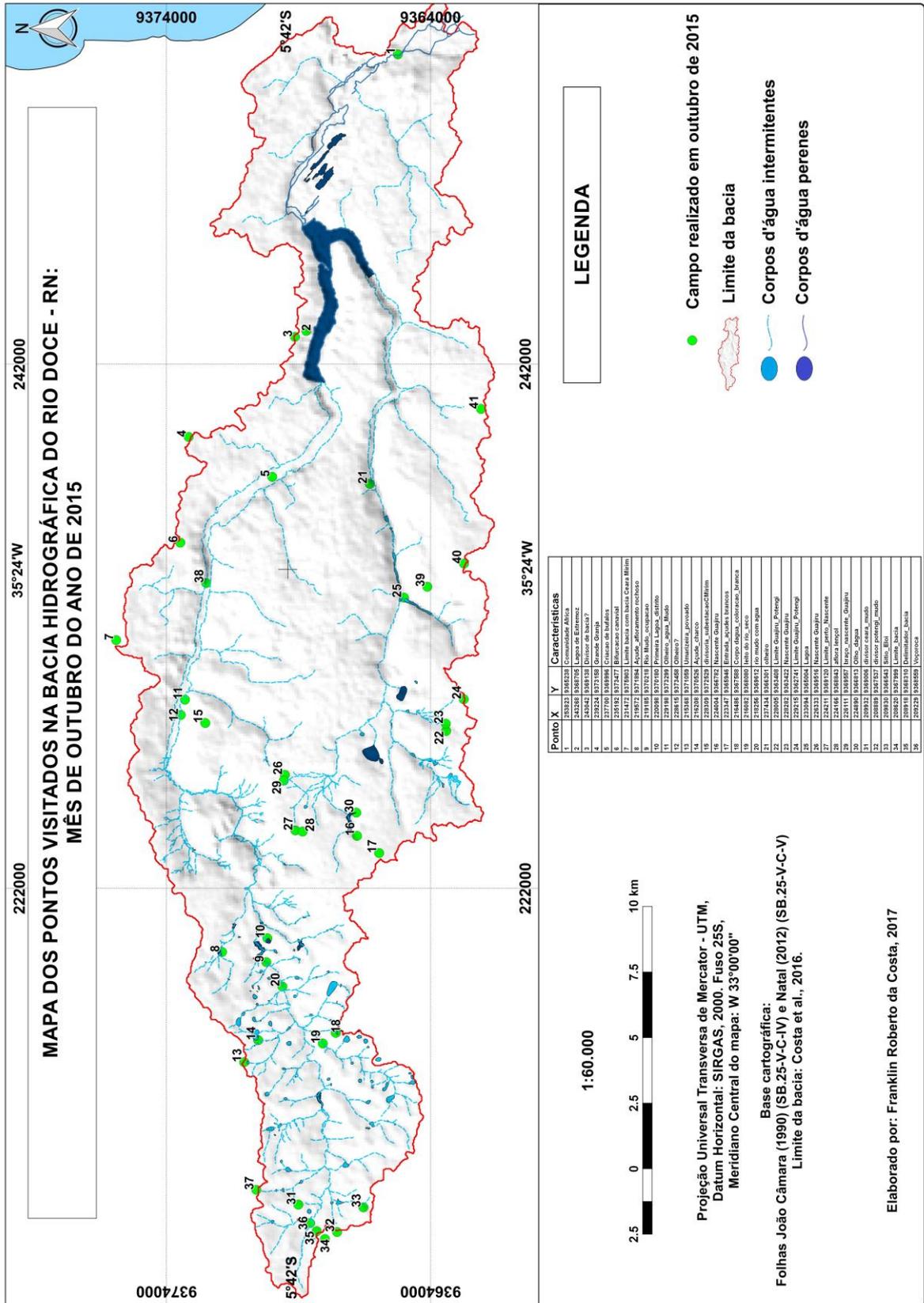


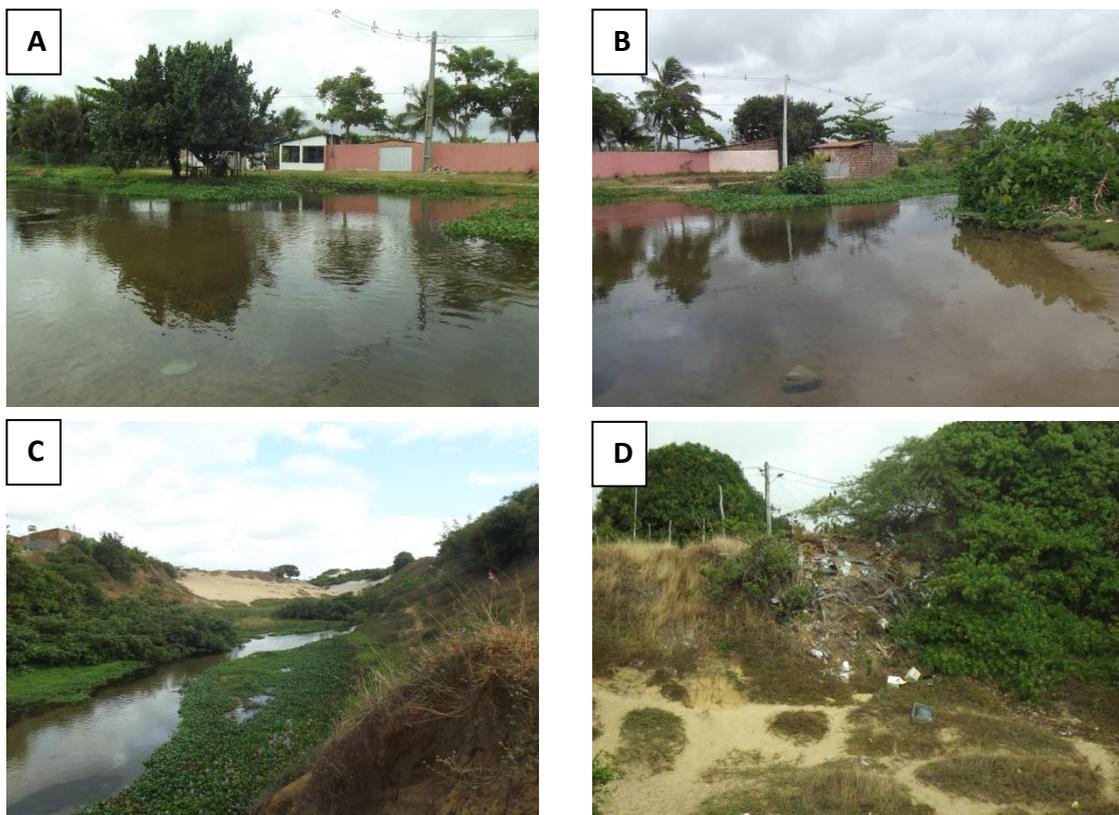
FIGURA 34 - Campo realizado em outubro de 2015.

Além disso, buscou-se identificar os corpos d'água existentes e a sua disponibilidade ao longo da bacia. Analisou-se também seu uso e ocupação por parte da sociedade. Neste campo, toda a bacia hidrográfica foi percorrida, sendo cadastrados 38 novas estações de observação.

O campo iniciou-se na foz do rio Doce (PONTO 01) e observou-se que a mesma se encontra ocupada por moradores em praticamente todo o seu leito, inclusive com bares e restaurantes que despejam seus dejetos *in natura* no rio (FIGURA 35 A e B).

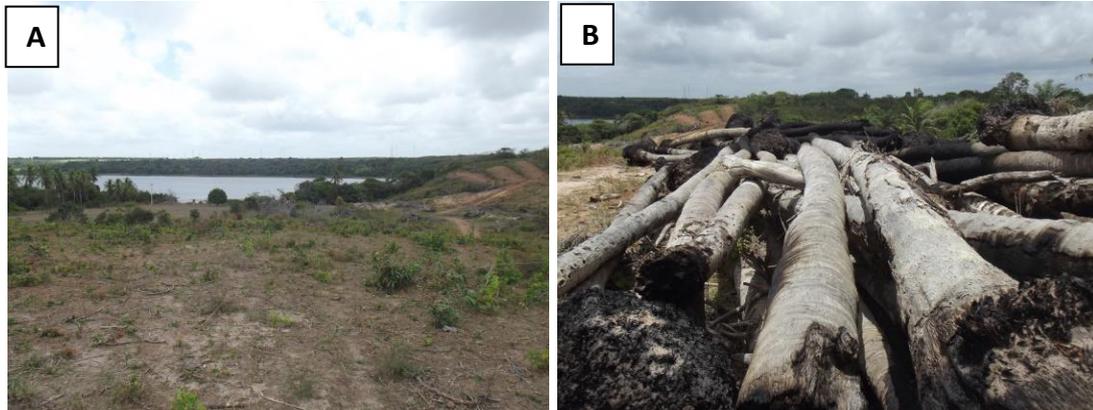
Além disso, não existe mata ciliar, ocorrendo vegetação de macrófitas e detritos lançados pela população local. A geologia local é formada pelos Depósitos Eólicos vegetados, com uma geomorfologia formada por Dunas Fixas e solos do tipo Neossolo Quartzarênico, e uma vegetação original formada pelas Pioneiras com Influência Marinha. Todas as características observadas nesse local colocam essa área como notadamente vulnerável em termos ambientais e sociais (Figuras 35 C e D).

A partir daí, seguiu-se a identificação dos limites da bacia na sua porção norte, seguindo o percurso leste-oeste, em direção ao ponto mais extremo oeste da bacia do rio Doce (PONTOS 3, 4, 6, 7, 13 e 37 no mapa da Figura 34).



**FIGURAS 35 A, B, C, D** - Casas construídas às margens do rio Doce (35A, 35B); macrófitas no leito do rio e detritos lançados às suas margens (35C, 35D), respectivamente.

No ponto 02, nas proximidades da porção norte da Lagoa de Extremoz, pode-se observar as características de uso e ocupação no entorno da lagoa, onde viu-se um conjunto de árvores derrubadas para a implantação de um conjunto de casas. Este desmatamento seguia até a lagoa de Extremoz, retirando, também, a vegetação ciliar (FIGURAS 36 A e B).



**FIGURAS 36 A, B:** Extração de vegetação para instalação de moradias/residências (A e B).

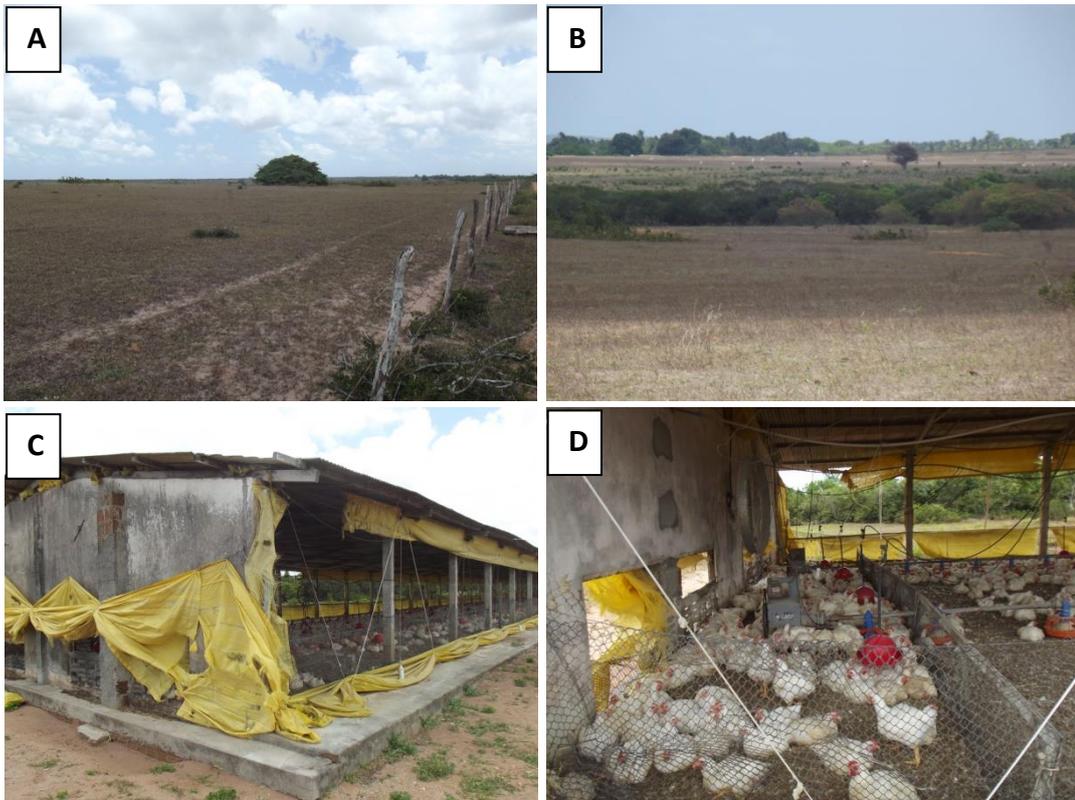
Essa área é caracterizada por uma transição das formações geológicas Depósitos areno-argilosos e os depósitos aluvionares de canal. Na Geomorfologia, é uma área limite entre os Tabuleiros e as Planícies de inundação Fluvial, com solos do tipo Argissolo Amarelo Eutrófico e uma vegetação formada por uma área de transição entre a Savana Estépica Arborizada e as Formações Pioneiras com Influência Fluvial ou Lacustre. Importante destacar que, nessa área, a precipitação anual possui uma média acima dos 1.000 (mil) milímetros, e, com a retirada da vegetação nesse local, a tendência é o assoreamento da Lagoa, que já vem demonstrando uma diminuição do volume d'água (PMN, 2009).

No ponto 04, a paisagem da parte central da bacia é caracterizada por diversas áreas de pastagem (A e B), juntamente com alguns cultivos agrícolas e granjas (C e D) produtoras de aves para corte (FIGURAS 37 A, B, C e D).

A parte central da bacia está edificada sobre a geologia do período Neógeno, especificamente pelos Depósitos Areno-argilosos, com uma geomorfologia do tipo Tabuleiros e solos Latossolo Amarelo Distrófico. Possui um clima sub-úmido, com chuvas anuais que variam entre 1000 e 1100 milímetros, de oeste para leste. A vegetação local, formada anteriormente pela Savana Arborizada, vem sendo retirada, dando lugar, como citado anteriormente, para áreas de pastagem, juntamente com cultivos agrícolas e granjas.

A vegetação rasteira, sem cultivo agrícola, permitiu observar criações de bovinos, principalmente na parte central e oeste da bacia (Figuras 37 A e B). A granja observada em campo possui uma área extensa, com vários criadouros distribuídos em toda a fazenda, com

milhares de frangos para abate. Esta fazenda está localizada nas proximidades do limite da bacia, em sua porção centro-leste.



**Figuras 37 A, B, C e D:** Vegetação rasteira (A); Mata Ciliar ao longo do rio do Mudo e criação de gado (B); Granjas localizadas no ponto 04 do mapa da Figura 28 (C e D).

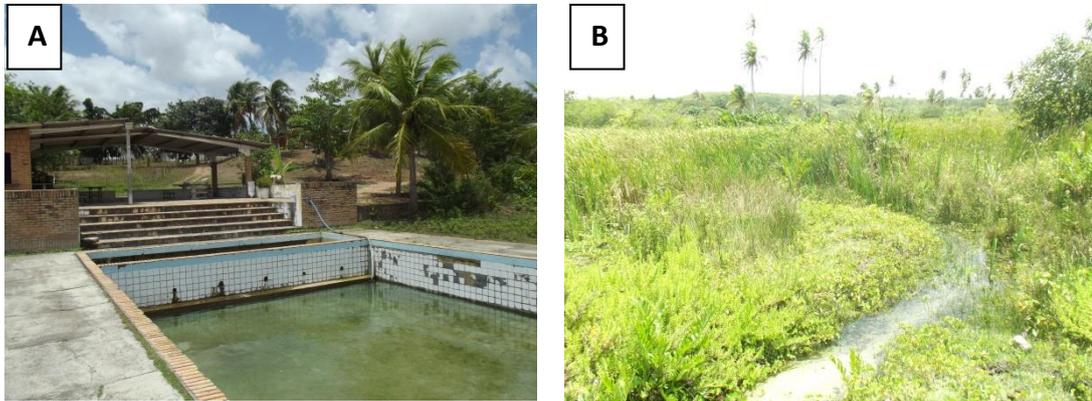
A dificuldade em se delimitar a bacia em áreas urbanas está na observação da geomorfologia local, devido ao alto nível do adensamento de construções existentes que desfiguraram o meio físico local. Na cidade de Ceará Mirim, o limite da bacia está bem próximo ao centro (PONTO 07 no mapa da Figura 34). Observou-se uma área comercial em expansão e grande movimentação de carros e pessoas no local (FIGURA 38).



**Figura 38:** Cidade de Ceará-Mirim - RN na bacia.

Percebe-se, na foto, a declividade baixa, no sentido oeste-leste, para a bacia, sem se poder afirmar se essa feição mantém uma característica natural ou se modificada, construída.

No ponto 11 encontrou-se um “olheiro” nas margens do rio do Mudo. O proprietário do sítio onde está localizado este olheiro construiu uma piscina sem impermeabilizar o fundo (FIGURA 39 A e B).



**Figura 39:** Piscina com olheiro (A); “sangradouro” da piscina em direção ao rio do Mudo (B).

No referido ponto, a unidade geológica dominante é a são os depósitos aluvionares de canal. Neste local há uma produção agrícola considerável, margeando o leito do rio do Mudo. É uma área de planície aluvial alongada, gerando vários olheiros, sendo uma área de contato com os depósitos aluvionares antigos.

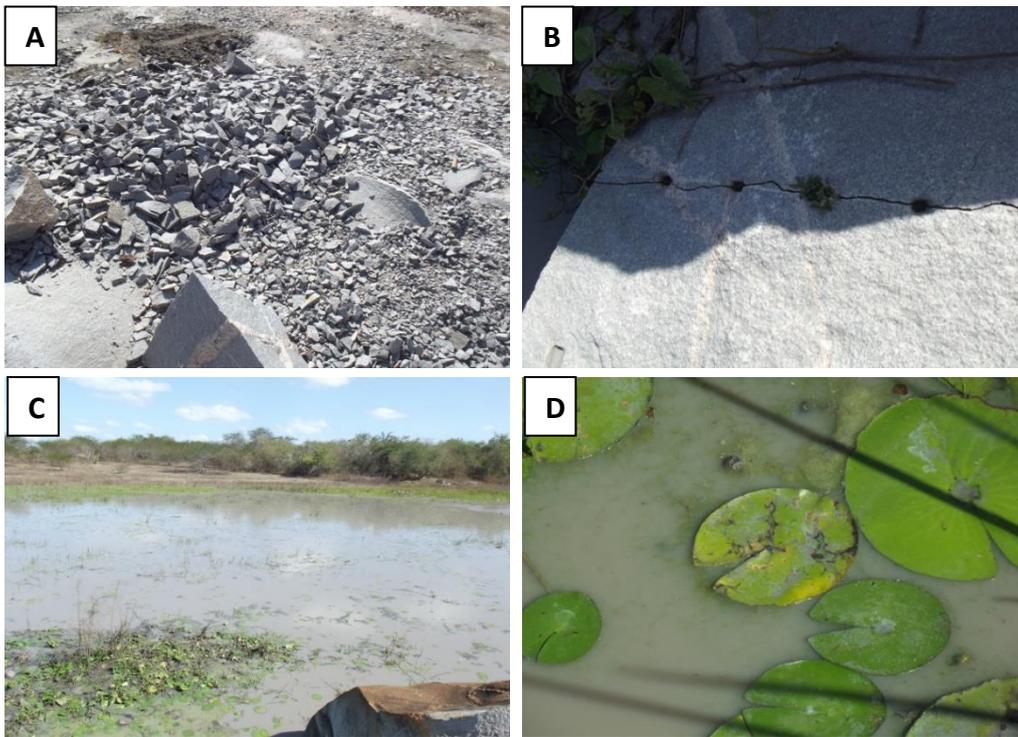
Em relação a vegetação local, observou-se, nas proximidades do rio, uma série de frutíferas, bem como macrófitas e outras espécies de vegetação ribeirinha (ripária), típicas desse local.

Mais a oeste da bacia, observam-se afloramentos da Formação Suíte Intrusiva Dona Inês (PONTO 18 no mapa da Figura 34), e conseqüentemente uma mudança na configuração dos corpos de água. Foi possível identificar uma série de pequenos corpos d’água, utilizados para os mais diversos fins (FIGURAS 40 A, B, C e D).

Além disso, observou-se também a extração de rochas para a construção civil (FIGURAS 40 A e B). A prática da retirada das rochas é feita de forma mecanizada e com uso de explosivos. No caminho visualizou-se um barreiro, cuja água de cor esbranquiçada demonstra algum nível de poluição pelo vento que transporta e deposita o particulado fino por toda a região, advinda atividade de extração de rocha granítica (FIGURAS 40 C e D).

No tocante à qualidade da água, a porção centro-oeste da bacia possui uma salinidade maior (informações dos moradores) e menor abundância, contrariamente ao que se observou em locais em direção a foz.

Percebe-se, também, mudanças no uso e ocupação dos solos. Das nascentes até a parte central da bacia a vegetação é rasteira, com vários pequenos corpos d'água, além de várias cisternas, percebidas ao longo dos povoados da região.



**Figuras 40 A, B, C e D:** Extração de rochas graníticas próximos da localidade Serrote Duberto, município de Ielmo Marinho – RN (A e B); Água esbranquiçada com presença de macrófitas (C e D).

Esse uso e ocupação do solo aumenta na direção oeste-leste, decorrente de um aumento da densidade populacional, que se inicia na parte central da bacia, devido a concentração de assentamentos rurais ali presentes. Mais para leste, a pressão na ocupação da bacia é exercida pela expansão urbana crescente, principalmente pelas cidades de São Gonçalo do Amarante, Extremoz e Natal. Os resultados são interdições dos trechos dos rios Guajirú e do Mudo que geram diminuição da vazão do rio e da qualidade da água.

A terceira etapa de campo foi realizada em novembro de 2017, com o objetivo de identificar os principais aglomerados populacionais, os tipos de uso e cobertura da terra existentes, e as características do meio físico, ao longo da bacia (FIGURA 41).

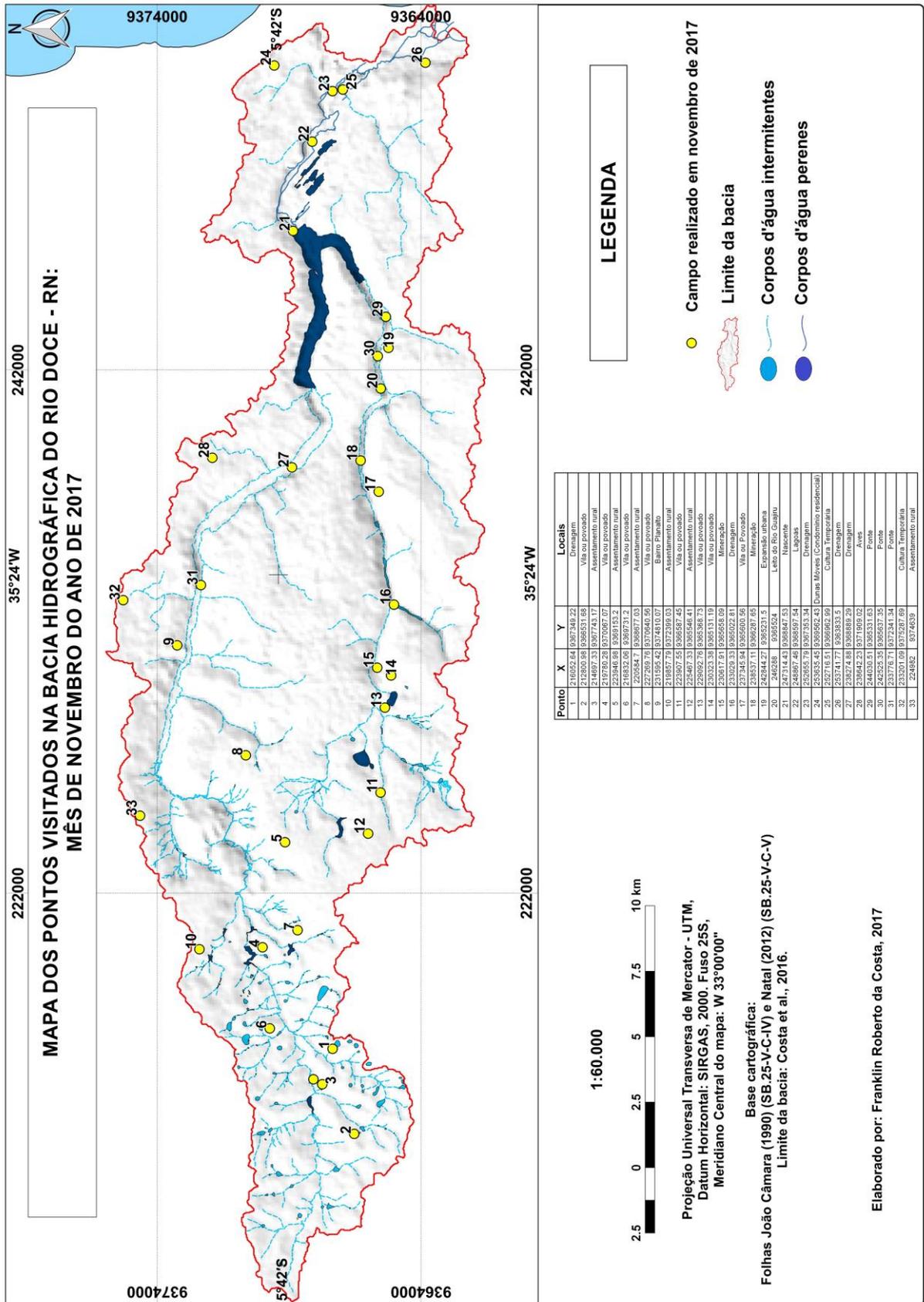
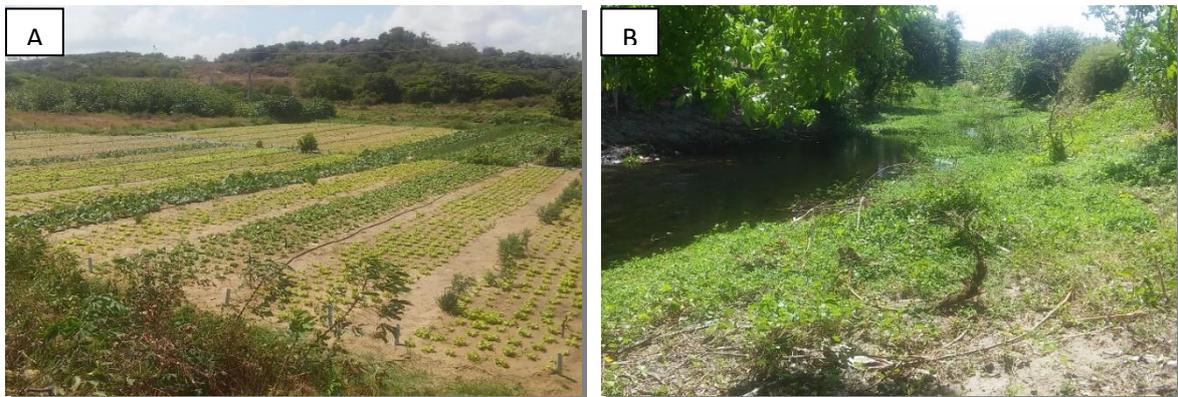


Figura 41 - Campo realizado em novembro de 2017.

Além disso, foi possível coletar dados necessários para a interpretação das dúvidas existentes no mapa de uso e cobertura da terra, bem como na atualização dos mapas do meio físico.

No rio Doce, um dos aspectos que mereceu destaque foi a produção de hortaliças no leito maior e menor do rio. Na localidade chamada sítio Pajussara (PONTO 25 no mapa da figura 41), Zona Norte de Natal, o plantio de hortaliças foi observado ao longo do rio, consorciado com a produção de frutíferas. A água que serve para irrigação é retirada do rio através de bombas hidráulicas durante o ano inteiro, segundo relato de funcionários de uma fazenda localizada na área visitada (FIGURAS 42 A e B).

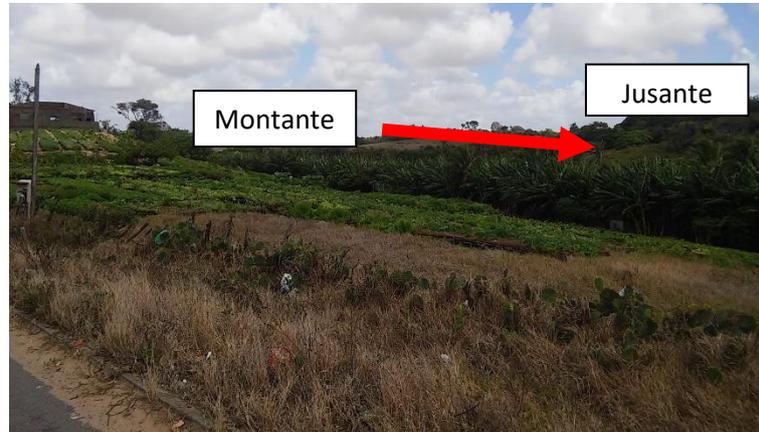


**Figura 42 A, B:** Produção de hortaliças, consorciado com frutíferas (A). Leito menor do rio do Mudo sem mata ciliar e com plantação de frutíferas (B).

Nesse ponto, ocorrem litotipos do período Neógeno, em uma área de transição entre as unidades geológicas Depósitos eólicos litorâneos não vegetados e vegetados. A geomorfologia local compreende Dunas Fixas, Dunas Móveis e a Planície de Inundação Fluvial. A vegetação natural, que, segundo IBGE (2006), era formada por Formações Pioneiras de Influência Marinha e Fluviomarinha, foi suprimida, na sua maioria, sendo substituída pelo cultivo intermitente, ao longo do leito maior do rio Doce.

Na verdade, o plantio de hortaliças é comum nesta área da bacia. Sua produção é comercializada em toda a Natal e nos municípios circunvizinhos. Já as frutas, por representarem uma menor produção, são comercializadas localmente, entre os seus vizinhos, além do consumo próprio.

Outro ponto de produção de hortaliças e fruticulturas consorciadas pôde ser observado nas proximidades das Lagoas do Gramorezinho e a do Guamoré (PONTO 23). Os cultivos ficam a margem esquerda da Avenida Moema Tinoco da Cunha Lima, sentido Natal – Extremoz (FIGURA 43).



**Figura 43:** Produção de hortaliças, consorciado com frutíferas no leito menor e maior do rio Doce.

A partir desse trecho se concentram as maiores produções de hortaliças na bacia, chegando próximo a foz do rio. A maioria dos cultivos se dão entre o leito menor e maior do rio, onde grande parte da mata ciliar já foi suprimida.

No rio do Mudo, no trecho localizado nas proximidades da cidade de Ceará – Mirim (PONTO 31), comprovou-se a intermitência no rio neste setor (FIGURA 44).



**Figura 44:** Trecho do rio do Mudo completamente seco.

A geologia local compreende litologias do período Neógeno, na área de transição entre as unidades geológicas Depósitos Aluvionares de Canal e os Depósitos Marinheiros e Continentais Antigos, com um relevo suave ondulado, característico da unidade geomorfológica Planície de Inundação Fluvial. Os solos são classificados como Argissolo

Amarelo Distrófico, originados dos materiais areno-argilosos, com risco de erosão causado pela diferença de textura superficial, subsuperficial e as condições de declividade.

No local, observou-se um forte assoreamento, juntamente com pouca mata ciliar, caracterizada como Formação Pioneira com influência Fluvial e Lacustre, sendo esta substituída por árvores frutíferas como mangueiras e coqueiros. Outras áreas tiveram a vegetação suprimida e abandonada, além da ausência total da água, comprovando, portanto, a intermitência da água no rio em um período do ano.

O plantio de monoculturas também foi observado ao longo do rio do Mudo. Nas proximidades da área de expansão da cidade de Ceará – Mirim, com acesso pelo bairro Planalto (PONTO 09), há um grande cultivo de cana-de-açúcar, consorciado com a criação de gado (FIGURA 45).

Essa área possui como característica geológica, rochas do período Neógeno, representadas por Depósitos Marinhos e Continentais Antigos, com relevos plano a suave ondulado. Geomorfologicamente está entre as unidades Tabuleiros e Planície de Inundação Fluvial. Os solos são formados pelo Latossolo Amarelo Distrófico, nas proximidades da área urbana de Ceará-Mirim, e pelo Argissolo Amarelo Distrófico, próximo ao rio do Mudo.



**Figura 45:** Cultivo de cana de açúcar consorciado com criação de gado no leito do rio do Mudo.  
Fotos: Autores, 2017.

A média pluviométrica anual nesse ponto está entre 900 e 1000 milímetros, distribuídos entre 2 a 3 meses no ano, geralmente entre maio e julho.

As características naturais desse trecho favorecem a produção agrícola. Observou-se um pivô central de irrigação de cana de açúcar, consorciado com a criação de gado de corte, do tipo Nelore. Assim como nas demais áreas visualizadas no rio do Mudo, as margens

apresentam-se sem mata ciliar preservada, com algumas áreas de vegetação preservada no leito maior do rio e em algumas nascentes.

Mais a oeste da bacia, próximo ao leito do rio do Mudo, foi possível identificar rochas da Formação Dona Inês (PONTO 6), nas proximidades do povoado Primeira Lagoa (FIGURA 46). Muitas casas, nesse setor, foram construídas tendo essas rochas como alicerce. Os afloramentos rochosos encontram-se distribuídos em torno de todo o povoado, sendo que parte deles são explorados, de maneira manual, para a construção civil.

Na região, também há uma produção agrícola mais voltada para subsistência, devido à baixa salinidade da água, bem como ao tamanho das propriedades, em geral, pequenas. A geomorfologia é formada pela unidade Depressão Sertaneja, como solos do tipo Planossolo Háplico Eutrófico, considerado um solo de difícil preparo para o plantio, por ser considerado adensado, ou seja, apresenta dificuldades na penetração de raízes maiores.



**Figura 46:** Afloramento de rocha granítica da Suíte Dona Inês, nas proximidades do povoado Primeira Lagoa.

No rio Guajirú foi possível observar um processo de uso e ocupação da terra mais intenso, quando comparado ao rio do Mudo. A nascente do rio Guajirú é considerada temporária ou efêmera. Segundo Braga (2011), as nascentes efêmeras são comuns no semiárido nordestino e tem como característica surgir por apenas alguns dias ou horas, quando ocorre efetivamente uma precipitação (FIGURA 47). A nascente do rio Guajirú se apresenta em uma área de relevo topoplano, de maneira difusa e ocorre apenas quando há precipitação. A vegetação, anteriormente formada pela Savana Arborizada (IBGE, 2006), foi suprimida, dando lugar a pequenos plantios e a criação de animais, em sua maioria, bovinos. Nas proximidades existem alguns assentamentos rurais criados pelo INCRA, além de algumas outras pequenas propriedades rurais (PONTO 05 do mapa da figura 41).



**Figura 47:** Nascente do rio Guajirú, próximo ao Assentamento Padre Cícero.

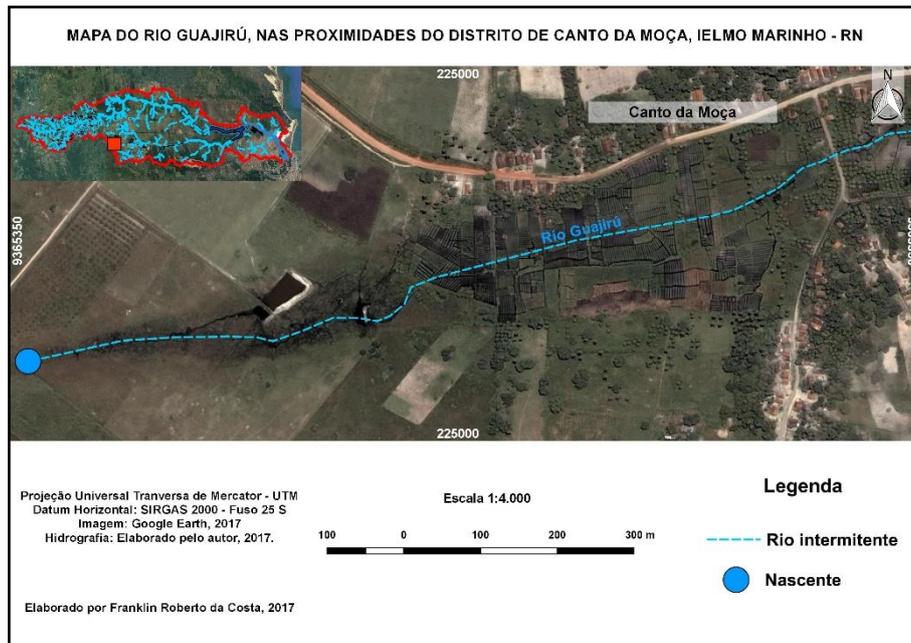
O desmatamento é intenso por toda a região, contribuindo significativamente para a manutenção do caráter efêmero do rio. As áreas de nascente do rio estão assentadas sobre Depósitos areno-argilosos e Depósitos marinhos e continentais antigos. A geomorfologia local compreende a formação Tabuleiros, e solos do tipo Latossolo Amarelo Distrófico e o Argissolo Amarelo Distrófico. A precipitação anual no local está entre 850 e 950 mm/ano, aumentando as chuvas no sentido oeste-leste.

Seguindo em direção ao rio Doce, o distrito de Canto da Moça, localizado no município de Ielmo Marinho – RN, apresenta-se como uma área que possui infraestrutura urbana estabelecida, contando com escola, posto de saúde, além de outros comércios e serviços, ruas asphaltadas e calçadas (PONTO 11). Além da área urbanizada, há produção de cana de açúcar na saída do distrito, em direção à jusante do rio Guajirú (FIGURAS 48 A e B).



**Figuras 48 A e B:** Produção de cana de açúcar (A). Distrito de Canto da Moça, Município de Ielmo Marinho – RN (B).

A geologia local é caracterizada por Depósitos areno-argiloso e a geomorfologia é formada pelas unidades Tabuleiros e Planície de Inundação Fluvial. Ocorrem solos do tipo Argissolo Amarelo Distrófico, e, em menor área, Latossolo Amarelo Distrófico. O clima local é semelhante à nascente do rio Guajirú, com precipitação concentrada entre os meses de maio a julho. A vegetação local, do tipo Savana Arborizada, foi substituída pelas atividades agrícolas, inclusive em áreas de proteção ambiental, como leito maior e menor do rio, e pela expansão da infraestrutura urbana assentada no local (FIGURA 49).



**Figura 49:** Mapa da área da nascente do Guajirú e o plantio no leito menor do rio.

Na Figura 49 é possível observar que, desde a nascente, há cultivos diversos, alternando cultivos perenes e temporários. A medida que se aproxima do distrito, há um aumento da área produzida de culturas temporárias, consorciadas com culturas perenes como, por exemplo, coqueiros e bananeiras.

Seguindo em direção a foz do rio Guajirú, encontra-se o distrito de Serrinha (conhecido também como Serrinha das Pedreiras). Nessa localidade, encontram-se outros afloramentos rochosos da Formação Suíte Intrusiva Dona Inês. A extração mineral se dá de maneira industrial, com algumas empresas trabalhando na região (FIGURA 50).

No distrito de Serrinha, as atividades desenvolvidas estão ligadas diretamente as atividades da mineração, tais como comércios e serviços, além da construção de residências ao longo da Rua Serrinha (PONTOS 13, 14 e 15).



**Figura 50:** Afloramento rochoso no distrito de Serrinha, São Gonçalo do Amarante - RN.

No Distrito de Massaranduba, município de São Gonçalo do Amarante – RN (PONTO 17) foi observado, a partir dessa localidade, que o rio Guajirú é barrado em vários trechos, formando pequenos açudes que servem para a irrigação de culturas temporárias e permanentes (FIGURA 51).



**Figura 51:** Cultivo temporário e permanente ao longo do rio Guajirú nas proximidades do distrito Massaranduba, São Gonçalo do Amarante - RN.

As litologias encontradas são do período Neógeno, ligadas a unidade geológica Depósitos areno-argilosos, nas áreas próximas do leito maior, e na unidade Depósitos Aluvionares de Canal, nos leitos maior e menor do rio. O relevo suave-ondulado a ondulado representa uma das áreas com maiores declives da bacia. Representa a Planície de Inundação Fluvial, associada diretamente ao regime climático, cuja precipitação média anual está entre 1200 a 1300 mm/ano, distribuídas entre 3 a 5 meses.

Nessa porção da bacia verificou-se intensa supressão da vegetação do tipo Savana Estépica Arborizada e Formações Pioneiras com Influência Fluvial e/ou Lacustre, para o

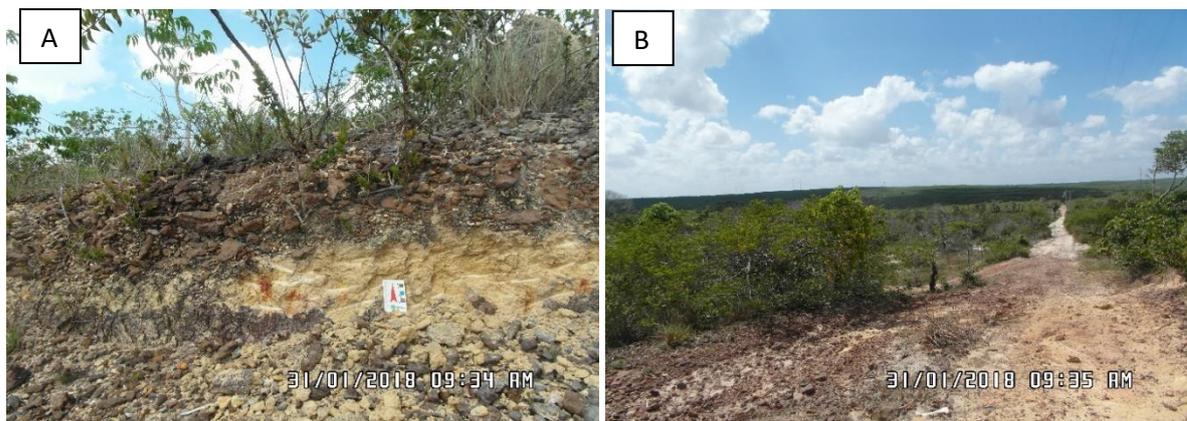
plântio de várias fruteiras, tubérculos, hortaliças e vários tipos de plantas para alimento do gado, como o capim elefante; as águas desses barramentos são utilizadas para irrigar as plantações, bem como para o uso residencial.

A maioria dessas residências fazem parte de sítios, granjas e fazendas, localizados na margem esquerda da Rua da Rodagem, sentido montante - jusante, que são utilizadas como área de lazer, principalmente no leito maior do rio Guajirú.

Na etapa de campo realizada em janeiro de 2018 foi dada continuidade na observação e registro das principais características do meio físico, com ênfase nas unidades geológicas, nos corpos d'água e no uso e cobertura da terra da bacia hidrográfica do rio Doce (FIGURA 52).

Foram georreferenciados 14 pontos de observação nos rios do Mudo, Doce e Guajirú com intuito de verificar resultados e consolidar dados anteriores.

No ponto 01, localizado na porção centro-norte da bacia, observou-se, no local, litotipos do Grupo Barreiras, em dois níveis topográficos distintos, demarcados por quebra de relevo, por níveis de crostas lateríticas, intercaladas nos sedimentos deste grupo (FIGURAS 53 A e B).



**Figuras 53 A e B:** Grupo Barreiras, apresentando blocos e cascalhos angulosos e sub-arredondados (A); Vegetação típica de caatinga, relevo pouco ondulado (B).

Blocos e cascalhos angulosos a sub-arredondados, de coloração avermelhada, sobrepõe camada argilo-arenosa, de coloração amarela a ocre-avermelhada, em adiantado processo de laterização (FIGURA 53A). Em relação à cobertura da terra, o local apresenta área de vegetação típica da caatinga, com porte arbustivo-arbóreo denso, com nível de ocupação baixa, observados pelo pequeno número de residências visualizadas no local (FIGURA 53B).

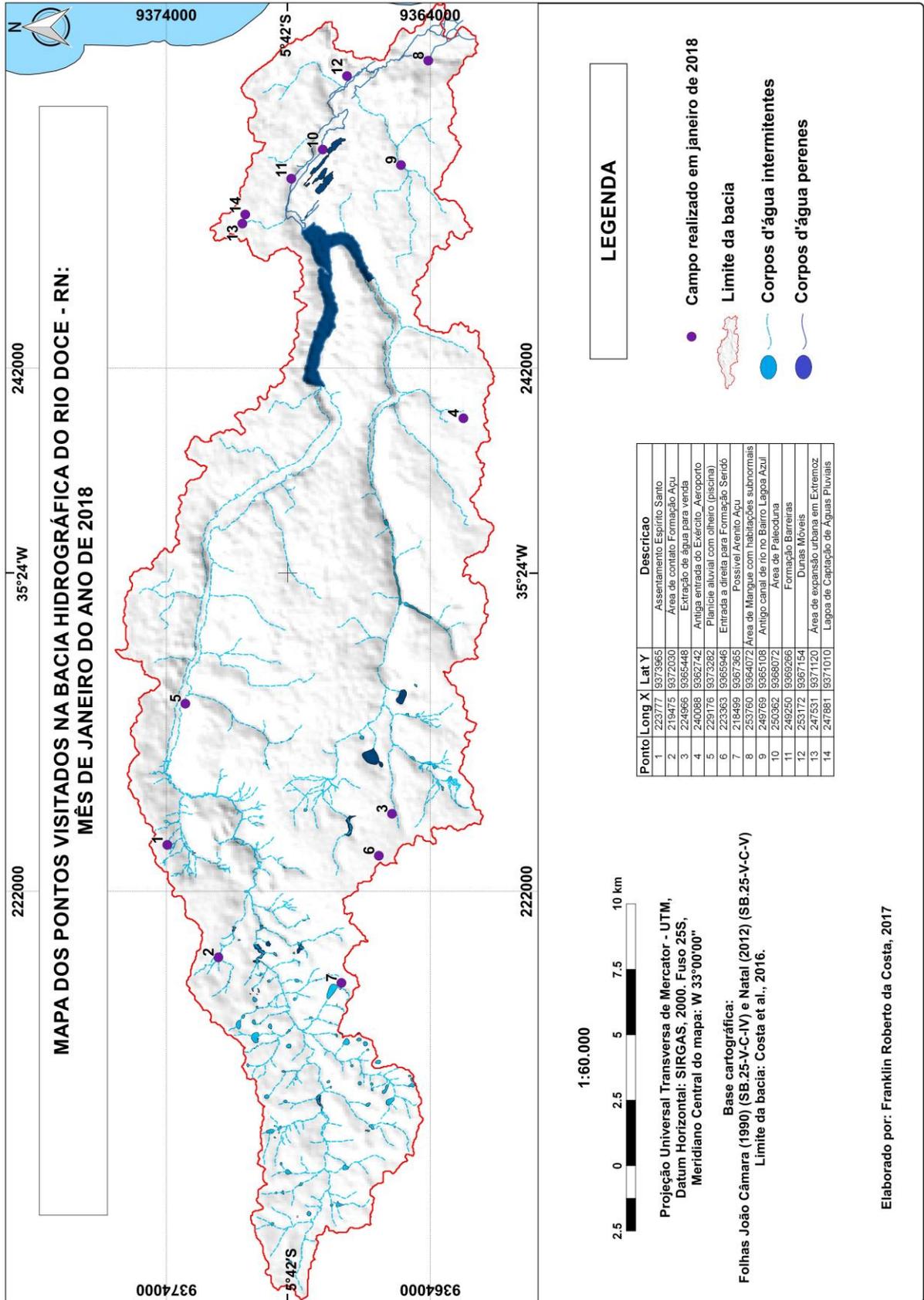
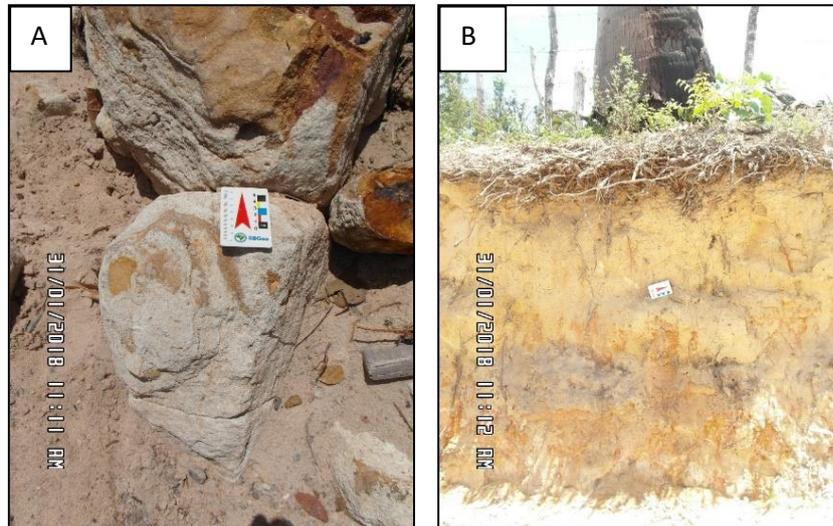


Figura 52 - Campo realizado em janeiro de 2018.

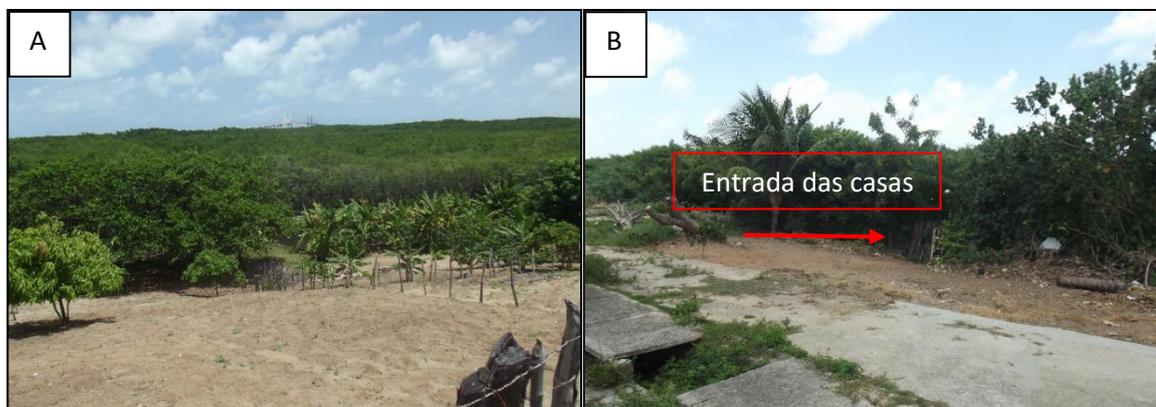
No ponto 02 afloram arenitos da Formação Açú. As principais características observadas nessa área foram: relevo mais elevado, topoplano, resultado da alteração do arenito, cores amareladas a avermelhadas, refletindo o alto grau de oxidação (FIGURA 54 A e B).



**Figuras 54 A e B:** Formação Açú, apresentando alto grau de oxidação.

Possui cobertura residual arenosa, com coloração esbranquiçada a avermelhada. Em relação a cobertura e uso da terra, a área está ocupada por um Assentamento Rural (Espírito Santo).

O ponto 8 localiza-se em área de Mangue, classificada como unidade Geológica Depósitos Fluvio-marinhos, com tipo de solo Gleissolo Tiomórfico Órtico e a geomorfologia caracterizada como Planície fluvio-marinha. É coberta por uma vegetação arbóreo-arbustiva, ao longo do rio até a sua foz. Devido a sua proximidade com a área urbana (município do Natal), observou-se uma série de habitações que se misturavam a mata ali existente (FIGURAS 55 A e B).



**Figuras 55 A e B:** Área de mangue na BHRD (A) com residências no seu leito maior (B).

O ponto 9 está localizado na unidade Depósitos Eólicos Vegetados, em área urbana, mais precisamente no Bairro Lagoa Azul, na cidade de Natal. Esse ponto apresenta uma drenagem perene, associado a uma nascente mais a montante, que hoje é utilizado como poço da CAERN. No entanto, no trecho visitado, observou-se que há uma série de construções que margeiam, a qual jogam dejetos diretamente para o córrego, contaminando-o (FIGURA 56).



**Figura 56:** Córrego observado no Bairro Lagoa Azul – Natal.

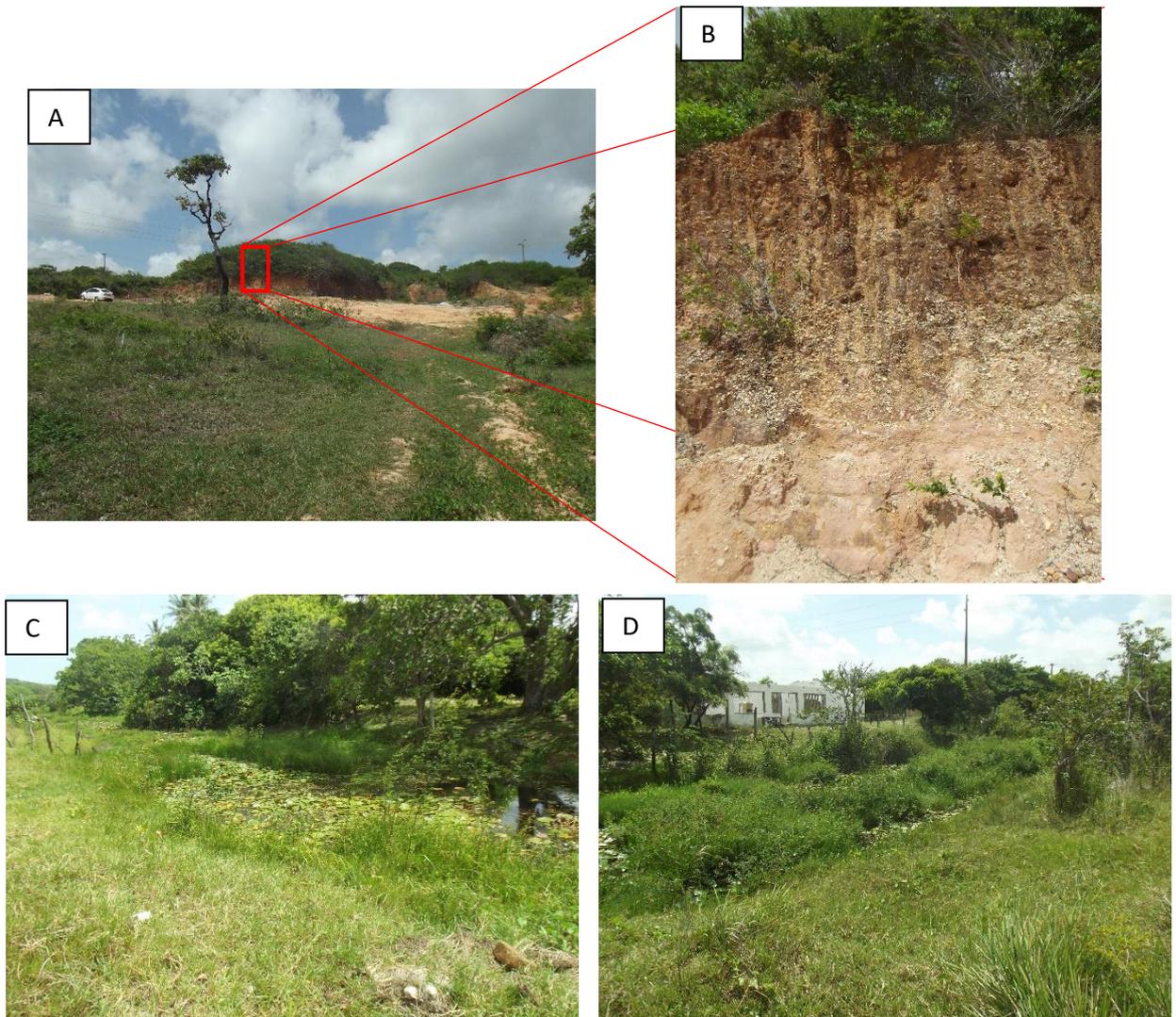
Em conversas informais com moradores, alguns relataram que já houveram animais nesse córrego, dando como exemplo jacarés. No entanto, os moradores acreditam que esse corpo d'água esteja poluído.

Os pontos 10 e 11 estão localizados às margens direita e esquerda do Rio Doce, respectivamente. O ponto 10 representa uma área de paleoduna, classificada como unidade geológica depósitos sedimentares eólicos vegetados, e margeia a avenida Moema Tinôco, uma das mais importantes da Zona Norte de Natal. Observou-se vegetação arbustiva, bastante alterada pela ação antrópica. Nas proximidades encontram-se as lagoas Azul e do Sapo (FIGURA 57).



**Figura 57:** Paleoduna às margens da Avenida Moema Tinoco, Zona Norte de Natal.

Já o ponto 11 localiza-se em uma área de maior declive, demonstrando a Formação Barreiras aflorando (FIGURAS 58 A, B, C e D).



**Figuras 58 A, B, C e D:** Paleoduna às margens da Av. Moema Tinoco, Zona Norte de Natal.

A constante retirada da vegetação e do material para construção civil fez surgir voçorocas que se direcionam ao Rio Doce (FIGURAS 58 A, B).

Nas Figuras 58C e 58D, é possível observar que o rio Doce está coberto por macrófitas, que comprovam a pouca movimentação no leito do rio. Além disso, não há matas ciliares nas proximidades e sim algumas frutíferas, como mangueiras e coqueiros.

No ponto 12 encontra-se os depósitos sedimentares eólicos não vegetados, geomorfologicamente chamado de Dunas Móveis. É uma pequena área na bacia, onde se encontra vegetação típica das dunas móveis e fixas (as restingas). Com porte arbustivo, ela tem o papel de impedir a movimentação das areias soltas das dunas, ocorrendo apenas com as áreas de dunas sem vegetação (FIGURAS 59 A, B).



**Figuras 59 A e B:** Dunas móveis (A) e entrada para passeio de bugres (B), no município de Extremoz – RN.

No local há uma estrada que dá acesso a passagem de bugres que desenvolvem atividade turística. Há um controle de entrada e saída das dunas por parte de instrutores que se encontram no local.

Os pontos 13 e 14 estão localizados na unidade geológica sedimentos aluvionares, com um relevo pouco ondulado, e vegetação extraída para a construção de um conjunto de casas para moradia (FIGURAS 60 A, B).



**Figuras 60 A e B:** Sedimentos Aluvionares (A) e Lagoa de captação (B).

Foi possível observar terrenos areno-argilosos, sendo que, em alguns locais, havia áreas bastante arenosas, dificultando, inclusive, a passagem de veículos. A lagoa de captação das águas pluviais no conjunto habitacional possui 3 captações (exemplo do círculo vermelho na Figura 60 B), canalizando as drenagens da água do Rio Doce.

# CAPÍTULO 1

## **ANÁLISE COMPARATIVA DE METODOLOGIAS APLICADAS À DELIMITAÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO DOCE – RN**

Artigo publicado na Revista Sociedade e Natureza  
Qualis A2 em Ciências Ambientais.

ISSN 1982-4513. <http://dx.doi.org/10.1590/1982-451320160308>

[http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1982-45132016000300429&script=sci\\_abstract&tlng=pt](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1982-45132016000300429&script=sci_abstract&tlng=pt)

## ANÁLISE COMPARATIVA DE METODOLOGIAS APLICADAS À DELIMITAÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO DOCE – RN

### Comparative analysis of methodologies applied to the demarcation of the basin of Rio Doce - RN

*Franklin Roberto da Costa*

Universidade do Estado do Rio Grande do Norte, Pau dos Ferros, Rio Grande do Norte, Brasil.  
franklincosta@uern.br

*Raquel Franco de Souza*

Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, Rio Grande do Norte, Brasil.  
francodesouza.raquel@gmail.com

*Sebastião Milton Pinheiro da Silva*

Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, Rio Grande do Norte, Brasil.  
sebastiaomilton@gmail.com

Artigo recebido em 25/07/2016 e aceito para publicação em 01/12/2016

**RESUMO:** A bacia hidrográfica é considerada um recorte geográfico importante para o planejamento ambiental. A sua precisa delimitação permite realizar um planejamento adequado para ocupação e uso correto pela sociedade. Nesse sentido, o presente trabalho tem como objetivo realizar uma análise comparativa visual das delimitações automáticas realizadas com os programas TauDEM, SAGA e TERRAHIDRO, bem como da delimitação por análise visual, com as delimitações oficiais do SEMARH - RN e da ANA (ottobacia nível 05), visando redefinir e atualizar os limites da bacia hidrográfica do Rio Doce/RN. Para fazer a delimitação utilizaram-se os dados de elevação do terreno do banco de dados geomorfométricos do Brasil, TOPODATA, hidrografia das cartas topográficas da SUDENE, na escala 1:100.000 e imagens do Google Earth. Os dados foram trabalhados nos SIGs QGIS 2.14 Essen e Terraview hidro 0.4.1. Os resultados mostraram que a delimitação por análise visual e automática utilizando a plataforma TERRAHIDRO possibilitou identificar os limites da bacia em suas áreas aplainadas. Já o TauDEM e o SAGA identificaram um paleocanal do rio Doce, direcionando assim o ponto exutório da bacia. Entende-se que o TERRAHIDRO apresentou o melhor resultado para a delimitação da bacia, propondo-se seu uso em bacias hidrográficas com escalas média e grande.

**Palavras-chave:** QGIS; Geotecnologias; TOPODATA; Bacias.

**ABSTRACT:** The watershed is considered a geographical clipping important for environmental planning. Its correct delineation allows appropriate planning with the needs of society. In this sense, the present work aims to carry out a comparative analysis of visual automatic boundaries performed with the programs TauDEM, SAGA and TERRAHIDRO, as well as the delimitation by visual analysis, with the official boundaries of the SEMARH-RN and ANA (ottobacia 05 level), aiming to redefine and update the limits of the basin of Rio Doce/RN. To do the demarcation used the terrain elevation data of the database geomorphometrics of Brazil, TOPODATA, hydrography of topographical maps of SUDENE, in scale 1:100,000, the Google Earth images, worked in SIGs QGIS 2.14 “Essen” and the Terraview hydro 0.4.1. The results showed that the delimitation and automatic visual analysis using the TERRAHIDRO Platform identified the basin boundaries in their flattened areas. Already the TauDEM and the SAGA identified a palaeochannel of Doce river, directing, so the mouth of the basin point. It is understood that the TERRAHIDRO presented the best result for the demarcation of the basin by its use to basin to medium and large scales.

**Keywords:** QGIS; TERRAHIDRO; Geotechnology; TOPODATA; Basins

## INTRODUÇÃO

A bacia hidrográfica como unidade de planejamento ambiental vem sendo analisada por várias ciências, com foco não apenas na questão dos recursos hídricos, mas aliando também todos os elementos físicos e antrópicos que a caracterizam. Rasmusson e Carpenter (1983) definem bacia hidrográfica como toda a área geográfica que drena água, sedimentos e materiais em solução para um ponto comum, em todo o curso de água ou rio.

Botelho e Silva (2004) consideram as bacias hidrográficas como unidades de análise e planejamento ambiental, sendo possível avaliar as ações humanas sobre o ambiente de forma integrada.

A delimitação dos divisores de água de uma bacia hidrográfica é considerada importante para estudos ligados à sua modelagem hidrológica e ambiental (RIBEIRO et al., 2008) e representa a primeira etapa para sua representação geoespacial (SEYLER et al., 2009).

De um modo geral, a delimitação de bacias hidrográficas não parece apresentar dificuldades do ponto de vista da sua cartografia territorial básica. Isto porque, as características físicas que a delimitam são perceptíveis em vários instrumentos de análise espacial e independem de fatores socioeconômicos para que se possam identificar os seus limites geoespaciais.

Historicamente, a delimitação físico-territorial de uma bacia hidrográfica, foi, ao longo do tempo, realizada sobre imagens aéreas (fotografias) e cartas topográficas, buscando seu contorno mediante a análise e traçado do relevo a partir de curvas de nível do terreno (COSTA et al, 2007; MARK, 1983, SILVA; ABDON, 1998).

Costa et al (2007) apontam que, para a análise destes produtos, se fazia necessário um bom treinamento para os executores, pois a visão planar 2-D dos atributos de relevo, no formato de curvas de nível, não é de fácil interpretação pelo olho humano, cuja principal característica é o atributo da visão tridimensional. Aliado a isso, a modelagem do relevo a partir de curvas de nível se deu no

mapeamento sistemático brasileiro, entre 1978 e 1985, em escala média de 1:100.000 ou menor (LEAL, 2007). Na escala considerada, fica difícil demarcar e detalhar os contornos dos divisores de águas, ampliando a imprecisão devido ao nível de generalização cartográfica dos produtos gerados.

O advento das geotecnologias no Brasil ampliou as possibilidades de redefinição dos vários tipos de fronteiras e limites territoriais brasileiros, muitos deles protagonistas de litígios seculares, entre municípios e estados, inserindo-se nas disputas os limites das bacias hidrográficas.

As geotecnologias, voltadas para a realização dos diferentes tipos de delimitação terrestre, têm como suporte o Sensoriamento Remoto - SR (LILLESAND, 1990), mediante a tecnologia Light Detection and Ranging - (LIDAR) (COLLIS, 1970), com visão estereoscópica (CAMARGO et al, 2011), a tecnologia RADAR e seus dados, como o TOPODATA (VALERIANO, 2005).

O Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE afirma que o emprego das geotecnologias está trazendo um novo conhecimento com mais detalhes do território brasileiro, ampliando a visualização e a precisão, por exemplo, do posicionamento dos acidentes geográficos de uma região, em relação aos produtos cartográficos mais antigos (IBGE, 2015).

Vale lembrar que, de acordo com a Constituição Federal, Artigo 18 (BRASIL, 1988), para o caso de limites territoriais estaduais e municipais, os estados são responsáveis pelo trabalho de revisão e definição dos seus respectivos limites (MARANHÃO, 2011; PONTES et al, 2012), podendo o IBGE prestar serviços de orientação técnica e subsidiar com informações os Órgãos Estaduais de Terras e Cartografia e as Assembleias Legislativas (IBGE, 2015).

Outras instituições também utilizam geotecnologias para a delimitação e atualização de limites territoriais relacionados, por exemplo, a questões ambientais (COELHO et al, 2013; EUGENIO et al., 2011; JERONYMO et al, 2013; PINHEIRO, 2011).

Quanto ao emprego de geotecnologias para a delimitação territorial de bacias hidrográficas, percebe-se, na literatura, que a automação dos processos de extração das características do meio físico apresenta mais eficiência (MARTZ; GARBRECHT, 1992), proporcionando uma economia de tempo, em detrimento da delimitação manual por análise visual.

Tendo em vista a importância da bacia hidrográfica como unidade de estudo e gestão territorial, estabelecida a partir da lei 9.433/1997 (BRASIL, 1997), a delimitação em escalas cartográficas maiores facilita a resolução de questões político-administrativas e para fins de planejamento ambiental, sob a perspectiva do desenvolvimento sustentável e do ordenamento territorial.

O estudo de caso apresentado neste artigo refere-se à bacia localizada na porção leste do Estado do Rio Grande do Norte, denominada Bacia Hidrográfica do Rio Doce. Os dados oficiais referentes à delimitação da Bacia do Rio Doce/RN foram gerados pela Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Estado do Rio Grande do Norte - SEMARH, no ano 2000, tendo como referência as cartas topográficas da SUDENE, na escala 1:100.000, folhas SB.25-V-C-V-MI-978 (Natal) e SB.25-V-C-IV-MI-977 (João Câmara) a partir de fotografias aéreas de 1969, restituição em 1970 e edição impressa de 1983, com intervalos de curvas de nível de 50 metros, sendo necessário, portanto, investigar e reavaliar a possibilidade de geração do modelo de elevação do terreno em escala maior de detalhes, a partir de dados TOPODATA que subsidiem a delimitação com maior detalhes dos divisores de água da Bacia do Rio Doce.

Além disto, optou-se ainda por realizar uma análise comparativa de desempenho de delimitação da Bacia do Rio Doce através de metodologias manuais e automáticas por meio de softwares livres open-source (FOSS). Os materiais empregados foram os dados TOPODATA (VALERIANO, 2008), as otobacias brasileiras (ANA, 2006), a hidrografia das cartas topográficas da SUDENE (1983) que recobrem a bacia, atualizadas pela SEMARH (SEMARH, 2000), além do software

Google Earth Pro, estruturados em uma base de dados geográficos para os sistemas de informações geográficas QGIS Essen 2.14 (QGIS DEVELOPMENT TEAM, 2015), TERRAHIDRO/INPE (ROSIM et al, 2003), TauDEM - Terrain Analysis Using Digital Elevation Model (<http://hydrology.esu.edu/taudem>) e SAGA/ GIS - System for Automated Geoscientific Analyses (<http://www.saga-gis.org/en/index.html>).

Vários são os trabalhos desenvolvidos para a delimitação automática de bacias hidrográficas utilizando *softwares*. Com o TERRAHIDRO citam-se Falck et al. (2015), Rosim et al. (2012), Santos e Linhares (2012). Com o TauDEM pode-se destacar autores como Schmitt e Moreira (2015); Zhang e Chu (2015); e no ambiente SAGA tem-se, como exemplo, os trabalhos de Aranha e Ferreira (2013) e Marinho Filho (2014);

Neste sentido, o objetivo do presente trabalho é, portanto, realizar análise comparativa de procedimentos metodológicos manuais e automatizados em ambiente SIG para a delimitação dos divisores de águas da bacia hidrográfica do rio Doce a partir de MDE's de radar com resolução espacial de 30 metros e os limites pré-existentes em instituições e órgãos nacionais e estaduais do RN.

## MATERIAIS E MÉTODOS

### *Área de estudo*

A Bacia Hidrográfica do Rio Doce está localizada na porção leste do Estado do Rio Grande do Norte, entre sendo limitada pelos paralelos 5°48' e 5°36' S e meridianos 35°42' e 5°36' W Gr. (205929 UTM E e 9371426 UTM N, SIRGAS 2000/25S), abrangendo uma área de 387,8 km<sup>2</sup> (SEMARH, 2000) (Figura 1).

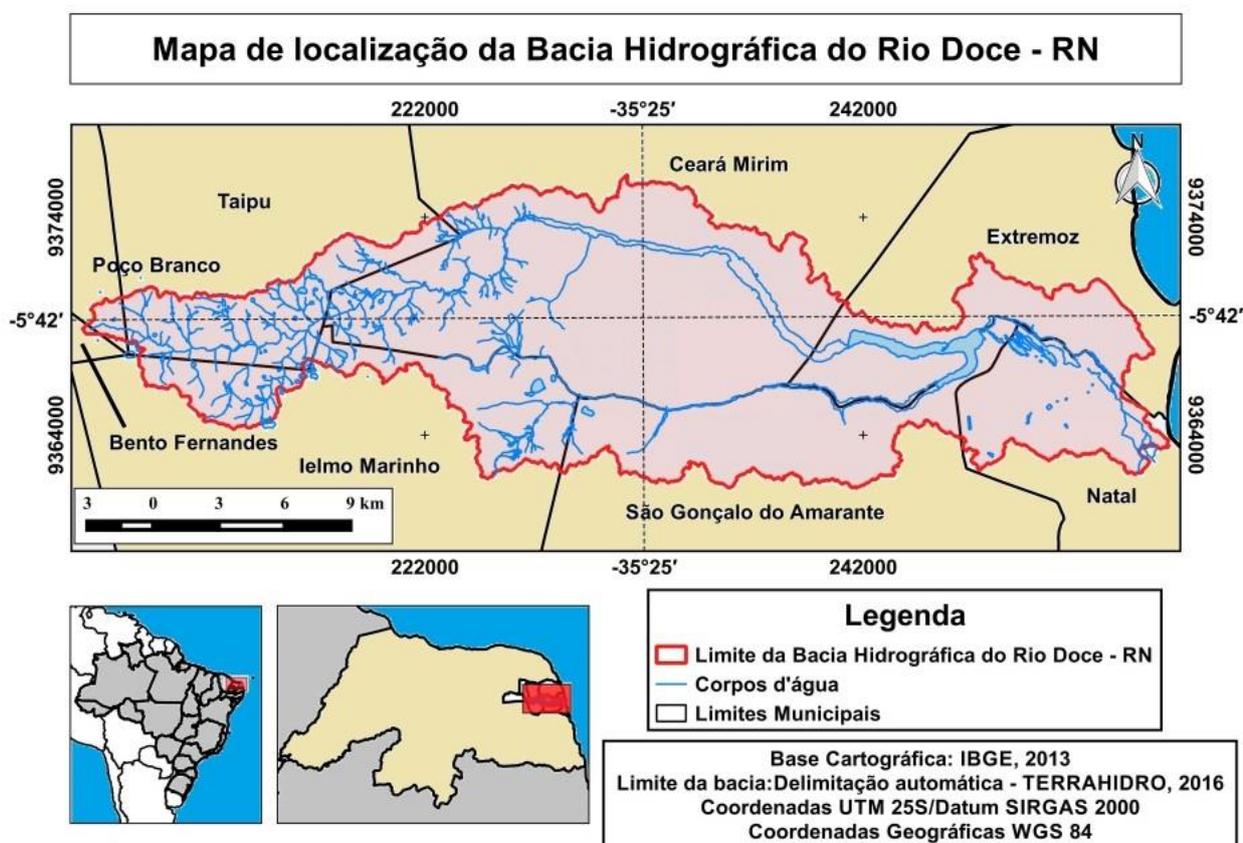
O Rio Doce, que dá nome à bacia, tem origem na Lagoa de Extremoz, e esta, por sua vez, é alimentada pelos rios Guajirú e Mudo, que são os principais tributários da bacia, localizados a montante dessa lagoa.

Os rios Guajiru e Mudo são intermitentes em sua nascente, permanecendo assim até a lagoa

de Extremoz. A partir deste trecho eles se unificam e passam a correr em um rio principal, perene, denominado rio Doce. Segundo Cunha (2004), este corre sobre sedimentos quaternários de dunas e aluviões até a sua desembocadura. É alimentado por olheiros em aproximadamente 14 km de percurso, pois seu leito está em um nível mais baixo que o

soterramento do curso do rio pelo avanço das dunas, o Departamento Nacional de Obras e Saneamento - DNOS canalizou o rio através de dragagens e outras obras superficiais, desviando seu curso para o estuário do rio Potengi, através do Canal de Manimbu (CUNHA, 2004). O autor afirma, ainda, que estudos batimétricos de detalhe, realizados em setembro de 2001, permitiram observar um

Figura 1 - Mapa de localização da Bacia Hidrográfica do Rio Doce – RN



Fonte: Org. dos autores.

nível estático das águas.

A evolução paleogeográfica da bacia foi complexa, por estar ligada ao desenvolvimento do campo de dunas que contornam e desviam sua desembocadura e drenagem normais, formando lagoas alinhadas, que, em determinadas ocasiões, se comunicam entre si. Apesar da falta de dados mais concretos, Cunha (2004) afirma que houve uma migração de alguns quilômetros da sua desembocadura, como resposta à ação eólica existente. No ano de 1965, para evitar o total

paleocanal do rio Doce, comprovado a partir de levantamentos geofísicos através de registros na área de pós-praia da Redinha Nova.

A geologia da bacia é formada por depósitos colúvio-eluviais do Neogeno, com sedimentos arenosos e areno-argilosos esbranquiçados e avermelhados (CPRM, 2007), no baixo e médio curso da bacia (20% da sua área) (FAUSTINO, 2015); por rochas sedimentares inconsolidadas do Paleogeno e Neogeno do Grupo Barreiras (CPRM, 2007), localizadas do baixo ao médio curso da

bacia, totalizando 44% da área (FAUSTINO, 2015) e no alto curso da bacia ocorrem rochas plutônicas do Ediacarano, pertencentes à suíte intrusiva Dona Inêz (CPRM, 2007), ocupando 14% da área da bacia (FAUSTINO, 2015).

A geomorfologia está representada por unidades da Depressão Sertaneja, Tabuleiros, dunas fixas e móveis, Planície Flúvio-Marinha e Planície de Inundação Fluvial (IDEMA, 2005). Os solos são classificados em neossolo quartzarênico, latossolo amarelo distrófico, planossolo solódico, solos indiscriminados de mangue e o argissolo vermelho-amarelo eutrófico (IGARN, 2009).

### ***Materiais***

Os dados TOPODATA da área em estudo foram obtidos junto ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, mais precisamente a partir do Banco de dados geomorfométricos do Brasil construído no projeto TOPODATA (VALERIANO, 2005).

Os processos de delimitação da bacia foram realizados no QGIS Essen 2.14 e no TERRAHIDRO 0.3.9. O primeiro teste foi feito a partir da análise visual comparativa das ottobacias (ANA, 2006), disponíveis em formato vetorial shapefile (shp) no site da Agência Nacional das Águas - ANA (<http://www.ana.gov.br>) com os dados das cartas topográficas digitais da SUDENE, atualizadas pela Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Estado do RN (SEMARH, 2000), também em formato \*.shp, e os dados vetoriais gerados manualmente a partir do TOPODATA (VALERIANO, 2008).

Os segundo e terceiro testes consistiram na delimitação automática da bacia hidrográfica a partir dos softwares TauDEM, SAGA GIS e a plataforma TERRAHIDRO/INPE. Os dois primeiros *softwares* foram inseridos a partir de plug-ins existentes no QGIS Essen 2.14, seguindo metodologia adotada por Martinez (2015) e Santos (2015) e o *plugin* TERRAHIDRO foi trabalhado no TERRAVIEW/INPE.

O TERRAHIDRO é uma plataforma desenhada para facilitar o desenvolvimento de aplicativos na área de recursos hídricos. Integra funções como capturar, representar, armazenar, manipular, recuperar e processar informações físicas e socioambientais relacionadas a elementos de bacias hidrográficas, em ambiente geo-computacional (ROSIM et al., 2003).

### ***Procedimentos Metodológicos***

A primeira fase consistiu na obtenção de dados espaciais referentes à bacia em órgãos públicos e privados, que pudessem dar a noção da sua localização espacial no Estado, e de dados TOPODATA da quadrícula 05S36 referentes à área de estudo. Os dados TOPODATA foram baixados e armazenados em ambiente SIG em coordenadas do sistema UTM 25S, Datum SIRGAS 2000, EPSG: 31985, no formato Geotiff.

Em seguida, foram importados os dados vetoriais referentes às ottobacias de nível 05 (ANA, 2006), as curvas de nível, pontos cotados e hidrografia das cartas topográficas digitalizadas da SUDENE, escala 1:100.000. Foram importados ainda o *plugin openlayers* no SIG QGIS Essen 2.14 que permite a visualização das imagens orbitais da área de estudo no programa computacional Google Earth, além dos pontos georreferenciados de visita a campo para reconhecimento das possíveis áreas limítrofes da bacia do rio Doce.

### ***Análise e delimitação Manual***

A delimitação manual da bacia teve como referência inicial os dados altimétricos com cota 30 metros gerados pelo TOPODATA. Nesta vetorização foi sobreposta uma camada da imagem de satélite fornecida pelo Google Earth a partir do *plugin openlayers*. Para identificar os limites da Bacia utilizou-se a ampliação da elevação vertical em 3 vezes no Google Earth Pro. O resultado foi uma imagem que permitiu auxiliar, interativamente, no traçado dos limites da bacia. Em seguida, utilizou-se o *plugin Qgis2threejs*, que permitiu realizar uma visualização em 3 dimensões do

terreno. O objetivo deste plugin foi a visualização dos limites (topos) da bacia. A hidrografia extraída das cartas topográficas da SUDENE (1983) e os pontos cotados de altimetria, além dos limites das Ottobacias (nível 05) proposta pela ANA (2006), serviram como direcionamento para a vetorização manual, a partir da análise visual dos limites da bacia.

#### ***Delimitação Automática com o software Taudem***

Segundo Tarboton (2015), o software TauDEM (Terrain Analysis Using Digital Elevation Models) constitui um conjunto de ferramentas para a análise do terreno utilizando modelos digitais de elevação. Ele incorpora programas e funções de análise de Modelo Digital de Elevação (MDE) desenvolvidas ao longo de vários anos de pesquisas (CARVALHO, 2007; JESUS, 2009; MIOTO et al., 2014).

A delimitação da bacia do Rio Doce foi realizada em duas etapas. A primeira se deu a partir dos comandos: Pit Remove (preenchimentos de lacunas do MDE); D8 Flow Directions (mapeamento da drenagem); D8 Contributing Area (delimitação da bacia a partir da identificação do exutório); Stream Definition by Threshold (geração de *raster* da rede de drenagem) (SANTOS, 2015)

Na segunda etapa foram utilizados os comandos: Identificação do exutório (plugin *openlayersplugins* no QGIS Wien 2.8); D8 Contributing Area com outlets *shapefile* (Delimitação da bacia do rio Doce); Conversão de *raster* para vetor.

#### ***Delimitação Automática com o software SAGA***

A delimitação da bacia com o SAGA foi executada como relatado a seguir. Inicialmente, escolheu-se a opção Fill Sinks (Wang e Liu, 2006). Segundo Wang e Liu (2006), esta metodologia foi criada para identificar e preencher as depressões da superfície nos Modelos Digitais de Elevação, visando determinar a direção do fluxo e a divisão das microbacias com apenas um comando. O

resultado foram 3 produtos: a) Filled DEM, b) Flow Directions e o c) Watershed Basins. O segundo passo foi a transformação do formato matricial em vetorial. Para tanto, no menu *raster* (matricial) do QGIS Essen 2.14 acessou-se o sub-menu conversão e, em seguida, a opção poligonalizar (*raster* para vetor). O resultado foi a divisão das bacias hidrográficas existentes dentro do recorte espacial analisado.

Após a transformação da imagem *raster* em vetor (do tipo *shapefile*), fez-se a extração da bacia hidrográfica do Rio Doce para comparar o produto vetorial resultante com as demais delimitações realizadas.

#### ***Delimitação Automática com o software TERRAHIDRO***

No TERRAHIDRO, o processo de identificação dos limites da bacia hidrográfica do Rio Doce ocorreu a partir das seguintes etapas: *Flow Extraction* (direção de fluxo), *Contributing Area* (fluxo acumulado), *Drainage Extraction* (extração da rede de drenagem), *Segments* (definiu segmentos de drenagem), *Mini Basins* (delimitou a área de contribuição para cada segmento da rede de drenagem), *Vector Segments* (vetorizou cada segmento da rede de drenagem), *Vector Watersheds* (vetorização de cada bacia da rede de drenagem em formato vetorial), *Outlet Points* (Ponto para delimitação de áreas de contribuição), *Watershed Delineation* (delimitação da BH) e *Vector Watersheds* para vetorização de cada bacia tendo como referência o *outlet point* (ROSIM et al., 2003).

### **RESULTADOS E DISCUSSÕES**

Os resultados obtidos foram analisados sob dois aspectos: em um primeiro momento compararam-se os valores de área e perímetro encontrados nas diferentes delimitações consideradas (Quadro 1). Em um segundo momento compararam-se os resultados das delimitações espaciais ao longo da área da bacia.

Quadro 1 - Área e perímetro da bacia do Rio Doce obtidos em órgão oficial e com diferentes metodologias

Delimitador	Área (km <sup>2</sup> )	Diferença área (%)	Perímetro (km)
Limite SEMARH (mapa)	387,8	-	113,9
Limite Manual	390,1	0,6	131,4
Limite ANA (ottobacia 05)	451,5	16,4	136,2
Limite TauDEM	391,3	0,9	195,4
Limite SAGA	434,1	11,9	152,9
Limite TERRAHIDRO	396,7	2,3	209,8

Fonte: Org. dos autores

Percebe-se que as diferenças percentuais entre as áreas foram pequenas, exceto as observadas nas delimitações realizadas pela ANA e no programa SAGA, cujos valores alcançaram, respectivamente, 16,4% e 11,9% do tamanho do limite oficializado pelo Governo do Estado do Rio Grande do Norte. Estes aumentos

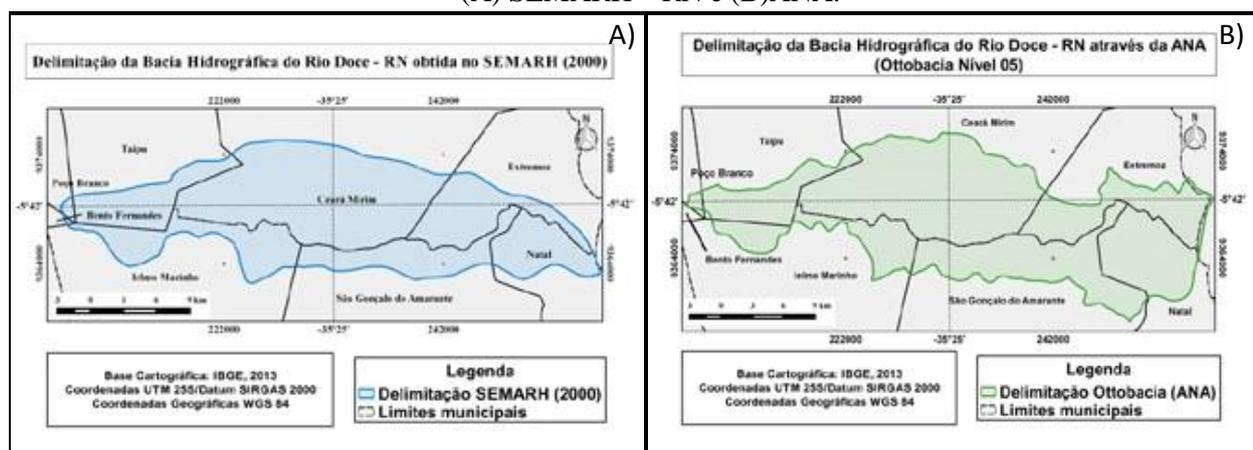
Já em relação ao perímetro da bacia, o SAGA, o TERRAHIDRO e o TauDEM apresentaram os maiores valores, e os resultados finais da delimitação apresentam endentação natural de um dado *raster*. Os perímetros observados nos mapas da SEMARH e da ANA não apresentam endentação observada nas delimitações automáticas (Figura 2 A e B).

Nos limites oficiais da SEMARH e ANA percebe-se uma semelhança na delimitação da bacia

nos valores da área de representação da bacia podem ser ocasionados pela identificação de drenagem em paleocanal, redirecionando sua foz acima do curso atual. Segundo Cunha (2004), o rio foi retificado, canalizado para adequação da infraestrutura urbana instalada no local.

no seu alto curso. A partir do médio curso, em direção à foz, há uma diferença na sinuosidade entre os limites da SEMARH e da ANA. Isto ocorre porque a base cartográfica utilizada pelo órgão estadual foram as cartas topográficas da SUDENE (1983). A delimitação da bacia realizada pela ANA utilizou a hidrografia gerada pelo IBGE (1:1.000.000), compilada do Modelo Digital de Elevação extraída dos dados Shuttle Radar Topography Mission - SRTM (ANA, 2007).

Figura 2: Delimitações realizadas por órgãos públicos Estadual e Federal, respectivamente (A) SEMARH – RN e (B) ANA.

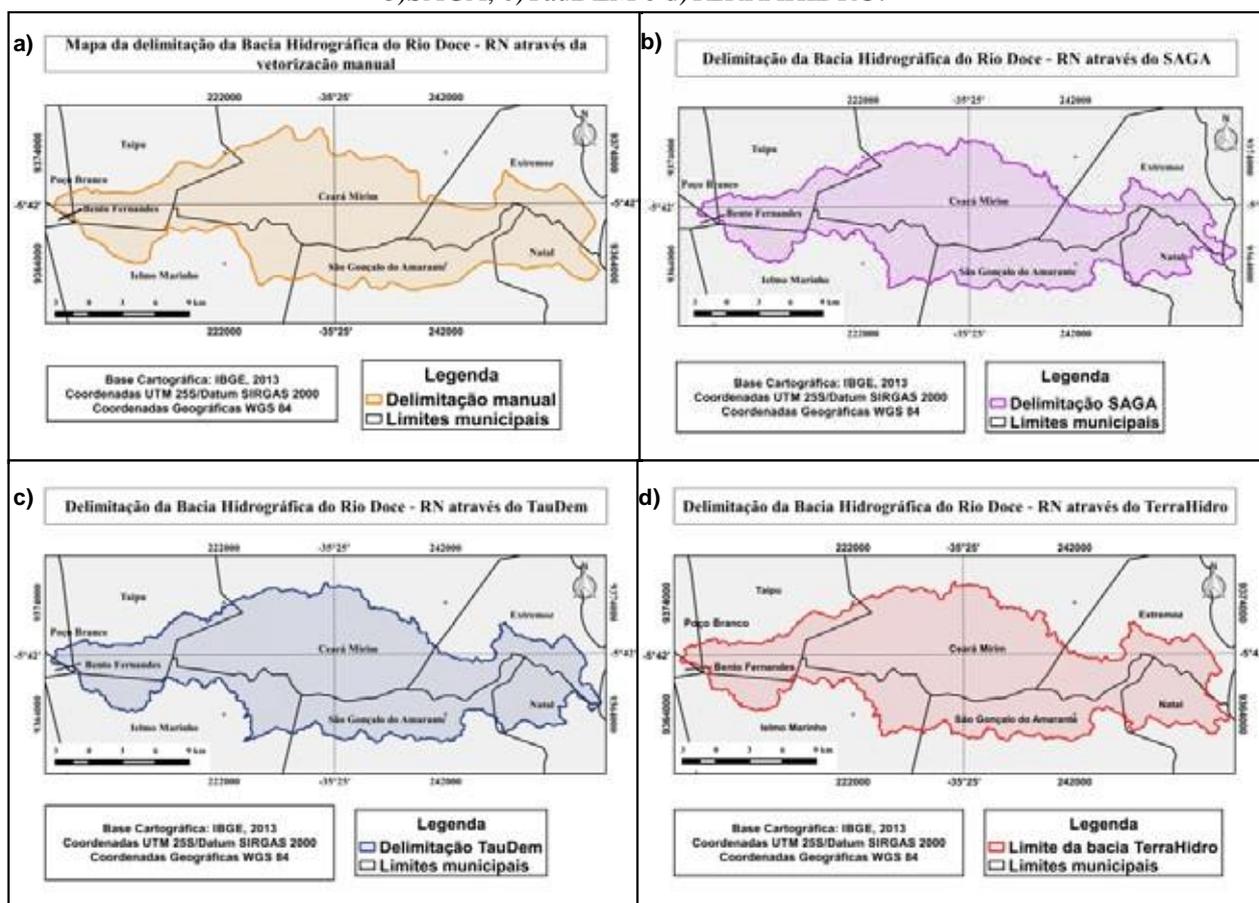


Fonte: Adaptado de SEMARH (2000) e ANA (2007)

No produto da ANA, observa-se que o limite apresenta um contorno com mais detalhes. No entanto, como a vetorização da hidrografia a partir das cartas da SUDENE possui uma escala cartográfica maior (com mais detalhes), a foz do rio ficou melhor delimitada se comparada com a delimitação da ANA, que extrapolou nas porções nordeste e sudeste da bacia.

As delimitações realizadas nos softwares QGIS e TERRAHIDRO apresentaram diferenças e semelhanças entre si e entre as delimitações oficiais da SEMARH e da ANA (Figura 3).

Figura 3: Delimitações manual e automáticas da bacia hidrográfica do Rio Doce – RN: a)Manual, b)SAGA, c)TauDEM e d)TERRAHIDRO.



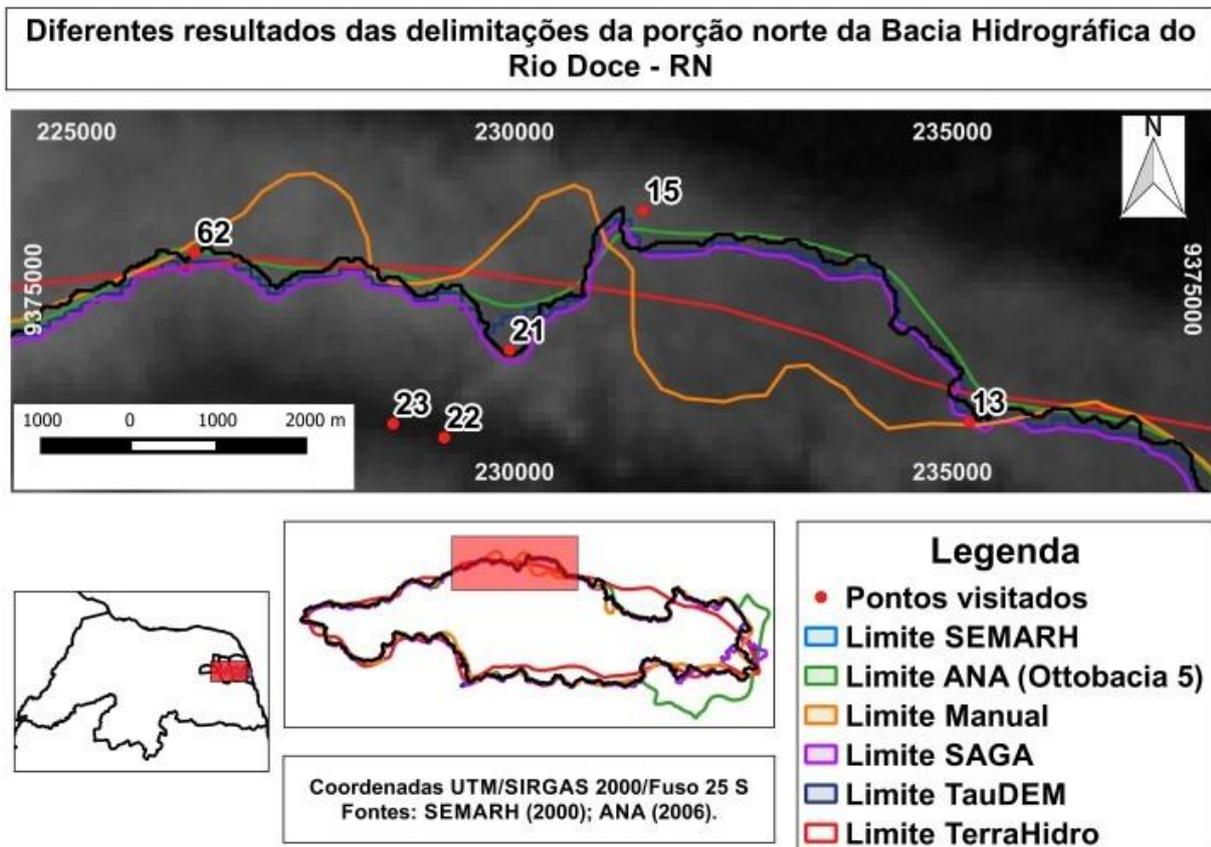
Fonte: Org. dos autores

Os resultados obtidos com a delimitação manual a partir dos dados do MDE/TOPODATA assemelham-se com os obtidos de forma automática em toda extensão da bacia, principalmente na porção oeste. No entanto, observaram-se algumas discrepâncias que serão discutidas a seguir. Assim como na delimitação da SEMARH, a delimitação manual não apresenta a endentação percebida naquelas realizadas de forma automático. Além

disso, houve diferenças na porção centro-norte da bacia, bem como na foz.

São nítidas as diferenças entre os limites da bacia gerados pela SEMARH (2000) e pela ANA (2006) e as demais delimitações. Destaca-se a porção centro-norte da bacia, na qual se insere uma grande área que nos demais métodos não aparece (Figura 4).

Figura 04 - Diferença na porção centro-norte da bacia.



Fonte: Org. dos autores

Essas diferenças poderiam ser justificadas em função da escala utilizada na época da elaboração dos limites (1:100000), bem como pelo tipo de equipamento e materiais utilizados no momento da delimitação da bacia pelos órgãos estadual e federal (SEMARH e ANA, respectivamente); cita-se ainda o efeito do relevo aplainado que, na análise visual, prejudica a interpretação das informações.

Ainda sobre a porção norte da bacia, a delimitação a partir da análise visual também

apresentou diferenças, com uma sinuosidade excessiva quando comparado com as delimitações automáticas.

Para certificar a delimitação mais adequada para a área em estudo, foram realizadas visitas em campo, visando não apenas definir os limites da bacia (pontos 15, 21 e 62), mas também identificar a rede de drenagem (22 e 23) (FIGURA 04).

A etapa de verificação in loco (em campo) foi realizada em alguns pontos dos limites da bacia, da nascente a foz, com destaque para os locais que

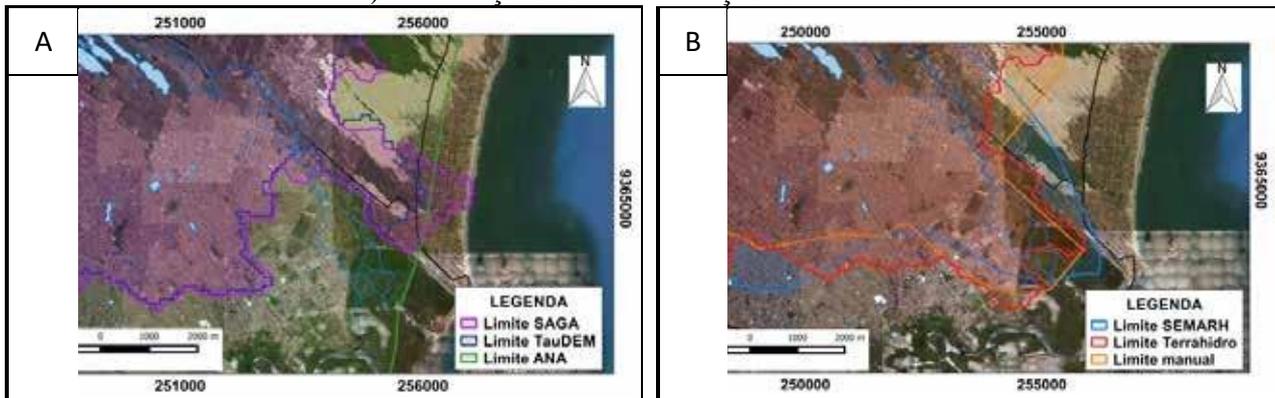
apresentaram maiores discrepâncias entre os limites oficiais utilizados (SEMARH e ANA) e/ou os gerados com o apoio das Geotecnologias (Manual, TauDEM, SAGA e TERRAHIDRO).

Outra diferença perceptível se deu na foz do rio. Os limites gerados com o SAGA e TauDEM identificaram uma foz mais ao norte da atual (FIGURA 05). Dois fatores podem ter ocasionado

diretamente no oceano, como fazia antes de 1963 (CUNHA, 2004).

Na utilização dos procedimentos automáticos de delimitação da bacia, os programas geraram redes drenagem gerada permitiu identificar na sua foz apenas o curso antigo. No caso do TauDEM, que usa o ponto exutório da bacia para delimitação automática, demarcou-se aquele referente à foz

Figura 05 - Diferentes delimitações da foz da bacia. A) Delimitações com erros na identificação da foz. B) Delimitações com identificação correta da foz.



Fonte: Org. dos autores

este problema. O primeiro relaciona-se ao relevo da área de estudo, pois se apresenta aplainado, dificultando a elaboração do Modelo Numérico de Elevação – MDE. Por conseguinte, a identificação dos limites da bacia com pequenas diferenças de declividade fica comprometida. Segundo Oliveira et al (2009) e Brubacher et al (2012), há uma tendência de aumento no deslocamento das drenagens à medida que diminui a declividade nas imagens TOPODATA.

A segunda causa pode ser a identificação de um paleocanal do rio Doce, que teve seu curso retificado pelo avanço das dunas, fazendo-o desaguar no Rio Potengi, a sudeste da bacia e não

extraída dos dados TOPODATA.

No TERRAHIDRO, a rede de drenagem extraída do TOPODATA identificou a foz atual da bacia, permitindo demarcar seu ponto exutório e consequentemente a delimitação mais aproximada do curso atual do rio Doce.

A delimitação manual, a partir da análise visual das imagens do Google Earth permitiu delimitar a foz da bacia atual, se aproximando da delimitação automática realizada na plataforma TERRAHIDRO.

Convém lembrar que o uso de fotos aéreas em escala maiores e/ou imagens de satélite sem e com recursos de estereoscopia permitirão traçar e

representar, com maior exatidão, as informações de relevo, além de informações relativas às características do meio físico, tais como geologia, geomorfologia, solos, além da sua delimitação espacial.

Entende-se, portanto, a necessidade do uso de instrumentos tecnológicos visando diminuir custos para a execução de trabalhos relacionados a uma possível atualização da delimitação das demais bacias hidrográficas do Estado. No entanto, é preciso estar atento para a execução dos comandos necessários voltados à geração de produtos com qualidade e precisão cartográfica compatível com a escala empregada para não falsear os resultados.

## CONCLUSÕES

A delimitação da bacia hidrográfica do Rio Doce apresentou, de uma maneira geral, características semelhantes na área das nascentes do rio para todas as formas de delimitação. No entanto, a partir da porção central da bacia, observaram-se diferenças entre as delimitações automáticas e visual, principalmente nas porções centro-norte e leste da bacia. Essas áreas apresentam um relevo aplainado, dificultando a identificação da rede de drenagem de primeira ordem, e a identificação das cumeeiras e quebras de relevo, na escala dos dados empregados, gerando, por conseguinte, diferentes perímetros e áreas da bacia pelas metodologias utilizadas.

A mudança do traçado do rio Doce, que antes de 1963 desaguava no oceano Atlântico, na praia da Redinha, gerou um novo percurso para a drenagem, que hoje deságua no estuário do rio Potengi. A plataforma TERRAHIDRO, a análise visual e a produzida pela SEMARH, conseguiram representar a bacia pela foz atual. Já os programas

TauDEM e SAGA representaram a foz do rio desaguando diretamente no Oceano Atlântico. A delimitação do SAGA foi a que mais extrapolou os limites, já que avançou para o oceano, caracterizando, assim, como a menos adequada para este setor.

Uma análise comparativa entre as metodologias empregadas na delimitação da bacia hidrográfica do rio Doce/RN permitiu observar que as delimitações automáticas, em comparação com a delimitação manual, apresentaram os resultados mais condizentes com a escala de análise utilizada neste artigo. Entre as delimitações automáticas, a diferença entre o TauDEM, o TERRAHIDRO e o SAGA está na forma de execução, pois os 02 primeiros necessitam de mais comandos no software, enquanto que o SAGA realiza a mesma ação com apenas 02 (dois) comandos.

No entanto, para execução automática, a delimitação do TERRAHIDRO apresentou o melhor resultado, pois nela a rede de drenagem gerada pelo programa seguiu o curso do rio para a foz atual, contribuindo assim para a determinação dos limites da bacia.

A delimitação por análise visual apresentou como qualidade a suavidade das linhas usadas, bem como uma melhor localização da foz do rio.

Diante dos resultados obtidos, verifica-se que, para a bacia Hidrográfica do Rio Doce, a melhor delimitação foi obtida na plataforma TERRAHIDRO, pois esta apresentou as melhores respostas para a sua delimitação na escala de análise executada em toda a bacia.

No entanto, considera-se importante a análise visual baseada em fotointerpretação, acompanhada de um bom embasamento teórico e sempre a realização de visitas a campo, como nesse

estudo, para comprovar a veracidade dos resultados obtidos.

Importante destacar que as características dos dados empregados não possibilitam uma delimitação mais refinada em termos de escala cartográfica. Contudo, os resultados demonstram que é possível redefinir os limites de bacias hidrográficas com os dados, as ferramentas e os procedimentos empregados como forma de, rapidamente, se fazer uma atualização dos limites de bacias estaduais e federais.

## REFERÊNCIAS

- ANA – Agência Nacional de Águas. *Topologia hídrica: método de construção e modelagem da base hidrográfica para suporte à gestão de recursos hídricos: versão 1.11.* / Agência Nacional de Águas, Superintendência de Gestão da Informação. Brasília: ANA, SGI, 2006. Disponível em: <<http://http://www.ana.gov.br>>. Acesso em: 20 fev. 2016.
- ARANHA, C.F.; FERREIRA, N.C. Mapeamento geomorfológico da bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite – GO, utilizando software livre. XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. *Anais...Bento Gonçalves – RS*, nov. 2013.
- BOTELHO, R. G. M.; DA SILVA, A. S. Bacia hidrográfica e qualidade ambiental. In: VITTE, A. C.; GUERRA, A. J. T. *Reflexões sobre a geografia física no Brasil*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2004.
- BRASIL. *Constituição da República Federativa do Brasil*. Brasília, DF: Senado Federal: Centro Gráfico, 1988.
- BRASIL. *Lei Federal nº 9.433, de 08 de janeiro de 1997*. Diário Oficial da União. Brasília, Imprensa Oficial, 09 de janeiro de 1997.
- BRASIL. Agência Nacional de Águas – ANA. *Manual de construção da base hidrográfica Ottocodificada: fase 1 – construção da base topológica de hidrografia e ottobacias conforme a codificação de bacias hidrográficas de Otto Pfafstetter: versão 2.0 de 1/11/2007*. Brasília: ANA, SGI, 2007.
- BRUBACHER, J.P.; OLIVEIRA, G.G.; GUASSELLI, L.A.; LUERCE, T.D. Avaliação de bases SRTM para extração de variáveis morfométricas e de drenagem. *Geociências*, São Paulo, UNESP, v.31, n.3, pp. 381-393, 2012.
- CAMARGO, F.F.; FLORENZANO, T.G.; ALMEIDA, C.M.; OLIVEIRA, C.G. Mapeamento geomorfológico com imagens estereoscópicas digitais do sensor ASTER/Terra. *Geociências*, UNESP, São Paulo, v.30, n.1, pp.95-104, 2011.
- CARVALHO, P.R.S. *Análise comparativa de métodos para delimitação automática das sub-bacias do alto curso do rio Preto*. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós Graduação em Gestão Ambiental e Territorial, UNB. Brasília, 2007.
- COELHO, E.F.; SANTOS, A.R.; SANQUETTA, A.L.L.; SANT’ANNA, L.F. Identificação e quantificação das áreas em conflito com a legislação ambiental brasileira para Alegre, Espírito Santo, ES, Brasil. *Revista Geográfica Venezuelana*, v.54, pp.31-45, 2013.
- COLLIS, R.T.H. Lidar. *Applied optics*, v.9, n.8, pp. 1782-1788, 1970.
- COSTA, C.A.G.; COSTA, A.C.; TEIXEIRA, A.S.; ALVES, N.N.L.; ANDRADE, E.M.; SOUZA,

- B.F.S.; LEÃO, A.O. Comparação do uso do SRTM para delimitação e caracterização fisiográfica de uma micro-bacia hidrográfica. XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. *Anais...*, Florianópolis – SC, pp.4833-4840, 2007.
- CPRM. Serviço Geológico do Brasil. *Geologia e recursos minerais do Estado do Rio Grande do Norte* - Escala 1:500.000. Recife, CPRM - Serviço Geológico do Brasil, 2007.
- CUNHA, E.M.S. *Evolução atual do litoral de Natal – RN (Brasil) e suas aplicações a gestão integrada*. Tese (Doutorado). Programa de Doctorado de Ciencias del Mar. Departament d'Ecologia e Departament d'Estratigrafia i Paleontologia. Universitat de Barcelona. Barcelona, 2004.
- EUGENIO, F.C.; SANTOS, A.R.; LOUZADA, F.L.R.O.; PIMENTEL, L.B.; MOULIN, J.V. Identificação das áreas de preservação permanente no município de Alegre utilizando geotecnologia. *Cerne*, Lavras, v. 17, n. 4, pp. 563-571, out./dez. 2011. DOI: 10.1590/S0104-77602011000400016.
- FALCK, A.S.; MAGGIONI, V.; TOMASELLA, J.; VILA, D.A.; DINIZ, F.L.R. Propagation of satellite precipitation uncertainties through a distributed hydrologic model: a case study in the Tocantins-Araguaia basin in Brazil. *Journal of Hydrology*. n.527, pp.943957, 2015. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2015.05.042
- FAUSTINO, A.B.; SILVA, S.M.P. Caracterização geomorfológica da bacia hidrográfica do rio Doce (RN), utilizando dados TOPODATA e recursos de geoprocessamento. XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR. *Anais...*, João Pessoa, PB, pp. 7493-7500, 2015.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Sobre base territorial*, 2015. Disponível em: <<http://saladeimprensa.ibge.gov.br/sala-de-imprensa-publicacoes/guia-das-atividades-de-geociencias/sobre-base-territorial.html>>. Acesso em: out.2015.
- IDEMA. Instituto de Desenvolvimento Sustentável e Meio Ambiente. Banco de Dados Geográficos. *Geomorfologia - RN*, Escala: 1:100.000, 2005. CDROM. IDEMA. Instituto de Desenvolvimento Sustentável e Meio Ambiente. Banco de Dados Geográficos. Solos - RN, Escala: 1:100.000, 2012. CDROM
- IGARN. Instituto de Gestão das Águas do RN. Sistema hidrográfico do estado, divisão de bacias hidrográficas. *Bacia Doce*, 2009. Disponível em: <<http://adcon.rn.gov.br/ACERVO/IGARN/DOC/DOC000000000029746.HTML>>. Acesso em: 10 mar. 2016.
- JERONYMO, C. A. L.; SILVA, J. A. F.; FONSECA, K. T. Uso de geotecnologias na resolução do conflito territorial dos limites geográficos da APA do Sana-Macaé-RJ. *Seminário Regional Sobre Gestão de Recursos Hídricos*, n. 3, 2013.
- JESUS, N. *Avaliação do modelo digital de elevação ASTER para análise morfométrica de bacias hidrográficas*. Tese (Doutorado) Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP. Campinas - SP, 2009.
- LEAL, P.R.G. *Controle de qualidade em Cartografia: proposta metodológica para avaliação das cartas topográficas do mapeamento sistemático nacional*. Dissertação (Mestrado) Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC. Programa de

- pos-graduação em Engenharia Civil – PPGEC. Florianópolis – SC, 2007.
- LILLESAND, T. Satellite remote sensing: its evolution and synergism with GIS Technology. *Government Information Quarterly*, v.3, n.3, pp.307-327, 1990. DOI: 10.1016/0740-624X(90)90027-L.
- MARANHÃO. Instituto Maranhense de Estudos Socioeconômicos e Cartográficos - IMESC. *Redefinição dos limites e divisas dos municípios do Estado do Maranhão*. São Luís - MA: Instituto Maranhense de Estudos Socioeconômicos e Cartográficos - IMESC, 2011. Disponível em: [http://www.imesc.ma.gov.br/temp/docs/Relatorio\\_Identificacao\\_Territorial.pdf](http://www.imesc.ma.gov.br/temp/docs/Relatorio_Identificacao_Territorial.pdf)>. Acesso em jan. 2016.
- MARINHO FILHO, G.M. *Avaliação do potencial natural de erosão na bacia hidrográfica do rio Formoso através da aplicação da equação universal de perda do solo*. Dissertação (Mestrado) Universidade Federal do Tocantins. Mestrado Profissional em Engenharia Ambiental. Palmas – TO, 2014.
- MARK, D.M. Relations between field-surveyed channel networks and map-based geomorphometric measures, Inez, Kentucky. *Annals of the Association of American Geographers*, n.73, v.3, pp.358-372, 1983.
- MARTINEZ, H. *Delimitação de bacias e extração de rede de drenagem no SAGA GIS*, 2015. Disponível em: <http://www.processamentodigital.com.br/2015/09/21/qgis28-delimitacao-de-bacias-no-saga>>. Acesso em: jul. 2015.
- MARTZ, L.W.; GARBRECHT, J. Numerical definition of drainage network and subcatchment areas from digital elevation models. *Computers & Geosciences*, v.18, n.6, pp. 747-761, 1992. DOI: 10.1016/0098-3004(92)90007-E.
- MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE – MMA. *Cadastro Ambiental Rural: conceito, experiências e desafios no contexto das políticas de regularização ambiental*. Brasília, 2012.
- MIOTO, C.L.; RIBEIRO, V.O.; SOUZA, D.M.Q.; PEREIRA, T.V.; ANACHE, J.A.A.; PARANHOS FILHO, A.C. Morfometria de bacias hidrográficas através de SIGs livres e gratuitos. *Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ*, v.37, n.2, pp.16-22, 2014. DOI: 10.11137/2014\_2\_16\_22.
- OLIVEIRA, G. G.; GUASSELLI, L.A.; SALDANHA, D.L. Avaliação da qualidade da drenagem extraída a partir de dados SRTM. In: XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Campo Grande, MS. *Anais...*, 2009, p. 1-17.
- PINHEIRO, P.F.V. *A cartografia e o geoprocessamento como instrumento de análise das propostas de redefinição dos limites territoriais da Floresta Nacional do Jamanxim - Estado do Pará*. Dissertação (Mestrado) Universidade Federal do Pará. Programa de Pós-Graduação em Geografia. Belém, PA, 2011.
- PONTES, L.M.V.; ALBUQUERQUE, E.L.S.; MEDEIROS, C.N. *A questão dos limites municipais do estado do Ceará*. Fortaleza - CE, 2012. Disponível em: <http://www.ipece.ce.gov.br/publicacoes/>
- QUESTAO\_LIMITES\_MUNICIPAIS\_ CEARA. pdf>. Acesso em: 26 fev. 2016.
- QGIS Development Team, 2015. *QGIS Geographic Information System: Open Source Geospatial Foundation Project*. Disponível em: <http://qgis.osgeo.org>>. Acesso em: 10 dez. 2015.

- RASMUSSEN, E. M., CARPENTER, T. H. The Relationship Between Eastern Equatorial Pacific Sea Surface Temperatures and Rainfall over India and Sri Lanka. *Mon. Wea. Rev.*, 111, 517–528, 1983. DOI: 10.1175/1520-0493(1983)111%3C0517: TRBEEP% 3E2.0.CO;2.
- RIBEIRO, C.A.A.S.; SOARES, V.P.; SANTOS, R.M.; SOARES, C.P.B. Estruturação topológica de grandes bases de dados de bacias hidrográficas. *Revista Árvore*, Viçosa – MG, v.32, n.4, pp.687-696. DOI: 10.1590/ S0100-67622008000400010.
- ROSIM, S.; MONTEIRO, A.M.V; RENNÓ, C.D.; SOUZA, R.C.M.de; SOARES, J.V. TERRAHIDRO - Uma plataforma computacional para o desenvolvimento de aplicativos para a análise integrada de recursos hídricos. *Anais XI SBSR*. Belo Horizonte, Brasil, 05 - 10 abril 2003, INPE, pp. 2589 - 2596.
- ROSIM, S. LIMA, S.F.S.; MORAES, E.C.; JARDIM, A.C.; OLIVEIRA, J.R.F. Aplicação do TERRAHIDRO para delimitação automática de drenagem e limite das sub-bacias do rio Miranda. IV Simpósio de Geotecnologias no Pantanal. *Anais...*, Bonito – MS, pp.405-412, 2012.
- SANTOS, J. *Delimitação de bacias hidrográficas com TauDEM*, 2015. Disponível em: <<http://www.processamentodigital.com.br/2015/04/10/qgis28-delimitacao-de-bacias-hidrograficas-com-taudem/>>. Acesso em jul. 2015.
- SANTOS, L.B.L.; LINHARES, C.A. ArcGis, IDL-HAND e TERRAHIDRO: avaliando eficácia e eficiência na delimitação de bacias hidrográficas usando diferentes fontes de dados altimétricos. Congresso brasileiro sobre desastres naturais. *Anais...*, Rio Claro – SP, pp. 1-10, 2012.
- SCHMITT, A; MOREIRA, C.R. Manejo e gestão de bacia hidrográfica utilizando o software gratuito Quantum – GIS. *Revista Cultivando o saber*. Edição especial, pp. 125 – 137, 2015.
- SECRETARIA DE MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS – SEMARH/RN. *Bacia do Rio Doce*, 2000. Disponível em: <<http://servicos.semarh.rn.gov.br/semarh/sistemadeinformacoes/consulta/cBaciaDetalhe.asp?CodigoEstadual=07>>. Acesso em: abr. 2015.
- SEYLER, F.; MULLER, F.; COCHONNEAU, G.; GUIMARÃES, L.; GUYOT, J.L. Watershed delineation for the Amazon sub-basin system using GTOPO30 DEM and a drainage network extracted from JERS SAR images. *Hydrological processes*, n.23, pp.3173-3185, 2009. DOI: 10.1002/hyp.7397.
- SILVA, A. M. *Princípios básicos de hidrologia*. Departamento de Engenharia. UFLA, Lavras-MG. 1995.
- SILVA, J. S. V.; ABDON, M. M. Delimitação do Pantanal brasileiro e suas sub-regiões. *Pesquisa Agropecuária brasileira*. Brasília, v.33, n. especial, pp. 1703-1711, 1998.
- SUDENE. *João Câmara*. 62 x 74 cm. Folha SB.25-V-C-IV. Escala 1:100.000. Rio de Janeiro: Cruzeiro do Sul S.A., 1983.
- SUDENE. *Natal*. 62 x 74 cm. Folha SB.25-V-C-V. Escala 1:100.000. Rio de Janeiro: Cruzeiro do Sul S.A., 1983.
- TARBOTON, D. *Terrain Analysis using digital elevation models - TAUDem*. Disponível em: <<http://hydrology.usu.edu/taudem/taudem3.1/>>. Acesso em: jun. 2015.

VALERIANO, M. M. Modelo digital de variáveis morfométricas com dados SRTM para o território nacional: o projeto TOPODATA. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 13, 2005, Goiânia, GO. *Anais...* Goiânia, 2005, pp. 1-8.

VALERIANO, M. M. *TOPODATA* - banco de dados geomorfométricos locais do Brasil. 2008. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/topodata/data/grd/>. Acesso em: fev. 2016.

VON SPERLING, M. V. *Estudos e modelagem da qualidade da água de rios*. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, UFMG. 2007.

ZHANG, J.; CHU, X. Impact of DEM resolution on puddle characterization: comparison of different surfaces and methods. *Water*, v.7, pp.2293-2313, 2015. DOI: 10.3390/w7052293.

WANG, L.; LIU, H. An efficient method for identifying and filling surface depressions in digital elevation models for hydrologic analysis and modelling. *International Journal of Geographical Information Science*, v. 20, n. 2, pp.193-213, 2006. DOI: 10.1080/13658810500433453.

## **CAPÍTULO 2**

### **GEOPROCESSAMENTO APLICADO A CARACTERIZAÇÃO GEOAMBIENTAL DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO DOCE – RN/BRASIL**

Artigo submetido à Revista Boletim Paranaense de Geociências.

Qualis B1 em Ciências Ambientais.

ISSN: 0067-964X

# **GEOPROCESSAMENTO APLICADO A CARACTERIZAÇÃO GEOAMBIENTAL DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO DOCE – RN/BRASIL**

## **GEOPROCESSING APPLIED TO GEOENVIRONMENTAL CHARACTERIZATION OF RIO DOCE BASIN-RN/BRAZIL**

### **RESUMO**

O presente artigo teve como objetivo a caracterização geoambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Doce (RN). Foi realizado o levantamento de dados primários e secundários para implementação de um Banco de Dados Geográficos (BDG) no Sistema de Informações Geográficas (SIG) QGIS Essen 2.14.10. Os usos da terra na bacia, extraídos a partir da análise visual das imagens orbitais disponibilizadas pelo Google Earth, pelo plugin Quickmapservices no SIG QGIS Essen 2.14, tem relação direta com as características do meio físico, pois, as áreas predominantes de pastagem e cultivo intermitente se dão em áreas de clima mais seco, enquanto cultivos permanentes, cana de açúcar e hortaliças predominam em áreas de clima mais úmido, com maior abundância de água e com maiores concentrações populacionais. Como resultado, observou-se que as áreas antrópicas não agrícolas representam 41,47% da bacia, as áreas agrícolas 27,07%, os corpos d'água 2,32% e as áreas de vegetação natural 27,82% e usos não identificados 1,33%. Comprovam uma maior degradação ambiental na porção centro-leste da bacia, decorrente do uso e ocupação desordenada da bacia.

Palavras-chave: Geotecnologias, meio físico, uso e ocupação da terra.

### **ABSTRACT**

The present article had as objective the characterization geoenvironmental Rio Doce Basin (RN). The primary and secondary data collection for implementing a Geographic Database (BDG) Geographic Information System (GIS) QGIS Essen 2.14.10. The land use in the basin was extracted from the visual analysis of orbital images provided by Google Earth, by Quickmapservices plugin in the GIS QGIS Essen 2.14. It has a direct relation with the characteristics of the physical environment, because the predominant areas of pasture and cultivation areas of intermittent get drier climate. While permanent crops, sugar cane and vegetables predominate in wetter climate areas, with greater abundance of water and higher concentrations. As a result, it was observed that anthropogenic areas represent non-agricultural 41.47% of the basin, 27.07% agricultural areas, 2.32% water bodies, natural vegetation areas 27.82%, and 1.33% unidentified uses. Prove a greater environmental degradation in the East-Central portion of the basin, caused by the use and disorderly basin occupation.

Keywords: Geotechnology, physical environment, land use and occupation.

## **1 INTRODUÇÃO**

A bacia hidrográfica caracteriza-se por uma área drenada por um rio ou sistema fluvial, formado por um conjunto de canais inter-relacionados (Christofolletti, 1998). Segundo Brigante e Espíndola (2003), é o resultado da interação entre a água e outros fatores naturais como a geologia, a geomorfologia, a vegetação e o clima. O homem assume um papel

importante quando da ocupação dessas áreas, pois, ao longo do tempo, tem propiciado uma acelerada degradação ambiental, do que propriamente o seu uso sustentável.

Robaina (2008) ratifica essa questão ao afirmar que, no Brasil, o crescimento desordenado das cidades, controlado pelos interesses privados e especulativos, é considerado um dos principais condicionantes para a degradação ambiental, ocasionando, por conseguinte, os principais desastres naturais e áreas de risco existentes na atualidade. Ross e Del Prette (1998) afirmam que isso ocorre devido ao desenvolvimento econômico brasileiro nas últimas décadas, que gerou o crescimento econômico e tecnológico no país, mas intensificou os processos de degradação ambiental em áreas urbanas e rurais.

Nesse sentido, o planejamento e o gerenciamento de bacias hidrográficas assumem um papel importante, pois integram, além das informações do meio físico, aquelas relativas ao meio antrópico, principalmente no tocante ao uso e ocupação do solo e os dados socioeconômicos. De acordo com Pires e Santos (1995), se faz necessário a integração dos aspectos ambientais, sociais, econômicos, políticos e culturais, dando ênfase aos primeiros, já que há um limite da capacidade do meio em suportar o uso e ocupação.

A caracterização do meio físico torna-se, portanto, um importante instrumento para a realização de um diagnóstico ambiental que vise o planejamento, a gestão e o monitoramento ambiental, focados no ordenamento territorial pretendido, permitindo, desse modo, o uso da terra de modo sustentável.

Dentre as características do meio físico, a geologia, a geomorfologia, a pedologia, o clima e a vegetação são considerados, no meio científico, os mais utilizados para se retratar a paisagem local. A paisagem (natural), neste sentido, considera-se o resultado da dialética entre as forças endógenas e exógenas da Terra (Vitte, 2007).

Na literatura, nota-se a importância da caracterização ambiental de bacias hidrográficas como um instrumento de apoio ao planejamento urbano e ordenamento territorial. Teixeira et al. (2012) caracterizaram os aspectos ambientais, sociais, econômicos e a dinâmica de uso da terra da Bacia Hidrográfica do Rio Gongogi na Bahia, visando contribuir para o planejamento e gestão dos seus recursos naturais. Para tanto, obtiveram dados digitais na Superintendência de Estudos Sociais e Econômicos da Bahia (SEI) e no Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

Esquerdo et al. (2014) realizaram a caracterização de aspectos físicos e socioeconômicos da bacia hidrográfica do rio Iguatemi, MS, na perspectiva de contribuir com informações que pudessem subsidiar o sistema de gestão ambiental do estado e da região da bacia. Os dados foram apresentados em forma de mapas e tabelas, e, como resultado, destacou-se o elevado grau de antropização da bacia, com áreas predominantemente ocupadas por pastagens.

Reis et al. (2015) caracterizaram o meio físico da Microbacia do Arroio Schmidt, identificando elementos como o uso do solo, pedologia, geologia, climatologia, extensão e localização, a fim de instrumentalizar uma ferramenta auxiliar de gestão ambiental integrada de bacias hidrográficas. Para a realização deste trabalho, os autores utilizaram as ferramentas do geoprocessamento para a obtenção de mapas temáticos, além de visitas a campo, revisão bibliográfica e dados secundários.

O Forest Management Bureau - FMB (2016), localizado nas Filipinas, elaborou um manual para caracterização e análise da vulnerabilidade de bacias hidrográficas usando Sistemas de Informação Geográfica e Sensoriamento Remoto, com o objetivo de caracterizar os componentes essenciais de bacias hidrográficas, relativos aos aspectos biofísicos como clima, geologia e vegetação, bem como de variáveis socioeconômicas, tais como renda, saúde e educação.

Essa caracterização, para o Forest Management Bureau - FMB (2016), permite aos gestores a base para a tomada de decisões, para o desenvolvimento e estratégias de conservação a ser implementado nesse recorte espacial. Afirma ainda que, com o advento de

tecnologias como o Sistema de Informação Geográfica (SIG) e o Sensoriamento Remoto (SR), a preparação destas análises se dá de maneira mais fácil e precisa.

É importante destacar, a partir dos exemplos anteriores, que a caracterização do meio físico e antrópico busca auxiliar na execução de projetos que visem minimizar impactos ambientais negativos e potencializar os positivos, contribuindo para a instrumentalização de planejamentos e gerenciamentos ambientais.

Ab'Saber (1969), ao tratar sobre a fisiologia da paisagem, cujo objetivo é “entender os processos morfoclimáticos e pedogênicos atuais”, afirma que pequenas variações da paisagem podem ser determinadas por ações antrópicas predatórias, causando mudanças, em alguns casos irreversíveis, no “metabolismo” primário do meio natural. Essa alteração do metabolismo ocasionado pela ação humana se dá pela anulação dos processos morfodinâmicos, como a impermeabilização de superfícies e a implementação de cultivos que ocasionam desmatamentos.

Neste sentido, a incorporação dos dados do meio antrópico, geralmente em escala cartográfica maior que os dados do meio físico, disponível em órgãos públicos como o IBGE, se tornam importantes para se entender a dinâmica de uso e ocupação da terra.

A bacia hidrográfica do Rio Doce - BHRD encontra-se, nesse cenário, como um importante recorte geográfico a ser trabalhado. Localizado na porção leste do Estado do Rio Grande do Norte, a bacia vem passando por transformações que estão mudando a paisagem local, principalmente pelo processo de uso e ocupação desordenada por parte da população urbana e rural. Os resultados são impactos ambientais negativos, apresentados por diversos autores, tais como Castro (2000), Azevedo (2006), Soares (2006), Barbosa et al. (2010), Moura (2010), Jerônimo e Souza (2013), Faustino et al. (2014).

A falta de dados e informações geoespaciais motivou a realização deste trabalho, buscando atualizar e/ou ampliar o nível de representação de alguns temas como vegetação, rede de drenagem e altimetria, para atender à uma demanda do mapeamento temático e caracterização geoambiental em escala cartográfica média, a partir de imagens orbitais disponibilizadas pelo Google Earth, com resolução espacial variando entre 1 metro e 0,61 cm.

Assim, neste trabalho, buscou-se essa caracterização ambiental da BHRD, de modo a subsidiar novas análises ambientais e auxílio na tomada de decisões em projetos de intervenção, conservação e mediação de conflitos, além de contribuir para o planejamento, gerenciamento ambiental e o ordenamento territorial da bacia.

## **2. MATERIAIS E MÉTODOS**

### **2.1 Localização**

A bacia hidrográfica do Rio Doce, com uma área de 396,7 Km<sup>2</sup>, é uma das mais importantes da Região Metropolitana de Natal (Costa et al., 2016). Localizada na porção leste do Estado do Rio Grande do Norte, tem na Lagoa de Extremoz, a principal fonte de abastecimento d'água para a Zona Norte do Município de Natal, RN, bem como outros municípios circunvizinhos. Está inserida em parte de 8 (oito) municípios (Ceará-Mirim, Extremoz, Natal, Ielmo Marinho, São Gonçalo do Amarante, Taipu e Poço Branco e Bento Fernandes), onde atuam diversos atores sociais como produtores rurais, empresários e sociedade civil em geral (FIGURA 01).

A maior porção da bacia está inserida no município de Ceará – Mirim, representando 40,77% de todo território. Bento Fernandes é o município que possui a menor extensão territorial, localizado no extremo oeste da bacia, com apenas 0,05%, ou o equivalente a 0,18 km<sup>2</sup>.

O município de Natal, apesar de não ser o de maior extensão territorial na bacia, com 11,87% (38,90 km<sup>2</sup>), é o que apresenta a maior área urbana, seguida dos municípios de São Gonçalo do Amarante (32,40 km<sup>2</sup>), Extremoz (2,59 km<sup>2</sup>) e Ceará – Mirim (2,19 km<sup>2</sup>). Os

demais municípios são eminentemente rurais, com algumas agrovilas ligadas a assentamentos rurais, distritos, povoados e sítios.

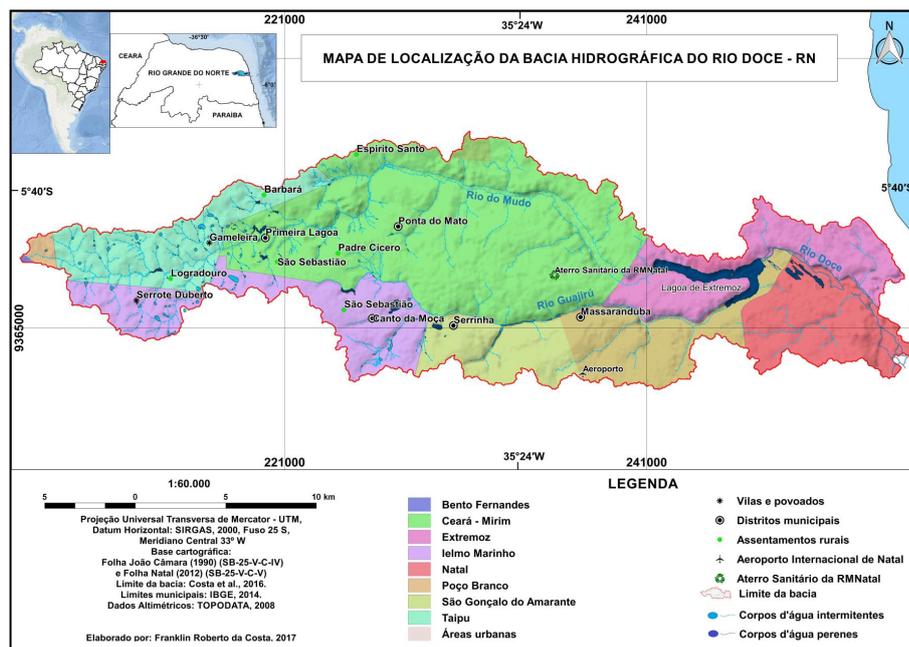


FIGURA 01: Mapa de localização da Bacia Hidrográfica do Rio Doce – RN

## 2.2 Seleção, obtenção e organização dos dados

A caracterização do meio físico e do uso e ocupação da terra foram realizados a partir dos levantamentos cartográficos e bibliográficos referentes aos temas geologia, geomorfologia, solos, clima, hidrografia, vegetação (meio físico). Os mapas foram gerados na escala 1:100.000 e tiveram como referência os dados obtidos em órgãos públicos municipais, estaduais e federais, e a extração de informações em imagens orbitais visualizados pelo plugin quickmapservices, na plataforma do SIG QGIS Essen 2.14, em que foi possível extrair, a partir da interpretação visual, as informações da plataforma Google Earth. O uso de imagens fornecidas pelo Google Earth para classificação do uso e cobertura da terra tem apresentado resultados satisfatórios como principal produto (Ayach et al., 2012; Cardoso; Aquino, 2014), ou como comprovação de análise (Rosa; Sano, 2014). O QUADRO 01 sintetiza as principais informações de cada tipo de dado empregado no estudo.

QUADRO 01: Dados obtidos por órgão, escala e ano de publicação para a pesquisa.

Produto	Órgão	Escala	Ano Publicação
Cartas topográficas	SUDENE	1:100.000	1982
TOPODATA	INPE	1:50.000	2008
Geologia (Folha Natal)	CPRM	1:100.000	2012
Geologia (João Câmara)	CPRM	1:100.000	1990
Geomorfologia (Folha Natal)	CPRM	1:100.000	2012
Geomorfologia (João Câmara)	CPRM	1:100.000	1990
Pedologia	IBGE	1:250.000	2015
Clima	EMPARN	1:50.000	1997 – 2016
Vegetação	IBGE	1:250.000	2014
Hidrografia	Autor, SUDENE, TOPODATA/INPE	1:50.000	2017
Uso e ocupação da terra*	Autor	1:50.000	2017

\* Dados extraídos por interpretação visual de imagens aéreas e orbitais, realizadas em ambiente SIG.

Os dados obtidos em formato *shapefile* (.shp\*) foram reprojatados para o Sistema de Coordenadas UTM, Datum horizontal SIRGAS 2000, Fuso 25 Sul para compor o BDG do SIG QGIS 2.14.18. Nesse ambiente SIG, analisou-se os temas, sobrepondo-os a imagens orbitais disponíveis no *pluginquickmapservices*.

O objetivo foi realizar uma reinterpretação dos polígonos para as variáveis de cada tema, detalhando e atualizando, na medida do possível, alguns deles, como os de vegetação, do uso e ocupação, da rede de drenagem. Além disso, foram readaptados para uma escala maior, tendo em vista a possibilidade de observação espacial com maiores detalhes nas imagens com maior resolução espacial.

### 3 O MEIO FÍSICO DA BHRD

#### 3.1 Geologia

O arcabouço estrutural da Bacia Hidrográfica do Rio Doce, RN é formado, majoritariamente, pelas Bacias Sedimentares Mesozóicas, classificadas como Bacia Potiguar/coberturas cenozoicas - BP. Já a oeste da bacia, tem-se o Domínio São José de Campestre (DSJ), formado pelos Complexos Paleoproterozóicos e uma pequena faixa formada pelo Magmatismo Brasileiro, tendo como referência o Taipu (ANGELIM et al, 2006).

Amaral (1990) e Fonseca et al (2012) elaboraram cartas geológicas das folhas João Câmara (SB.25-V-C-IV) e Natal (SB.25-V-C-V), na escala 1:100.000, dividindo-as em unidades por era geológica. A partir desses materiais, identificou-se as unidades geológicas pertencentes a BHRD, sendo a maior parte da bacia inserida na Folha Natal SB.25-V-C-V. As principais informações geológicas mapeadas na região estão contidas no QUADRO 02.

QUADRO 02: Unidades Geológicas da Bacia Hidrográfica do Rio Doce - RN

SIGLA DAS UNIDADES	FONTE	NOME DAS UNIDADES GEOLÓGICAS	ÁREA (KM <sup>2</sup> )	PERÍODO
Q2ac	Fonseca et al (2012)	Depósitos aluvionares de canal	27.23	Neogeno
Q12fm	Fonseca et al (2012)	Depósitos flúvio-marinhos	2.7	Neogeno
N23c	Amaral (1990)	Depósitos colúvio-eluviais	8.37	Neogeno
Q2eln	Fonseca et al (2012)	Depósitos eólicos litorâneos não vegetados	1.83	Neogeno
Q2elv	Fonseca et al (2012)	Depósitos eólicos litorâneos vegetados	32.1	Neogeno
PP2jc	Amaral (1990)	Complexo João Câmara	0.06	Riáciano
NP3_gamma_3di	Amaral (1990)	Suíte intrusiva Dona Inês	65.23	Ediacarano
Q2lp	Fonseca et al (2012)	Depósitos litorâneos praias	0	Neogeno
ENb	Amaral (1990)	Grupo Barreiras	22.07	Paleogeno
NP3ss	Amaral (1990)	Formação Seridó	4.42	Ediacarano
Q2ar	Fonseca et al (2012)	Depósitos arenosos e areno-argilosos	154.51	Neogeno
K12a	Amaral (1990)	Formação Açú	2.68	Cretáceo
Q1a	Fonseca et al (2012)	Depósitos aluvionares antigos	8.85	Neogeno
Q1mc	Fonseca et al (2012)	Depósitos Marinheiros e Continentais Antigos	66.61	Neogeno
C_cortado_gamma_q	Amaral (1990)	Dique de quartzo	0.04	Cambriano

Fonte: Adaptado de Amaral (1990) e Fonseca et al (2012).

O objetivo principal deste quadro foi relacionar e analisar os valores em área e percentual territorial em conjunto com outros temas do meio físico e antrópico.

Nesse sentido, de acordo com o QUADRO 02, a BHRD possui 15 unidades geológicas, onde 25,93% (102,87 km<sup>2</sup>) foram obtidas na Folha SB.25-V-C-IV, João Câmara e 74,07% (293,83 km<sup>2</sup>) na Folha SB.25-V-C-V, Natal.

Observa-se que a maior parte da bacia é formada por rochas do período Neógeno, com diferentes tipos de depósitos, em uma área de 302,2 km<sup>2</sup>, sendo os depósitos arenosos e areno-argilosos os mais representativos (154,51 km<sup>2</sup> ou 38,95%) da bacia. Somado as demais unidades geológicas desse período, as formações somam o correspondente a 76,2% de toda a área. A segunda maior formação é do período Ediacarano, representados pela Suíte Dona Inês (65,23 km<sup>2</sup>) e pela Formação Seridó (4,42 km<sup>2</sup>), correspondendo a 17,6% da área da bacia. As demais unidades somam 6,3% da bacia, destacando-se as rochas do período Neógeno/Paleogeno, representado pela Formação Barreiras, com 22,07 km<sup>2</sup>, o que equivale a 5,6% da área da bacia.

Cada uma dessas unidades geológicas assume papel importante para o processo de ocupação sustentável da bacia, pois evoluem para terrenos com diferentes propriedades físico-químicas, permeabilidade, porosidade, solubilidade e liquefação e de capacidade de recarga. Nesse sentido, é possível avaliar o grau de sustentabilidade para cada unidade geológica, tendo como referência a ocupação humana.

### 3.1.1 Espacialização e características das Unidades Geológicas da BHRD

As unidades geológicas da BHRD foram espacializadas no mapa das unidades geológicas e organizadas por período e pela área abrangente, começando das formações mais antigas para as mais recentes, seguindo a metodologia e caracterização geológica de cada uma delas (Amaral, 1990, Fonseca et al., 2012) (FIGURA 02).

As formações do período Neógeno são classificadas como: Depósitos arenosos e areno-argilosos (Unidade Sedimentos Aluvionares), Depósitos Marinhos e Continentais Antigos, Depósitos eólicos litorâneos vegetados, Depósitos aluvionares de canal, Depósitos aluvionares antigos, Depósitos colúvio-eluviais, Depósitos flúvio-marinhos, Depósitos eólicos litorâneos não vegetados.

Os Depósitos arenosos e areno-argilosos são os mais abundantes na bacia, com 154,51 km<sup>2</sup> (38,95%). Localizados na porção centro-leste da bacia, se caracterizam como coberturas arenosas a areno-argilosas inconsolidadas, de granulometria média a grossa. Localmente podem apresentar fragmentos de quartzo e/ou seixos de arenito remobilizados.

Os depósitos marinhos e continentais antigos estão localizados ao longo dos rios Mudo e Guajiru até a porção central da bacia, com uma área de 66,61 km<sup>2</sup> (16,79%). Possuem como características arenitos médios a finos, de coloração amarelo dourado, marrons a alaranjados, dispostos de forma discordante sobre o Grupo Barreiras ou depósitos aluvionares antigos. A discordância com o Grupo Barreiras se dá pelas concreções ferruginosas retrabalhadas de um paleossolo laterítico (Fonseca et al., 2012).

Os depósitos eólicos litorâneos vegetados localizam-se na porção leste da BHRD, representam 32,1 km<sup>2</sup> (8,09%) e são formados por areais quartzosas bem selecionadas, de coloração avermelhada, devido a existência de películas de óxidos de ferro, amarronzadas, ocasionadas pela matéria orgânica em decomposição. Possuem formas de dunas residuais ou lençóis arenosos.

Os Depósitos Aluvionares de Canal possuem uma área de 27,23 km<sup>2</sup> (6,86%) estão distribuídos nas margens e nos canais das drenagens da bacia, incluindo-se a Lagoa de Extremoz, ocupando praticamente toda a extensão da bacia. Caracteriza-se pelas areias quartzosas de granulometria média a grossa. Ocasionalmente são conglomeráticas, com estratificações cruzadas e níveis descontínuos de sedimentos mais finos (siltítico-argilosos) em direção às desembocaduras.

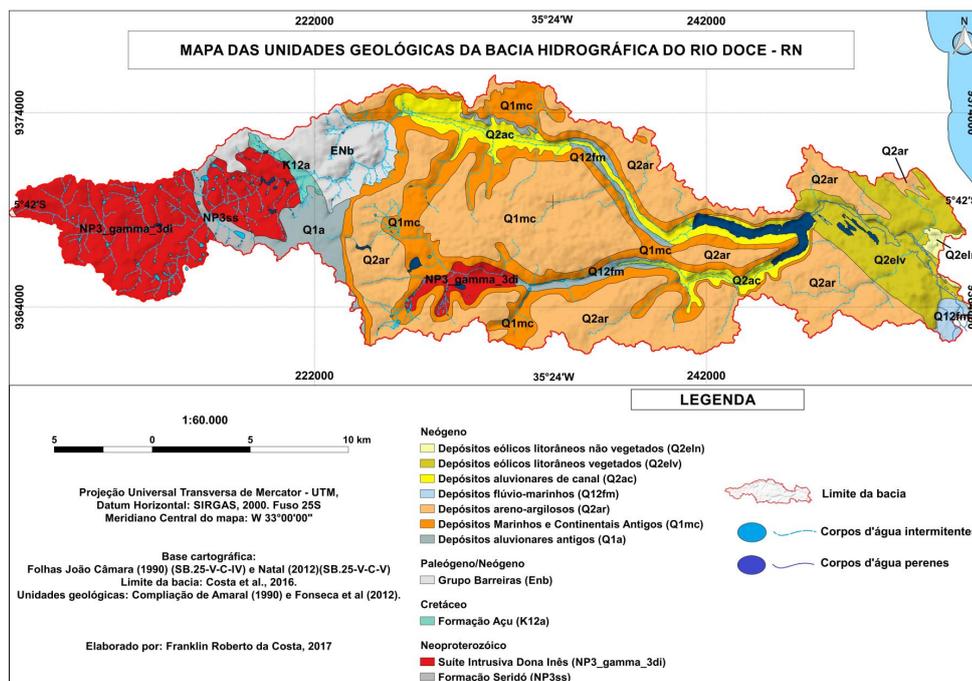


FIGURA02: Unidades Geológicas da BHRD. Fonte: CPRM, 2012.

Os Depósitos Eólicos Litorâneos Vegetados localizam-se na porção leste da BHRD, representam 32,1 km<sup>2</sup> (8,09%) e são formados por areias quartzosas bem selecionadas, de coloração avermelhada, devido a existência de películas de óxidos de ferro, amarronzadas, ocasionadas pela matéria orgânica em decomposição. Possuem formas de dunas residuais ou lençóis arenosos.

Os Depósitos Aluvionares de Canal possuem uma área de 27,23 km<sup>2</sup> (6,86%) estão distribuídos nas margens e nos canais das drenagens da bacia, incluindo-se a Lagoa de Extremoz, ocupando praticamente toda a extensão da bacia. Caracteriza-se por areias quartzosas de granulometria média a grossa. Ocasionalmente são conglomeráticas, com estratificações cruzadas e níveis descontínuos de sedimentos mais finos (siltítico-argilosos) em direção às desembocaduras.

Bezerra et al. (2006), utilizaram o termo Depósitos Aluvionares Antigos para os paleocanais fluviais que, ao migrar para cotas topográficas mais baixas, deixaram como registro, terraços aluviais. Possuem 8,85 km<sup>2</sup> (2,23%) e localizam-se às margens dos rios do Mudo e Guajirú, e na porção oeste da bacia, limitando-se ao Norte com o Grupo Barreiras e com a Formação Açú, a leste com os Depósitos Marinhos e Continentais Antigos e a oeste com a Suíte Intrusiva Dona Inês. São formados por arenitos conglomeráticos e conglomerados com seixos de quartzo e fragmentos de diversas rochas, incluindo arenitos ferruginosos do Grupo Barreiras. Subordinadamente ocorrem sedimentos argilo-arenosos a arenitos médios de diversas cores. São fracamente consolidadas (fraca diagênese) e apresentam frequentes estruturas de paleosismicidade.

Os Depósitos Flúvio-marinhos são sedimentos constituídos de areias finas, siltes e argilas finamente laminadas. Possuem uma área de 2,7 km<sup>2</sup> (0,68%) e estão localizados no extremo leste da bacia. São ricos em carbonatos e matéria orgânica viva e biodetrítica. São associados aos depósitos de mangue e de planícies de maré, que, para a BHRD, referem-se à foz do rio Doce.

Os Depósitos Eólicos Litorâneos Não-Vegetados são os que possuem menor área dentre as unidades geológicas sedimentares (1,83 km<sup>2</sup>, 0,46% da bacia) e se caracterizam por sedimentos formados de areias quartzosas finas a médias, de coloração esbranquiçada, com formas de dunas diversas, podendo haver transição com dunas vegetadas. Em imagens aéreas e orbitais, é facilmente identificado como dunas sem vegetação, existentes no extremo leste da bacia.

No período de transição entre o Neógeno e o Paleógeno, tem-se uma unidade geológica representada pelo Grupo Barreiras, localizado na porção noroeste da bacia, com uma área de 22,07 km<sup>2</sup> (5,56%), é formado por conglomerados a arenitos conglomeráticos e subordinadamente arenitos e argilitos. Possuem coloração avermelhada, com cimento ferruginoso e fraca diagênese. Podem apresentar horizontes e/ou colunas de oxi-redução em que assumem cores variadas (branca, vermelha e roxa).

O período Cretáceo tem a Formação Açu como unidade geológica representada na bacia, ocupando uma pequena parcela, representando 2,68 km<sup>2</sup> (0,68%) da sua área total, na sua porção oeste. É composta por sedimentos arenosos, areno-argilosos, arenosos arcossianos, de granulação fina a média e conglomerático na base. Os sedimentos arenosos são poucos consolidados, apresentando-se silicificados (Amaral, 1990).

O período Ediacarano possui 2 (duas) unidades geológicas, localizadas na porção oeste da bacia: a Suíte Intrusiva Dona Inês e a Formação Seridó. A Suíte Intrusiva Dona Inês representa, na bacia, uma área de 65,23 km<sup>2</sup> (16,44%), e, segundo Angelim et al. (2006), é caracterizada como uma suíte sin a tardi-tectônica, cuja colocação é controlada pelas zonas de cisalhamento extensional. É composta por monzo a sienogranitos, equigranulares de granulação fina a média, com variações a microporfírica, e fácies com textura grossa transicionando para pegmatítica, tendo como minerais máficos a biotita e menos frente o anfibólio. Fonseca et al. (2012) complementam ao afirmarem que a unidade é composta por Hornblenda e/ou biotita granitos, leucogranitos, com granulação fina a média e fácies com muscovita ou granada, de afinidade calcialcalina de alto Potássio (K).

A Formação Seridó representa 4,42 km<sup>2</sup> (1,11%) e é composta por micaxistos com porções subordinadas de calcário metamórfico, calcissilicáticas e anfibolitos, cujos constituintes minerais caracterizam uma sequência metamórfica da facies xistos-verdes a anfibólito. Segundo Fonseca et al. (2012), encontra-se a cordierita granada biotita xisto com textura lepidoblástica, veios centimétricos de quartzo.

### 3.2 Geomorfologia

A geomorfologia da BHRD pode ser dividida, no sentido oeste-leste, em 03 (três) setores, sendo possível identificar 06 (seis) unidades geomorfológicas distintas. A primeira é representada pela unidade Depressão Sertaneja (formas tabulares), que está localizada na porção oeste da bacia, chegando próximo à porção central.

Na porção central da bacia, avançando para a porção leste, têm-se a predominância da unidade Tabuleiros (formas tabulares), considerada a maior unidade existente na bacia. A outra unidade geomorfológica existente neste setor é a Planície de Inundação Fluvial, que percorre o leito dos rios que compõem a bacia.

Na porção leste da bacia encontra-se uma maior diversidade de unidades geomorfológicas, decorrentes das características geológicas e pedológicas locais. Observam-se as unidades Dunas Fixas e Dunas Móveis no extremo leste. Por fim, na porção sudeste da bacia encontra-se a unidade Planície Flúvio-Marinha.

A ocupação urbana se concentra na porção leste da bacia (cidades de Natal e Extremoz), com uma pequena parte na porção norte, representada pela cidade de Ceará-Mirim, além de alguns povoados e agrovilas espalhadas pela porção centro-oeste da bacia (FIGURA 03).

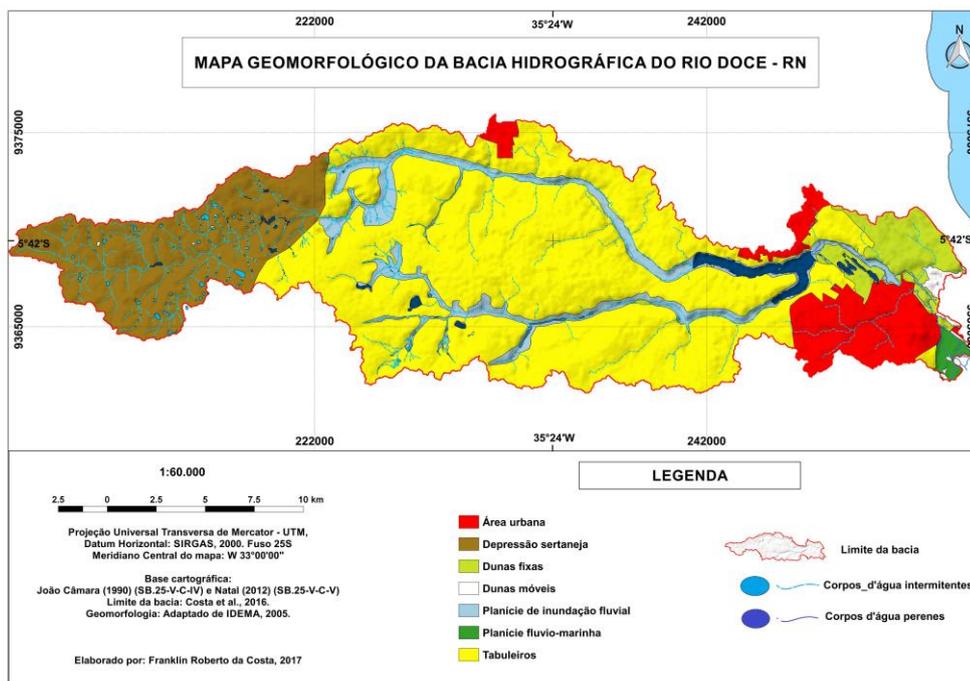


FIGURA 03: Mapa geomorfológico da Bacia Hidrográfica do Rio Doce.  
Fonte: Adaptado de IDEMA, 2005.

### 3.2.1 Espacialização e características das Unidades Geomorfológicas da BHRD

A denominação Depressão Sertaneja proposta pelo IBGE (2009), se caracteriza como uma depressão periférica em relação aos Baixos Platôs da Bacia Potiguar, compreendendo um conjunto diversificado de padrões de relevo com predomínio de superfícies aplainadas com relevo plano a suave ondulado, resultado de processos de arrasamento generalizado do relevo sobre diversos tipos de litologias. De acordo com Dantas e Ferreira (2010), as superfícies aplainadas da Depressão Sertaneja são arrasadas e em cotas baixas. No caso da bacia, esta unidade encontra-se nas cotas altimétricas que variam entre 120 e 57 metros, fazendo limite com a unidade Tabuleiros Costeiros.

Os Tabuleiros representam formas de relevos tabulares esculpidas em rochas sedimentares, pouco litificadas e dissecadas por uma rede de canais com baixa a moderada densidade de drenagem e padrão dendrítico, com predomínio da pedogênese, com formação de solos espessos e bem drenados, com baixa suscetibilidade a erosão (IBGE, 2009).

Na BHRD, esses Tabuleiros representam 230,83 km<sup>2</sup>, equivalente a 58,18%, e estão localizados em cotas que variam entre aproximadamente 30 a 100 metros de altitude, assim como afirmam Dantas e Ferreira (2010), em relação a posição dessa unidade geomorfológica no estado do Rio Grande do Norte. De acordo com os autores, esta unidade está, no litoral, sotoposta ao campo de dunas. Os canais principais esculpem vales amplos e encaixados em forma de “U”, resultado do processo de entalhamento fluvial e notável alargamento das vertentes do vale, via recuo erosivo das suas encostas. Estão embasados em rochas sedimentares pouco litificadas do Grupo Barreiras, limitados a leste pelas planícies costeiras e, a oeste, pelas superfícies da Depressão Sertaneja.

A Planície de Inundação Fluvial, segundo Christofolletti (1981) e Guerra e Teixeira-Guerra (2008), são macroformas, em geral planas, localizadas acima do nível topográfico de um canal de rio, inundada quando o canal fluvial não comporta as águas em períodos de cheias periódicas e/ou excepcionais. Rocha (2011) complementa ao afirmar que esta planície é formada pela feição deposicional do vale do rio associada com um regime climático ou hidrológico da bacia de drenagem. Na BHRD, representam 31,98 km<sup>2</sup>, equivalente a 8,06%, e se encontra ao longo dos rios que a compõem, aumentando à medida que se aproxima da foz, tendo a maior área presente na Lagoa de Extremoz.

As Dunas encontradas na BHRD são divididas entre móveis e fixas. São caracterizadas por formarem superfícies de relevo ondulado, constituído de depósitos areno-quartzozos, depositados por ação eólica longitudinalmente a linha de costa. As dunas móveis encontram-se desprovidas de vegetação, apresentando mobilidade, principalmente próxima a linha de costa, localizada, principalmente, no município de Extremoz, com uma área de 20,39 km<sup>2</sup>, representando 5,14%. Já as dunas móveis encontram-se recobertos por vegetação pioneira (Pfaltzgraff, 2010).

A Planície Flúvio-marinha é a menor unidade geomorfológica da bacia e está localizada no extremo leste, na foz do rio Doce, com uma área de 2,84 km<sup>2</sup>, equivalente a 0,72% da bacia. Segundo Pfaltzgraff (2010), são superfícies planas, de interface com os sistemas deposicionais continentais e marinhos, constituídas de depósitos argilo-arenosos a argilosos. Terrenos mal drenados e inundáveis, com padrão de drenagem meandrante e divagante, sob influência de refluxo de marés.

### 3.3 Solos

O mapa de solos da BHRD teve como base o mapa de solos elaborado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (2014) (FIGURA 04). Foi realizada uma reinterpretação e atualização temática das variáveis existentes, a partir das imagens orbitais visualizados no plugin do Google Earth Pro aberto no QGIS Essen 2.14. O Google Earth disponibiliza imagens da empresa norte americana Digital Globe, responsável pelos satélites com as seguintes resoluções espaciais: Quickbird (60 cm), GeoEye-1 (50 cm), IKONOS (1m), WorldView-2 e 3 (50 cm), além das imagens do satélite Landsat 7 e 8. Nesse caso, o Google Earth trabalha com um misto de imagens que apresentam resoluções espaciais que variam de acordo com a escala analisada, observada a partir do zoom na imagem aberta no software. Realizou-se, também, visitas a campo visando solucionar dúvidas quando necessário.

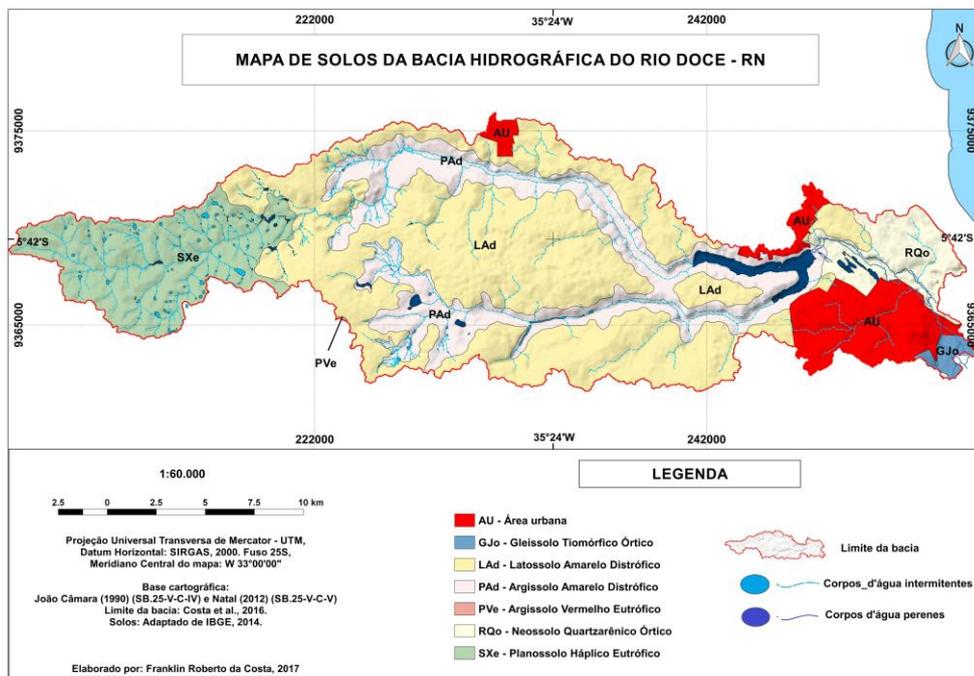


FIGURA 04: Mapa de solos da Bacia Hidrográfica do Rio Doce.

Fonte: Adaptado de IBGE, 2014.

De acordo com o IBGE (2014), os solos da bacia estão distribuídos a seguir, de acordo com suas respectivas áreas e os percentuais da distribuição na superfície da bacia (QUADRO 03).

**QUADRO 03:** Solos distribuídos na Bacia Hidrográfica do rio Doce por km<sup>2</sup> e percentual de distribuição na superfície.

Sigla	Legenda	Área km <sup>2</sup>	%
PVe	PVe - Argissolo Vermelho Eutrófico	0.1	0.03
GJo	GJo – Gleissolo Tiomórfico Órtico	3.35	0.84
Ag	Ag - Corpos d'água	7.4	1.87
RQo	RQo – Neossolo Quartzarênico Órtico	21.97	5.54
AU	AU - Área Urbana	28.1	7.08
SXe	SXe – Planossolo Háplico Eutrófico	60.29	15.20
PAd	PAd - Argissolo Amarelo Distrófico	86.18	21.72
LAd	LAd - Latossolo Amarelo Distrófico	189.31	47.72

**Fonte:** Adaptado de IBGE, 2014.

### 3.3.1 Espacialização e características dos solos existentes na BHRD

O solo Argissolo Amarelo Distrófico é encontrado em praticamente toda extensão da bacia, seguindo os cursos principais dos rios. São solos constituídos por material mineral, que tem como características a presença de horizonte B textural de argila de atividade baixa, ou alta conjugada com saturação por bases baixa. O horizonte B textural encontra-se abaixo de qualquer horizonte superficial. Uma pequena parte, localizado na porção central da bacia, próximo do seu limite territorial, tem-se a presença do solo Argissolo Vermelho Eutrófico, com uma área de 0,1 km<sup>2</sup>, representando 0,03%.

O solo Gleissolo Tiomórfico Órtico é pouco desenvolvido, lamacento, escuro e com alto teor de sais provenientes da água do mar, formados em ambientes de mangues a partir de sedimentos flúvio-marinho recentes, misturados com detritos orgânicos. Tais sedimentos são decorrentes da deposição pelas águas dos rios quando se encontram com as águas do mar, em condição de baixa energia. Estão localizados na foz do rio Doce, a leste da bacia e ocupam 3,35 km<sup>2</sup>, representando 0,84% da bacia (Jacomine, 2008).

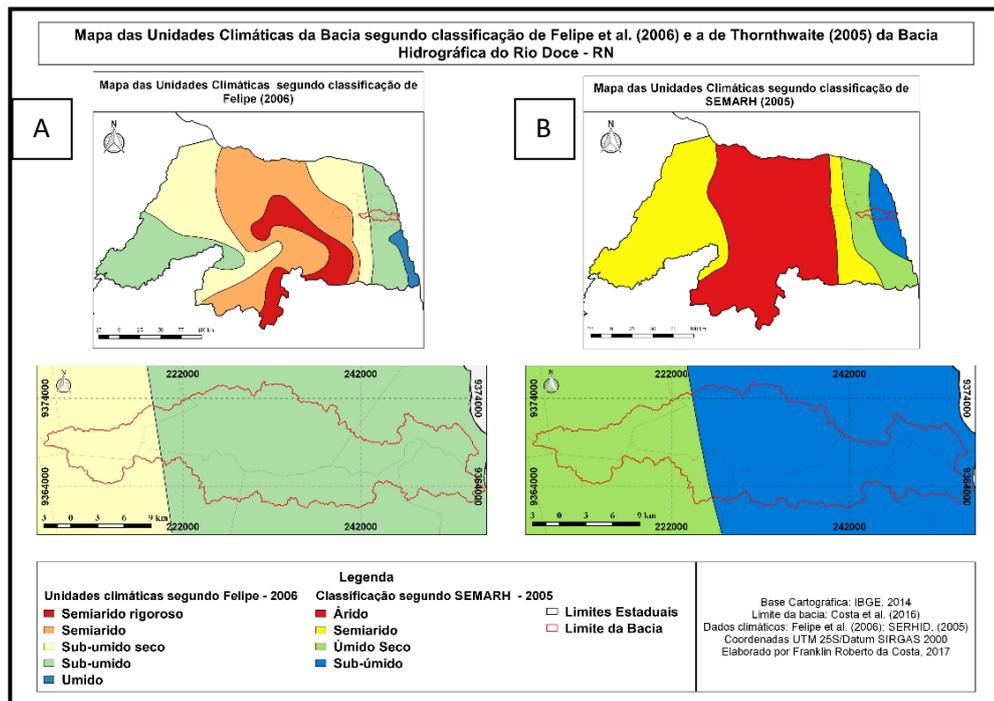
Os solos do tipo Neossolo Quartzarênico Órtico ocupam uma área de 21,97 km<sup>2</sup>, o equivalente a 5,54% da superfície da bacia, localizados na porção leste. São constituídos por material mineral, não hidromórficos, ou por material orgânico pouco espesso e não apresentam alterações expressivas em relação ao material originário devido a baixa atuação dos processos endogenéticos.

O solo do tipo Planossolo Háplico Eutrófico é um solo mineral imperfeitamente ou mal drenado, com horizonte superficial ou subsuperficial eluvial, textura mais leve, contrasta abruptamente com o horizonte B ou com transição conjugada. Geralmente com acentuada concentração de argila e permeabilidade lenta a muito lenta. São encontrados na porção oeste, ocupando 60,29 km<sup>2</sup> da bacia, o que representa 15,2% da sua superfície.

Por fim, o solo Latossolo Amarelo Distrófico é constituído por material mineral, com horizonte B latossólico abaixo de qualquer um dos tipos de horizonte superficial. São solos em estágio de intemperização avançado. É o solo mais abundante na bacia, localizado na porção central, ocupando 189,31 km<sup>2</sup>, o que corresponde a 46,4% de toda a bacia.

## 3.4 Clima

Felipe et al. (2006) elaboraram o mapa das unidades climáticas do Estado, a partir de dados obtidos no Instituto de Desenvolvimento do Rio Grande do Norte, dividindo-o em 5 (cinco) tipos: Úmido, Sub-úmido, Sub-úmido seco, Semiárido e Semiárido Rigoroso (FIGURA 5A).



FIGURAS 5 A e B. Mapa das unidades climáticas da BHRD organizado a partir dos autores Felipe et al (2006) (A) e na classificação de SEMARH (2005) (B).

A BHRD está localizada nas unidades climáticas Sub-úmido e Sub-úmido Seco. Segundo Felipe et al., (2006), o clima Sub-úmido é caracterizado por médias pluviométricas anuais que variam entre 800 e 1200 milímetros. Equivale na classificação de Köppen, ao clima tropical chuvoso, com estação chuvosa começando entre fevereiro e março, prolongando-se até os meses de agosto e setembro.

Ainda segundo esses autores (op cit), o clima Sub-úmido seco possui média de precipitação entre 600 e 800 milímetros. Equivale na classificação de Köppen a transição entre o Tropical Típico (Aw) e o Semiárido (Bs).

Já na classificação da SEMARH (2005) (FIGURA 5B), que teve como referência a classificação de Thornthwaite (1948), a bacia está inserida nas unidades Sub-úmido (C1DA'a') e Úmido seco (C1WA'a'). A primeira unidade tem como característica um clima seco e sub-úmido, com pequeno ou nenhum excesso de água, megatérmico e com baixa variação estacional.

O clima úmido seco tem como característica ser seco e sub-úmido, com moderado excesso de água, megatérmico, com baixa variação estacional. Percebeu-se que ambas as classificações indicam uma área de transição nas unidades climáticas existentes na bacia, partindo, de leste para o oeste, com menores precipitações.

No entanto, a classificação mais utilizada para a região é a da SEMARH (2000), que, a partir da classificação de Köppen, caracteriza o clima como predominantemente do tipo As' – clima tropical chuvoso com verão seco. A estação chuvosa se aproxima no período do outono, entre os meses de março e junho. As chuvas anuais médias crescem do interior para o litoral, passando de 700 milímetros nas cabeceiras para 1.400 milímetros na foz.

A temperatura média no médio curso da bacia foi de 25,4°C, com variações de 24°C a 26,5°C e amplitude térmica de 2,5°C. Já no baixo curso, as temperaturas variaram entre 24,4°C e 27,3°C, com média anual de 26,2°C e amplitude térmica de 2,9°C. Em toda a bacia, os meses mais quentes são dezembro, janeiro e fevereiro e os mais frios são julho, agosto e setembro (Castro, 2000).

### 3.4.1 Espacialização e características das precipitações na BHRD

Para o presente trabalho, foram utilizados os dados pluviométricos de todos os municípios que fazem parte da bacia, entre os anos de 1997 e 2016 (EMPARN, 2017). Na FIGURA 6 apresenta-se o gráfico da média das precipitações anuais na BHRD, elaborado em planilha eletrônica.

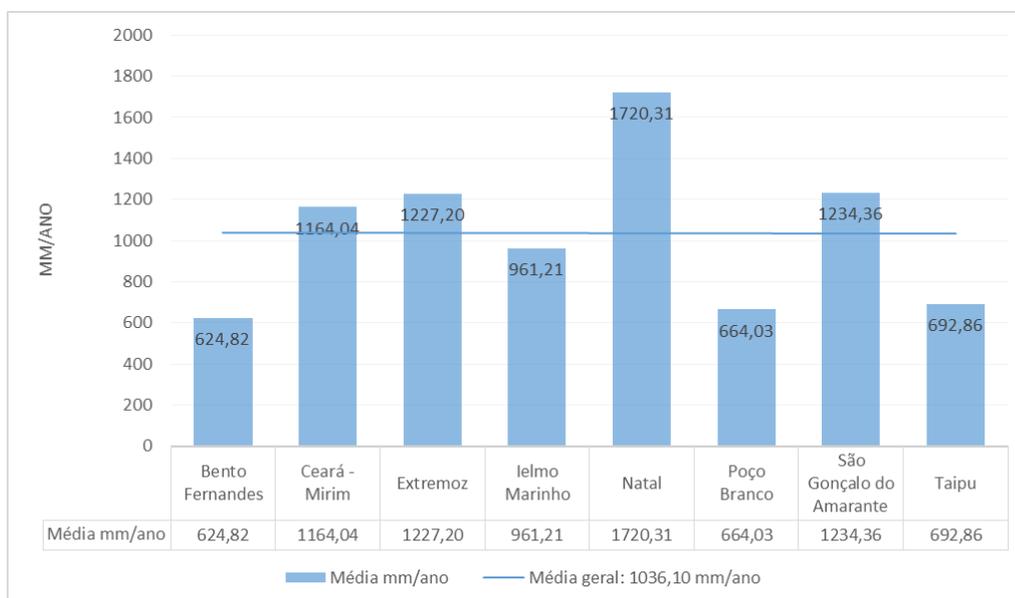


FIGURA 6. Gráfico representando a média da precipitação anual, por município, na BHRD.  
Fonte: Adaptado da EMPARN (2017).

A média pluviométrica anual da bacia, entre os anos de 1997 a 2016, é de 1.036,10 milímetros. Desta média, Natal possui a maior delas, com 1720,31 milímetros, seguido pelos municípios de Extremoz com 1227,20 milímetros, São Gonçalo do Amarante com 1234,36 milímetros e Ceará-Mirim com 1164,04 milímetros, estes últimos localizados na porção centro-leste da bacia, mais próximos do litoral, também com valores acima da média anual da bacia. Já Ielmo Marinho, com 961,21 milímetros, Taipu, com 692,86 milímetros, Poço Branco, com 664,03 milímetros e Bento Fernandes, com 624,82 milímetros, localizados na porção centro-oeste da bacia, apresentam as menores médias pluviométricas, abaixo da média anual geral da bacia (FIGURA 7).

No período analisado, a maior precipitação anual, no alto curso da bacia, foi de 1.387,7 mm, no ano de 2009 e a menor de 328,5 mm, no ano de 2010. A média obtida no período para o alto curso foi de 735,7 mm. No médio curso, a maior precipitação foi de 1.772,4 mm, no ano de 2004 e a menor de 609,1 mm, no ano de 2010. A média anual desse trecho da bacia foi de 1.199,2 mm. Já no baixo curso, a maior precipitação foi de 2.221,5 mm no ano de 2004 e a menor de 753 mm no ano de 2016, com média anual de 1.473,8 mm.

Na FIGURA 7, observa-se que, se afastando do litoral, a precipitação diminui consideravelmente, chegando ao extremo oeste da bacia com uma média anual com metade do valor da precipitação média anual do extremo leste. A zona de transição entre as áreas de maior e menor precipitação anual está na porção central da bacia, onde pode-se perceber pelas isoietas, que a partir do oeste do município de Ceará-Mirim, as precipitações estão abaixo da média anual da bacia.

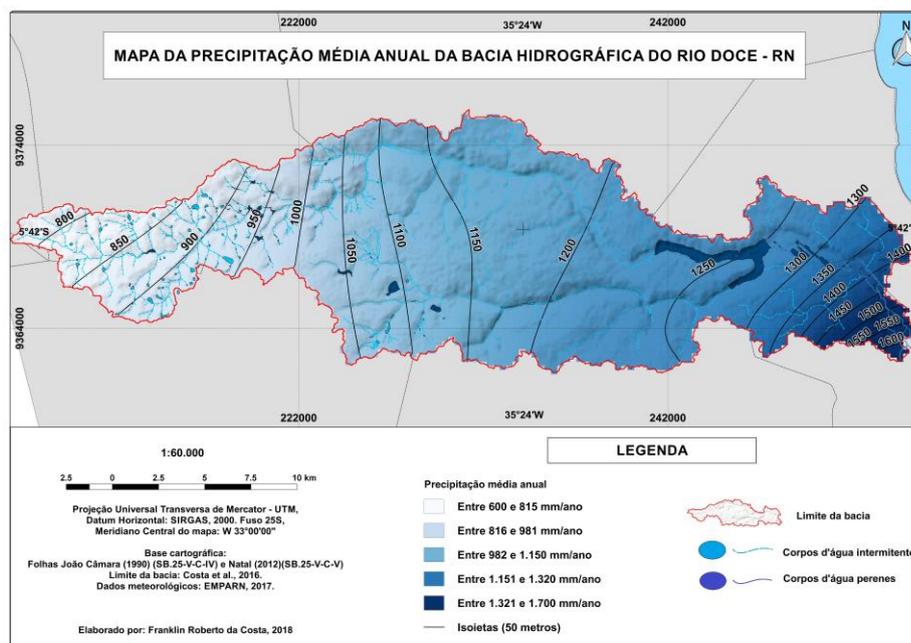


FIGURA 7. Mapa da média pluviométrica anual na BHRD (1997 – 2016).  
Fonte: EMPARN (2017).

Para facilitar a análise dos intervalos das precipitações média anual por área da bacia (km e %) observadas no mapa da figura 09, realizou-se a vetorização da imagem tiff gerada pela interpolação dos dados, possibilitando a elaboração do quadro 4.

QUADRO 4. Intervalos das precipitações média anual por área da bacia em km<sup>2</sup> e percentual

Classes de precipitação média anual (mm/ano)	Área (km <sup>2</sup> )	Área (%)
602-906	30.2	7.6
907-1188	199.3	50.2
1189 – 1469	156.6	39.5
1470 – 1600	9.2	2.3
acima de 1600	1.4	0.4

Observa-se que a maior área da bacia está na média pluviométrica anual, referente ao intervalo entre 907 a 1188 mm (199,3 km<sup>2</sup> ou 50,2%). Em seguida, aparece o intervalo entre 1189 a 1469, com uma área de 156,6 km<sup>2</sup>, localizado na porção centro-leste da bacia, representando 39,5% da sua extensão territorial.

Nos extremos aparecem as menores áreas em extensão para as menores e maiores classe de precipitação. O intervalo de 602 a 906 mm/ano, localizado no extremo oeste da bacia, apresentou 30,2 km<sup>2</sup> de extensão, o que representa 7,6% da área da bacia. Os intervalos de 1470 -1600 e acima de 1600 mm/ano estão localizados na porção extremo leste da bacia e apresentam 10,6 km<sup>2</sup> de extensão, representando 2,7% da bacia.

Para a bacia hidrográfica do rio Doce foram analisados os 8 (oito) municípios pertencentes a bacia, distribuídos em 5 microrregiões: Baixa Verde (Bento Fernandes e Poço Branco), Litoral Nordeste (Taipu), Macaíba (Ceará-Mirim, São Gonçalo do Amarante), Natal (Natal e Extremoz), Agreste Potiguar (Ielmo Marinho) Para cada Microrregião, a EMPARN (2017) adotou intervalos de valores, em quantis, que caracterizam a precipitação anual acumulada como muito seco, seco, normal e muito chuvoso (QUADRO 5).

De acordo com o QUADRO 5, observa-se que a média da bacia está caracterizada entre o período seco a normal, com predominância do -período seco. Analisando isoladamente cada município, Extremoz e Taipu se apresentaram como os mais secos no período, enquanto

Ielmo Marinho foi o único a apresentar, como característica, um período normal a chuvoso. Os demais municípios estiveram na média da bacia como um todo, de seco a normal.

QUADRO 5. Caracterização da precipitação acumulada, por ano, entre 1997 e 2016

Município	Média da Pluviosidade anual	Muito Seco	Seco	Normal	Muito Chuvoso	Característica da precipitação acumulada no ano
Bento Fernandes	<b>624,8</b>	389,21	528,12	740,72	1005,71	Seco a Normal
Ceará – Mirim	<b>1164,0</b>	826,66	1101,9	1478,4	1779,23	Seco a Normal
Extremoz	<b>1227,2</b>	1185,77	1581,7	2015,2	2263,51	Muito seco a seco
Ielmo Marinho	<b>961,2</b>	448,96	572,24	781,58	1071,51	Normal a chuvoso
Natal	<b>1720,3</b>	1185,77	1581,7	2015,2	2263,51	Seco a Normal
Poço Branco	<b>664,0</b>	389,21	528,12	740,72	1005,71	Seco a Normal
São G. Amarante	<b>1234,4</b>	826,66	1101,9	1478,4	1779,23	Seco a Normal
Taipu	<b>692,9</b>	713,47	889,72	1216,17	1642,12	Muito seco
Media	<b>1036,10</b>	<b>745,71</b>	<b>985,68</b>	<b>1308,30</b>	<b>1601,32</b>	<b>SECO A NORMAL</b>

Fonte: Adaptado da EMPARN, 2017.

Em relação à média pluviométrica diária da bacia, entre os anos de 1997 a 2016, observou-se 07 (sete) dias de chuvas por mês, ao longo do ano (FIGURA 8). Os municípios acima da média foram Natal (14 dias) e Extremoz (08 dias). Os municípios de Ceará-Mirim e São Gonçalo do Amarante estiveram na média da bacia (7 dias). Abaixo da média estão os municípios de Poço Branco (6 dias), Ielmo Marinho (5 dias), Bento Fernandes (4 dias) e Taipu (3 dias).

De acordo com o gráfico, observa-se que há uma tendência de aumento das chuvas entre janeiro e março (6 a 9 dias). A partir do mês de abril, até o mês de julho, as chuvas diárias aumentam em números de dias, bem como no volume de água. Considera-se esse período como o mais chuvoso na bacia.

A partir de julho, os dias com precipitação diminuem, bem como seu volume d'água. Considera-se o período entre setembro e dezembro como o mais seco na bacia, com a média máxima de 4 dias com chuvas (setembro) e a mínima de 2 dias (outubro e novembro).

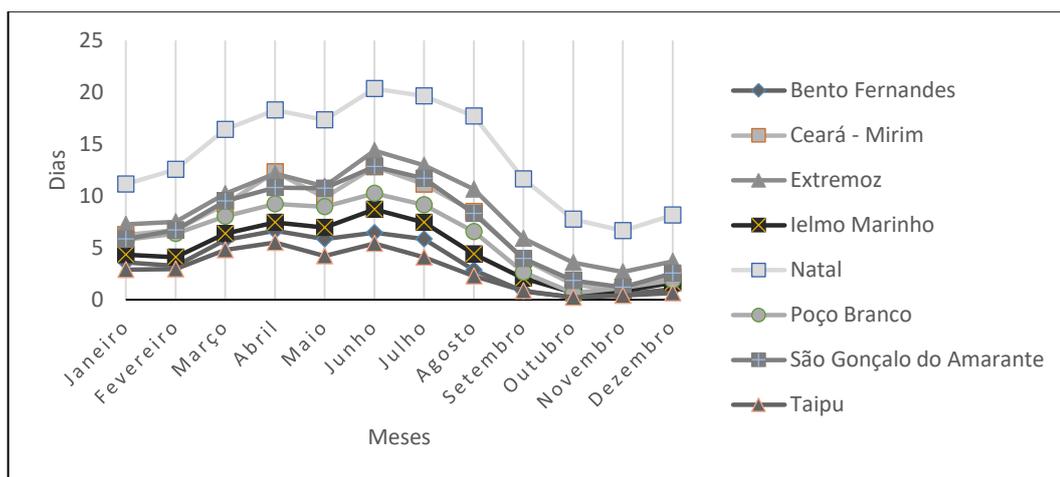


FIGURA 8. Gráfico representando a média da precipitação diária por meses, por município, na BHRD. Fonte: Elaborado pelos autores. Dados obtidos na EMPARN, 2017.

A soma das chuvas diárias, no período de um ano, apresentou uma média de 81 dias, equivalentes a aproximadamente 3 meses por ano. Os municípios com mais meses chuvosos no período de 01 (um) ano foram Natal (06 meses), seguido de Extremoz, São Gonçalo do

Amarante e Ceará-Mirim (3 meses). Os demais municípios apresentaram menos de 3 meses de chuvas por ano (FIGURA 9).

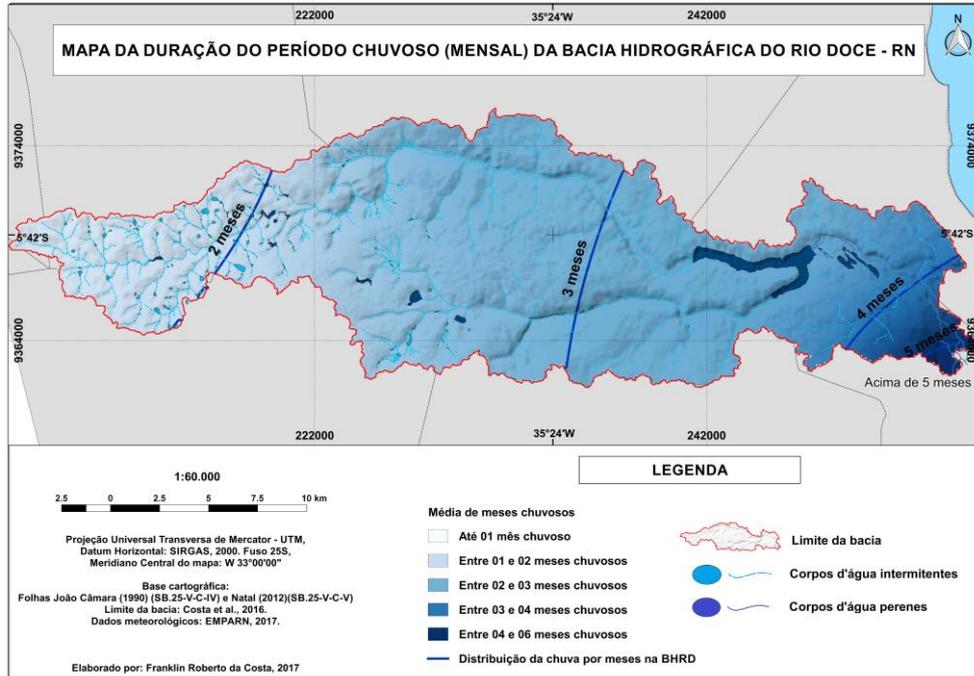


FIGURA 9. Mapa da duração do período chuvoso em número de meses na BHRD.  
Fonte: EMPARN, 2017.

O município menos chuvoso foi Taipu, com a média de 34 dias de chuvas por ano, equivalente a um pouco mais 1 (um) mês. Em seguida aparecem Bento Fernandes (43 dias), Ielmo Marinho (55 dias) e Poço Branco (71 dias).

### 3.5 Hidrografia

A caracterização do meio físico tem na hidrografia, uma das principais variáveis utilizadas para se entender a dinâmica de formação de uma bacia hidrográfica. Permite, nesse sentido, avaliar as diferentes dinâmicas, interações ecossistêmicas e fluxos de massa.

Neste sentido, entende-se como bacia hidrográfica, uma área formada por um rio principal e seus afluentes. Esses afluentes seguem em direção ao rio principal e este segue em direção a foz para desaguar, no caso da BHRD, no estuário do rio Potengi.

#### 3.5.1 Espacialização e características da hidrografia na BHRD

A hidrografia da BHRD é formada por 3 microbacias, em duas delas os 02 (dois) rios principais, bem como seus afluentes são considerados intermitentes quais sejam os rios do Mudo e o Guajirú e na terceira bacia o rio principal, que é o rio Doce é perene, enquanto seus afluentes são intermitentes (FIGURA 10).

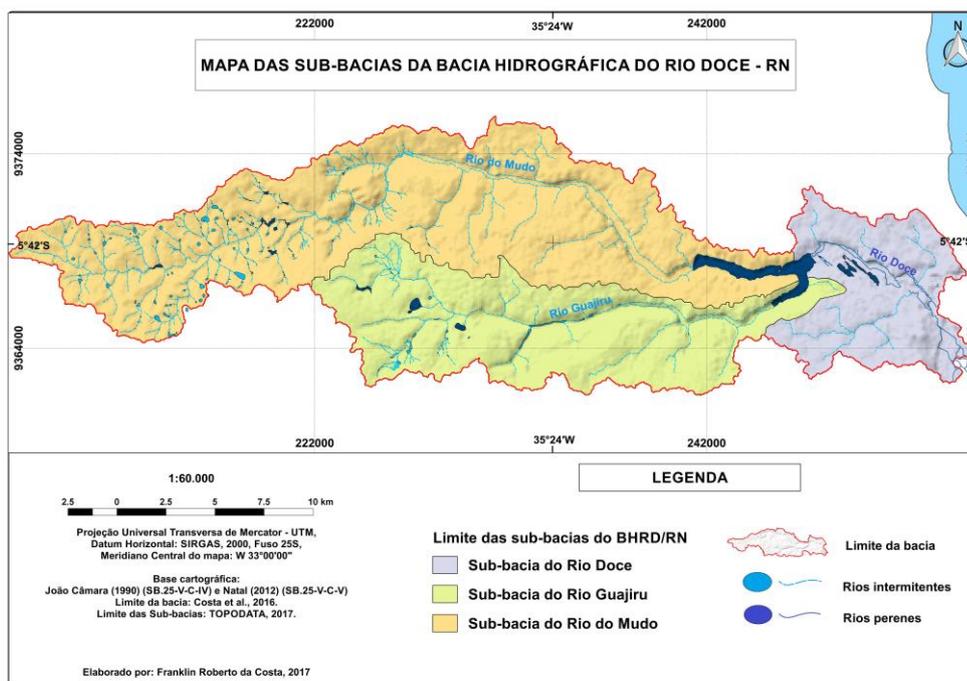


FIGURA 10. Sub-bacias da Bacia Hidrográfica do Rio Doce – RN.

O rio Doce é formado a partir da unificação dos rios do Mudo e Guajirú dentro da Lagoa de Extremoz. Segundo Cunha (2004), o rio Doce corre sobre sedimentos quaternários de dunas e aluviões até a sua desembocadura. É alimentado por olhos de água em aproximadamente 14 km de percurso, pois seu leito está em um nível mais baixo que o nível estático das águas.

De acordo com a FIGURA 10, observa-se que a maior sub-bacia é a do rio do Mudo, com uma área de 213,84 km<sup>2</sup>, ou 53,9% da bacia. Seu rio principal possui uma extensão de, aproximadamente, 47 km. A segunda maior bacia é a sub-bacia do rio Guajirú, com 119,09 km<sup>2</sup>, representando 30% da bacia, cujo rio principal e homônimo percorre uma extensão de 28 km. Já a sub-bacia do rio Doce possui uma área de 63,77 km<sup>2</sup>, ou 16,1% da bacia homônima. Seu rio principal possui uma extensão de 12 km, a partir da passagem da água da Lagoa de Extremoz para o rio.

Os cursos d'água intermitentes estão localizados em uma região de clima mais árido, cujas características são a baixa pluviosidade e temperaturas elevadas, aumentando a evapotranspiração. O rio perene é alimentado pelo aquífero Dunas/Barreiras, principalmente a partir da Lagoa de Extremoz a jusante da bacia (Castro, 2000).

### 3.6 Vegetação

A bacia hidrográfica do Rio Doce/RN apresenta pequenas porções do seu território cobertas com vegetação nativa e sucessionais. Isso porque, as formas de ocupação marcaram a supressão da vegetação para o desenvolvimento de atividades diversas, destacando-se o desmatamento para produção agrícola, a pecuária e a expansão urbana.

#### 3.6.1 Espacialização e características dos tipos de cobertura vegetal existentes na BHRD

As formações vegetais encontradas na BHRD pertencem ao Domínio fitogeográfico Caatinga, e uma pequena parte, mais a leste da bacia, ao Domínio Mata Atlântica. De acordo com IBGE (2014), as formações existentes na bacia são: Savana Estépica Arborizada, Savana Arborizada e Formações Pioneiras com Influência Fluvial e/ou Lacustre e Fluviomarinha (Mangue). As áreas antropizadas foram divididas em: Área de Influência Urbana, Cultura Permanente, Cultura Temporária, Pastagem e Dunas não vegetadas (QUADRO 6).

QUADRO 6 – Tipos de cobertura vegetal, descontadas as áreas urbanas

TIPO DE COBERTURA VEGETAL	KM <sup>2</sup>	%
Cultura Permanente	77.12	19.44
Cultura Temporária	134.88	34.00
Dunas não vegetadas	1.31	0.33
Formação Pioneira de Influência Fluvial e Lacustre	7.38	1.86
Formação Pioneira de Influência Fluviomarinha	2.28	0.57
Formação Pioneira de Restinga arbustiva-arbórea	6.23	1.57
Pastagem	35.8	9.02
Savana Arborizada	24.64	6.21
Savana Estépica Arborizada	38.82	9.79
<b>Total</b>	<b>328.46</b>	<b>82,8*</b>

\* Descontados as áreas de influência urbana.

**Fonte:** Elaborado pelos autores.

O trabalho originalmente desenvolvido pelo IBGE (2014) foi executado na escala 1:250.000 e contribuiu para a identificação das principais formações de vegetação da bacia. No entanto, para o presente trabalho, apoiado pelo Manual Técnico da Vegetação Brasileira (IBGE, 2012), interpretação visual de imagens no SIG QGIS 2.14, via plugin Open Layers Plugin, que permite a visualização de imagens orbitais disponibilizados pelo Google Earth, que possuem resolução espacial variando entre 5 metros e 0,61 centímetros, e visita a campo, foi possível um nível maior de detalhe das Formações Pioneiras e as Formações com Influências fluviais e lacustres (FIGURA 11).

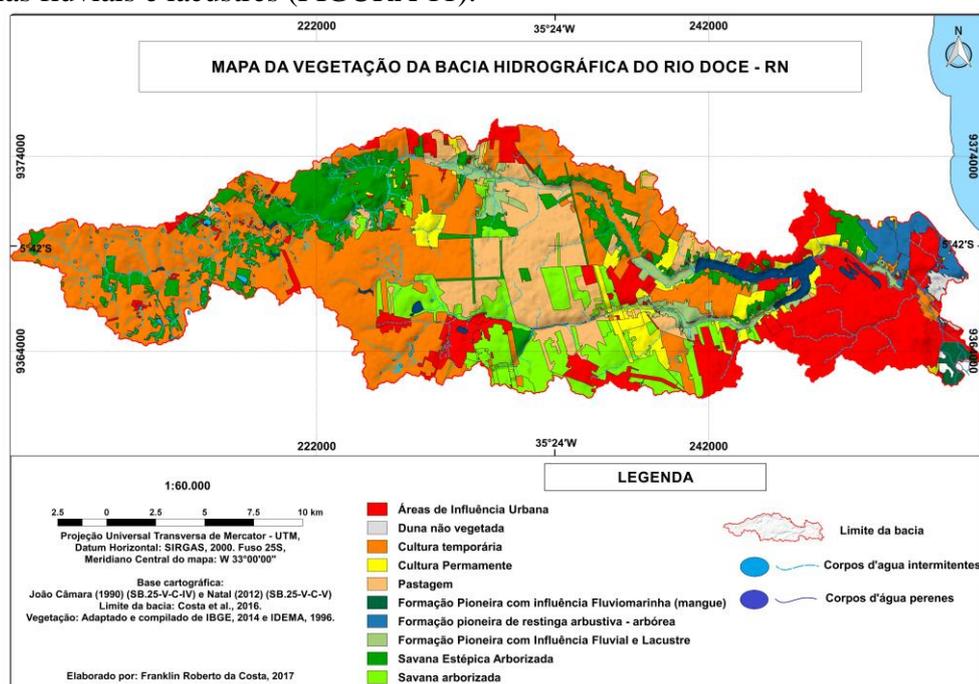


FIGURA 11: Mapa da vegetação da Bacia Hidrográfica do Rio Doce - RN

Nesse caso, foram inseridas a Formação de Influência Fluvial e/ou Lacustre arbórea, arbustiva e a herbácea, a Formação Pioneiras de restinga arbustiva-arbórea; e a Formação Pioneiras de Influência Fluviomarinhos Arbórea (Mangue)

Para caracterizar a vegetação da BHRD, utilizou-se o Manual Técnico da Vegetação Brasileira (IBGE, 2012). A Savana-Estépica Arborizada é um subgrupo da Formação Savana-Estépica e se caracteriza por ser estruturado a partir de 02 (dois) estratos: um arbustivo-

arbóreo superior, esparso, com predominância de nanofanerófitas, menos adensadas e com grossos troncos em geral, profusamente esgalhados e espinhosos; e o outro, inferior gramíneo-lenhoso.

Na BHRD, encontram-se isoladamente espalhadas na porção oeste da bacia, chegando a parte central em menor quantidade e porte. Encontra-se também associada com as Florestas Estacionais Deciduais das Terras Baixas, onde se encontra a maior área preservada da bacia, bem como com a Formação Flúvio-lacustre arbóreo ao longo dos rios Mudo e Guajirú e a uma área antropizada na porção nordeste.

A Savana Arborizada (conhecida como Cerrado) é comumente encontrada na região Centro-Oeste brasileiro. No entanto, encontram-se áreas cobertas com esse tipo de formação vegetacional em todo o país. Tem como característica uma fisionomia nanofanerofítica rala e outra hemicriptofítica contínua. Possui uma composição florística semelhante à da Savana Florestada. Na BHRD, encontra-se isoladamente na porção centro-sul da bacia, próximo do Aeroporto Internacional Augusto Severo e algumas reservas, associadas a atividades antrópicas na porção central da bacia.

Na BHRD, as Formações Pioneiras com Influência Fluvial e/ou Lacustre e a Fluviomarinhos foram classificadas em Herbáceas, Arbustivas e Arbóreas. De uma maneira geral, as Formações Pioneiras estão relacionadas às áreas com solos instáveis, submetidas aos processos de acumulação lacustre, fluvial, marinha e fluviomarina. São cobertas por vegetação de primeira ocupação com caráter edáfico, formada por plantas adaptadas às condições ecológicas locais.

A Formação Pioneira Fluviomarina, representada pela vegetação manguezal, é a comunidade microfanerofítica de ambiente salobro, situada na desembocadura de rios e regados no mar, com plantas adaptadas à salinidade das águas.

As comunidades vegetais de influência marinha (restinga) são divididas em áreas praias, dunas e pontal rochoso. As áreas de praia possuem plantas escandentes e estoloníferas que atingem as dunas, contribuindo para fixá-las. Nas dunas, as plantas possuem um caráter mais lenhoso. No “pontal rochoso”, as plantas aparecem com porte maior, associada a cactáceas e diferentes espécies de bromélias.

A vegetação com influência fluvial são comunidades vegetais de planícies aluviais que refletem o efeito das cheias dos rios em épocas chuvosas, ou de depressões alagáveis todos os anos. Na BHRD, as Formações pioneiras estão localizadas as margens dos rios Mudo, Guajirú e Doce (Fluvial e Lacustre) e na foz do rio Doce (Fluviomarinho).

### **3.2 USO E COBERTURA DA TERRA DA BHRD**

A Bacia Hidrográfica do Rio Doce está localizada em uma área que vem, ao longo dos anos, sendo explorado pelo homem os mais diversos fins. Desde a ocupação urbana à mineração, passando por cultivo da agricultura familiar a produção de monocultura da cana de açúcar. O fato é que a área da bacia vem passando por processos de ocupação que podem ser considerados como produtores de irreversíveis danos ambientais, notadamente no que diz respeito aos recursos hídricos.

Para entender a dinâmica de uso e ocupação da BHRD, propôs-se analisar, a partir do mapa de uso e cobertura da terra, seguindo a metodologia adotada pelo IBGE (2013), bem como visitas a campo, o atual processo de ocupação territorial da bacia (FIGURA 12).

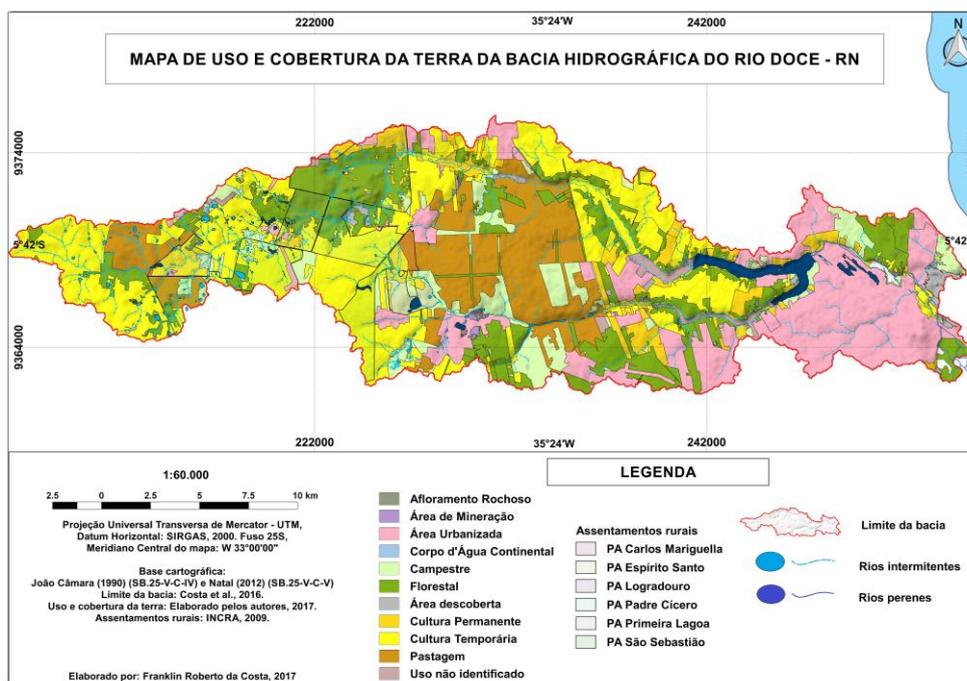


FIGURA 12. Mapa de uso e cobertura da terra da Bacia Hidrográfica do Rio Doce - RN

Nesse sentido, desenvolveu-se um quadro com os principais tipos de coberturas da terra, nos níveis I e II, relacionando-as com a área e o percentual ocupado na bacia (QUADRO 7).

De um modo geral, a BHRD apresenta-se alterada por ações antrópicas que modificaram a paisagem local ao longo dos anos. As áreas de preservação da vegetação natural existentes estão delimitadas por áreas de cultivo, pastagem e ocupações urbanas. Representam 110,35 km<sup>2</sup>, ou 27,82 % de toda a bacia.

Destas, 36,40 km<sup>2</sup> (9,18%) já foram alteradas por atividades antrópicas, ou tem como característica a formação campestre e 73,95 km<sup>2</sup> (18,64%) apresentam-se como florestas preservadas e/ou recuperadas.

QUADRO 7: Principais tipos de cobertura e uso da terra na BHRD, com área e percentual de ocupação a partir de imagens e satélite e dados de campo.

Tipo de Uso		Área (km <sup>2</sup> )	Percentual (%)
Nível I	Nível II		
1. Áreas antrópicas não agrícolas	1.1. Afloramento Rochoso	0.58	0.15
	1.2 Área de Mineração	1.03	0.26
	1.3 Área Urbanizada	162.87	41.06
2. Áreas antrópicas agrícolas	2.1 Cultura Permanente	20.25	5.10
	2.2 Cultura Temporária	30.54	7.70
	2.3 Pastagem	51.93	13.09
	2.4 Área descoberta	4.67	1.18
3. Áreas de vegetação natural	3.1 Campestre	36.40	9.18
	3.2 Florestal	73.95	18.64
4. Água	4.1 Corpo d'água	9.22	2.32
5. Outras áreas	5.1 Uso Não Identificado	5.26	1.33

As dunas móveis e fixas, consideradas como unidade ambiental de preservação pela lei estadual n.7.871 (Rio Grande do Norte, 2000), ocupam uma área de 1,65 km<sup>2</sup> e 10,75 km<sup>2</sup>, respectivamente, ocupando 3,22% da bacia. No entanto, essa unidade apresenta uma série de

ocupações irregulares, comprometendo quase 50% da sua área, principalmente pela retirada da restinga (vegetação característica das dunas fixas) (FIGURA 13).



FIGURA 13. Área de Dunas Móveis e Fixas com ocupações irregulares.

Na classificação do uso e cobertura da terra, as dunas móveis fazem parte da área descoberta, juntamente com os solos expostos observados na bacia. Já as dunas fixas são cobertas por vegetação e, por esse motivo, são classificadas como campestre.

Outra área que se apresenta parcialmente preservada é o mangue. Com uma área de 2,26 km<sup>2</sup>, representa 0,57% da bacia. Apesar de estar inserida na classe Floresta, vem sofrendo ações pontuais, ligadas, principalmente, a expansão urbana nos seus arredores, que desviaram e retificaram o rio Doce, como pode ser visto na figura 14.

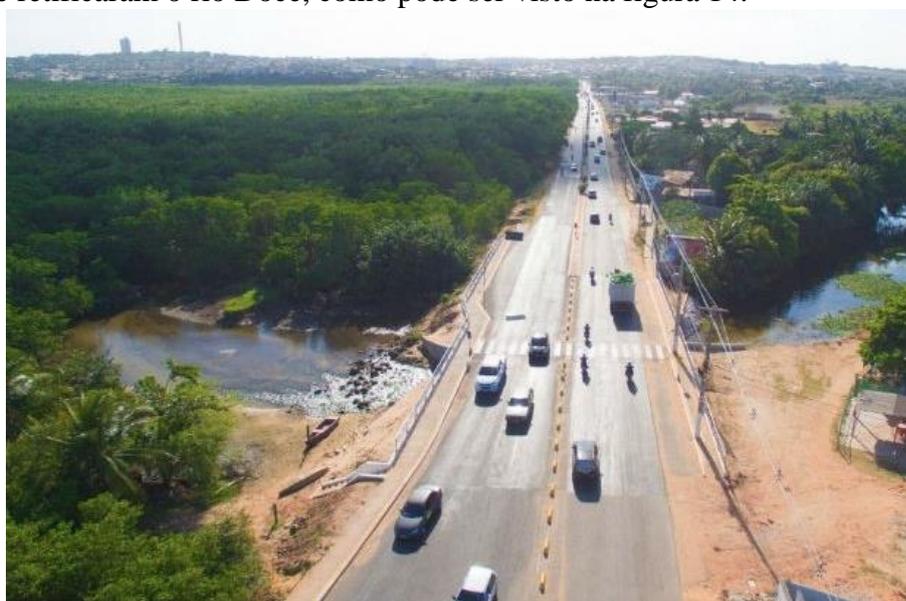


FIGURA 14: Vista aérea do rio Doce sob viaduto na Zona Norte de Natal – RN. (RIO GRANDE DO NORTE, 2016)

Observa-se, na figura 14, que houve uma retirada da vegetação para a implementação de rodovias para a melhoria na acessibilidade da Zona Norte da cidade de Natal, buscando desafogar o intenso trânsito existente naquele local.

A mineração, classificada como área antrópica não agrícola, está distribuída nas áreas em que a Geologia é caracterizada como pertencente a Suíte Intrusiva Dona Inês, com extração, basicamente, de materiais para construção civil, como o granito. São nessas áreas, também, onde foi possível observar os afloramentos rochosos existentes na bacia. Além da extração mecanizada na sub-bacia do Guajirú, observou-se a extração artesanal próximo a

nascente da sub-bacia do Rio do Mudo. Já na porção central da bacia, a areia e a argila foram os materiais mais extraídos para a construção civil, principalmente ao longo do rio Guajirú.

As áreas urbanizadas da bacia, que ocupam 162.87 km<sup>2</sup> (41,06%), foram classificadas tendo em vista 03 (três) formas de ocupação: “áreas urbanas consolidadas”, “áreas urbanas em expansão” e “áreas rururbanas”.

As áreas urbanas consolidadas são representadas por parte das cidades de Ceará-Mirim, Extremoz, São Gonçalo do Amarante e a Zona Norte de Natal, possuindo infraestruturas que a caracterizam como uma área urbana (CORRÊA, 1989).

As “áreas urbanas em expansão”, no presente trabalho, são regiões periféricas às áreas de urbanização consolidada ou distritos com infraestrutura que a definem como áreas urbanizadas. Predominam ocupações voltadas para moradia e/ou comércios e indústrias. Destacam-se áreas próximas a lagoa de Extremoz, às margens do Rio Guajiru e no sul da cidade de Ceará-Mirim, ao longo da BR- 406.

Área rururbana, conforme conceitua Gomes (2005), é caracterizada como um assentamento populacional localizado próximo aos centros urbanos onde há atividades rurais, como a produção agrícola, e não rurais, como os pequenos comércios. Nesse caso, inseriu-se as agrovilas dos 07 (sete) assentamentos rurais implantados pelo Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária – INCRA. Essas áreas que agrupam centenas de famílias que cultivam em terras cedidas pelo Governo. Além das agrovilas, identificou-se alguns sítios e povoados que não a caracterizam como uma área urbana, mas um conjunto de famílias vivendo em comunidades.

Na classificação das atividades antrópicas agrícolas, as culturas permanentes compreendem os cultivos de plantas perenes que produzem por vários anos sucessivos, sem a necessidade de novos plantios após colheita, como espécies frutíferas (mangueiras, bananeiras, cajueiros, laranjeiras), produtoras de fibras (coco-da-baía) e oleaginosas (IBGE, 2013).

Na BHRD, as principais culturas perenes são voltadas para a produção de coco e outras culturas frutíferas tais como mangueiras e cajueiros, em uma área geográfica de 20,25 km<sup>2</sup>, representando 5,10% da bacia. Devido a necessidade considerável de água para irrigação e ao tipo de solo existente na região, grande parcela dessas áreas estão localizadas às margens dos rios que formam a bacia, principalmente nas proximidades da lagoa de Extremoz.

A cultura temporária é o cultivo de plantas de curta ou média duração, com ciclo vegetativo inferior a um ano. Dentre as culturas existentes, destacam-se as de grãos e cereais, bulbos, raízes, tubérculos e hortaliças. No mapeamento de uso e cobertura da terra é considerada a maior produção da bacia. Algumas áreas confundem-se com a pastagem, ou são desenvolvidas de maneira consorciada.

Observou-se que a cultura temporária se localiza no extremo oeste da bacia e na nascente do rio Guajiru, percorrendo toda a bacia, além da produção ao longo do rio do Mudo e consorciado com pastagens existentes na porção central da bacia. Em áreas de expansão urbana, percebeu-se que a cultura temporária está, gradativamente, sendo abandonado para a construção de loteamentos residenciais.

Dentre as atividades mais observadas na bacia, a cana de açúcar se destaca na parte centro-leste da bacia, enquanto a plantação de cereais e grãos são mais observados na porção centro-oeste. O plantio de frutas, como o abacaxi, também se faz presente na bacia. Importante salientar que nos rios Doce e Guajirú existe uma grande área de plantio de hortaliças, responsáveis por abastecer a Região Metropolitana de Natal.

A área de pastagem é caracterizada pelo IBGE (2013) sendo aquela destinada a pecuária, formada pelo plantio de forragens perenes ou aproveitamento e melhoria de pastagens naturais. O solo é coberto por gramíneas e/ou leguminosas, variando entre alguns decímetros a alguns metros de altura. A área de pastagem na BHRD está localizada no extremo oeste da bacia, próximo a nascente do Rio Mudo, e na porção central da bacia, consorciada com culturas temporárias e permanentes e áreas campestres.

Na classificação das áreas de vegetação natural, observou-se duas categorias: Campestre e Florestal. As áreas classificadas como Campestre são aquelas que se caracterizam, segundo IBGE (2013), por um estrato predominantemente arbustivo, esparsamente distribuído sobre um tapete gramíneo-lenhoso. De acordo com IBGE (2012), podem ser encontradas em Savanas, Estepes, Savana-Estépica, Formações Pioneiras e Refúgios Ecológicos. Além disso, quando destinadas ao pastoreio de gado, são consideradas pastagens naturais, ainda que tenham recebido algum manejo.

Na BHRD, as áreas campestres representam 9,18% da cobertura da bacia e estão inseridas ao longo de toda sua extensão, principalmente na parte central. Se caracteriza por uma vegetação arbustiva, em áreas de produção agrícola abandonada, áreas de restinga próximo ao litoral e como pastagem para animais de criação como bovinos, equinos e caprinos.

A área Florestal é caracterizada como formações arbóreas com porte maior que 5 (cinco) metros, incluindo a Floresta Densa, Floresta Aberta, Floresta Estacional, Floresta Ombrófila Mista e as áreas de mangue (IBGE, 2013). Distribuída ao longo de toda bacia, mas cercada por atividades antrópicas, cerca de 73,95 km<sup>2</sup> ou 18,64% da cobertura da terra pertence a essa categoria. Encontra-se ao sul da bacia, nas proximidades do Aeroporto Internacional de Natal – Governador Aluizio Alves; na porção noroeste, na sub-bacia do rio do Mudo; ao longo dos rios Guajiru e do Mudo, nas proximidades da Lagoa de Extremoz; na porção norte da sub-bacia do rio Doce e na área de mangue, localizada na foz do rio Doce.

No tocante a água, observou-se que os corpos d'água existentes na bacia estão distribuídos, na porção oeste, por vários barreiros e pequenos açudes, formados de maneira natural e/ou construídos pelo homem. Na porção central da bacia, os corpos d'água se concentram próximo a nascente do rio Guajirú e ao longo do mesmo rio, por barreiras construídas pelos proprietários das terras por onde o rio percorre.

O que se coletou em campo, e conforme depoimentos de vários proprietários, há o rebaixamento acentuado no nível do lençol freático nas regiões oeste e central da bacia. No assentamento Padre Carlos Mariguella, os poços perfurados produziam água a 8 (oito) metros de profundidade e atualmente está a 15 metros.

Por fim, as áreas classificadas como uso não identificado foram aquelas que se localizavam em pontos de difícil acesso e interpretação nas imagens orbitais, como também áreas de usos múltiplos, principalmente as margens dos rios do Mudo e Guajirú, próximo das desembocaduras na Lagoa de Extremoz.

#### **4 CONCLUSÕES**

A sistematização dos dados produzidos, bem como os pré-existentes da BHRD, permitiu montar uma base de dados georreferenciados, em escala cartográfica média de 1:100.000, contendo os mapas do meio físico relacionados à Geologia, Geomorfologia, Pedologia e Clima, além dos mapas de vegetação e uso e ocupação do solo.

Observou que grande parte da BHRD está alterada por atividades antrópicas, tendo a agropecuária como o principal tipo de uso da terra em toda a bacia. Na porção centro-oeste destaca-se a pastagem e a cana de açúcar. Mais a leste observou-se a cultura perene, principalmente ligada a fruticultura, mas também a pecuária e a cultura sazonal.

Além disso, percebe-se o avanço das áreas urbanas para o leito dos rios, principalmente do rio do Mudo, nas cidades de Natal, Extremoz e Ceará-Mirim e no Guajiru e Doce pelas cidades de São Gonçalo do Amarante e Natal. O resultado desse processo de ocupação é a degradação ambiental da bacia, tais como a diminuição da quantidade e qualidade das águas da bacia subterrâneas e superficiais; a perda de fertilidade e a contaminação do solo; a perda da vegetação nativa para ocupação urbana, inclusive em áreas protegidas por lei; a mudança da paisagem local pela extração mineral.

Entende-se, portanto, que os produtos gerados neste trabalho permitiram identificar os principais elementos ambientais que constituem a BHRD, servindo como subsídio para a elaboração de trabalhos que visem a análise das potencialidades e vulnerabilidades do uso do solo da presente bacia.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AB'SABER, A. N. 1969. Um conceito de geomorfologia a serviço das pesquisas sobre o Quaternário. *Geomorfologia*, 18:1-23.
- AMARAL, C. A. (Org.).1990. João Câmara (RN). SB.25-V-C-IV. Estado do Rio Grande do Norte. Brasília: DNPM; CPRM. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil – PLGB, escala 1:100.000.
- ANGELIM, L. A. A., NESI, J. R., TORRES, H. H. F., MEDEIROS, V. C., SANTOS, C. A., VEIGA, J. P. Jr, MENDES, V. A. 2006. Geologia e recursos minerais do Estado do Rio Grande do Norte. Recife, CPRM-Serviço Geológico do Brasil, escala 1:500.000.
- AYACH, L.R.; CUNHA, E.R.; SILVA, L.F.; BACANI, V.M. 2012. Utilização de imagens google Earth para mapeamento do uso e cobertura da terra da bacia hidrográfica do Córrego Indaiá, MS. *Revista Geonorte, Edição Especial*, v.2, n.4, p.1801-1811.
- AZEVEDO, P. G. 2006. Identificação e análise da degradação ambiental no Rio Doce/RN. 58ª Reunião Anual da SBPC - Florianópolis, SC. Anais....
- BARBOSA, J. et al. Genotoxicity assessment in aquatic environment impacted by the presence of heavy metals. 2010. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 73: 320–325.
- BEZERRA, F.H.R. et al. Macau (RN): Mapa geológico. SB-24 -X-D-II. Recife, CPRM/UFRN: 2006. 1 mapa color, escala 1:100.000.
- BRIGANTE, J.; ESPÍNDOLA, E.L.G. 2003. *Limnologia fluvial: um estudo no rio Mogi-Guaçu*. Rima, São Carlos, 278 p.
- CARDOSO, J.; AQUINO, C.M.S. 2014. Mapeamento atual do uso e cobertura das terras da sub-bacia do Riacho do Roncador em Timon (MA) utilizando imagens do Google Earth. *Revista OKARA*, v.8, n.2, 2014, p.328-343.
- CASTRO, V.L.L. 2000. Águas subterrâneas no curso inferior da bacia do rio Doce/RN: subsídios para um gerenciamento integrado. Tese de Doutorado. Pós-graduação em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo – USP, 211p.
- CORRÊA, R.L. 1989. *O espaço urbano*. Editora Ática, São Paulo, 94p.
- COSTA, F.R; SOUZA, R.F.; SILVA, S.M.P. Análise comparativa de metodologias aplicadas à delimitação da bacia hidrográfica do Rio Doce – RN. *Sociedade e Natureza*, n.28, v.3, 2016, p.429-442.
- CHRISTOFOLETTI, A. 1981. *Geomorfologia fluvial*. Edgard Blücher, São Paulo, 313p.
- CUNHA, E.M.S. Evolução atual do litoral de Natal – RN (Brasil) e suas aplicações a gestão integrada. Tese (Doutorado). Programa de Doctorado de Ciencias del Mar. Departament

d'Ecologia e Departament d'Estratigrafia i Paleontologia. Universitat de Barcelona. Barcelona, 2004.

\_\_\_\_\_. Modelagem de sistemas ambientais. 1998. Edgar Blücher, São Paulo, 236p.

DANTAS, M. E.; FERREIRA, R. V. 2010. Relevô. In: PFALTZGRAFF, P. A.S.; TORRES, F. S. M. (Org.). Geodiversidade do Estado do Rio Grande do Norte. Recife: CPRM, 77-92p.

EMPARN. Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Norte. 2017. Chuvas observadas no RN. Disponível em: <http://187.61.173.26/>. Acessado em 10 março 2017.

ESQUERDO, J.C.D.M.; NEVES, R.J.; SOUZA-ESQUERDO, V.F. 2014. Caracterização de aspectos físicos e socioeconômicos da unidade de planejamento e gerenciamento do rio Iguatemi, Mato Grosso do Sul. Revista GeoPantanal, 16 (1): 91-108.

FAUSTINO, A.B.; RAMOS, F.F.; SILVA, S.M.P. 2014. Dinâmica temporal do uso e cobertura do solo na Bacia Hidrográfica do Rio Doce (RN) com base em sensoriamento remoto e SIG: uma contribuição aos estudos ambientais. Sociedade e Território 26 (2): 18-30.

FELIPE, J.L.A.; CARVALHO, E.A.; ROCHA, A.P.B. 2006. Atlas, Rio Grande do Norte: espaço geo-histórico e cultural. Editora Grafset, João Pessoa, 144p.

FONSECA, V. P.; SOUSA, M. O. L.; SILVA, F. O.; BEZERRA, F. H. R.; AMARAL, R. F.; SOUZA, Z. S.; FERREIRA, A. C.; DUTRA, R. R. 2012. Natal (RN).SB.25-V-C-V. Estado do Rio Grande do Norte. Brasília: DNPM; CPRM. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil – PLGB, escala 1:100.000.

FOREST MANAGEMENT BUREAU. 2016. Watershed characterization and vulnerability assessment using geographic information system and remote sensing. Filipinas: Forest Management Bureau. Disponível em: <http://forestry.denr.gov.ph/pdf/ref/wcvagis.pdf>. Acessado em 22 junho 2017.

GOMES, J.A. 2005. A comuna da terra: utopia e alternativa. Ediciones ABYA – YALA, Quito – Equador, 143p.

GOVERNO DO ESTADO DO RIO GRANDE DO NORTE. ASSECOM. 2016. Governo investe R\$718 mil e conclui a nova ponte sobre o Rio Doce. Disponível em: <http://www.rn.gov.br/Conteudo.asp?TRAN=ITEM&TARG=129855&ACT=&PAGE=&PARM=&LBL=Materia>. Acessado em 29 agosto 2017.

GUERRA, A.T.; TEIXEIRA-GUERRA, A.J. 2008. Dicionário Geológico-Geomorfológico. Bertrand Brasil, Rio de Janeiro, 648p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. 2014. Projeto sistematização das informações sobre recursos naturais. Carta Pedologia – SB-25. Rio de Janeiro, IBGE.

\_\_\_\_\_. 2009. Manual técnico de geomorfologia. 2ª ed. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Rio de Janeiro, 182p.

\_\_\_\_\_. 2012. Manual técnico da vegetação brasileira. Série Manuais Técnicos em Geociências 1, 2ª edição revista e ampliada. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Rio de Janeiro, 257p.

\_\_\_\_\_. 2013. Manual técnico de uso da terra. 3ª ed. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Rio de Janeiro, 154p.

JACOMINE, P. K. T. 2008. A nova classificação brasileira de solos. Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agronômica, Recife, 5/6:161-179.

JERÔNIMO, C.E.M.; SOUZA, F.R.S. 2013. Determinação do índice de qualidade da água da lagoa de Extremoz - RN: série temporal e correlação a índices pluviométricos. Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental – UFSM, 10:2219-2232.

MOURA, W. K. A. 2010. Horticultura no baixo Rio Doce, Zona Norte de Natal/RN: avaliação da qualidade da água por meio de ensaios ecotoxicológicos. Dissertação de Mestrado. Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente - PRODEMA/UFRN. Natal, RN, 102p.

PIRES, J.S.R.; SANTOS, J.E. 1995. Bacias Hidrográficas - Integração entre meio ambiente e desenvolvimento. Ciência Hoje, 19 (110): 40- 45.

PFALTZGRAFF, P.A.S. 2010. Geodiversidade do Estado do Rio Grande do Norte. CPRM, Recife – PE, 227p.

RIO GRANDE DO NORTE. 2000. Lei estadual n.7871 de 2000: dispõe sobre o zoneamento ecológico-econômico do litoral oriental do RN. Disponível em: <http://www.mprn.mp.br/portal/inicio/meio-ambiente/meio-ambiente-material-de-apoio/307-lei-no-7871-de-20-de-julho-de-2000-zoneamento-ecologico-economico-do-litoral-oriental-do-rn?path=>. Acessado em 10 julho 2017.

ROBAINA, L.E.S. 2008. Espaço urbano: relação com os acidentes e desastres naturais no Brasil. Ciência e Natura, 30 (2):93-105.

ROCHA, P.C. 2011. Sistemas rios-planície de inundação: geomorfologia e conectividade hidrodinâmica. Caderno Prudentino de Geografia, 33(1): 50-67.

ROSS, J.L.S.; DEL PRETTE, M.E. 1998. Recursos hídricos e as bacias hidrográficas: âncoras do planejamento e gestão ambiental. Revista do Departamento de Geografia, 12: 89-121.

REIS, D.R.; PLANGG, R.; TUNDISI, J.G.; QUEVEDO, D.M. 2015. Physical characterization of a watershed through GIS: a study in the Schimdt stream, Brazil. Brazilian Journal of Biology. 75 (4):16-29.

RIO GRANDE DO NORTE. Governo investe R\$ 718 mil e conclui a nova ponte sobre o Rio Doce. Disponível em: <http://www.sin.rn.gov.br/Conteudo.asp?TRAN=ITEM&TARG=129855&ACT=&PAGE=&PARM=&LBL=Contatos> . Publicada em 10/10/2016. Acesso em: 10 dez. 2017

Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Estado do RN - SEMARH. 2005. Programa estadual de desenvolvimento sustentável e convivência com o semi-árido potiguar. Relatório de Avaliação do Programa. Natal – RN, 157p.

ROSA, R.; SANO, E.E. 2014. Uso da terra e cobertura vegetal na bacia do Rio Paranaíba. CAMPO-TERRITÓRIO: revista de geografia agrária, v.9, n.19, 2014, p.32-56.

SECRETARIA DE MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS – SEMARH/RN. 2000. Bacia do Rio Doce. Disponível em:

<http://servicos.searh.rn.gov.br/semarh/sistemadeinformacoes/consulta/cBaciaDetalhe.asp?CodigoEstadual=07>. Acessado em abril 2016.

SOARES, R. C. 2006. Diagnóstico e avaliação geoquímico-ambiental da zona de proteção ambiental 9 (ZPA-9), baixo curso do Rio Doce, Natal/RN. Dissertação de Mestrado. Pós-Graduação em Geociências, Departamento de Geologia, Centro de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 103p.

TEIXEIRA, A.C.O.; ALMEIDA, T.M.; MOREAU, M.S.; MOREAU, A.M.S.S.; CORREIO, M.N.C. 2012. Caracterização física e socioeconômica da bacia hidrográfica do rio Gongogi, Bahia. *Caminhos de Geografia*, 13(43): 293-310.

THORNTHWAITE, C.W. 1948. An approach toward a rational classification of climate. *Geographical Review*. 38(1):55-94.

VITTE, A.C. 2007. O desenvolvimento do conceito de paisagem e a sua inserção na geografia física. *Mercator – Revista de Geografia da UFC*, 06(11):71-78.

## **CAPÍTULO 3**

### **CARACTERIZAÇÃO PLUVIOMÉTRICA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO DOCE – RN/BRASIL**

Artigo submetido à Revista **Caderno Prudentino de Geografia** –

Qualis B1 em Ciências Ambientais.

**ISSN: 2176-5774**

**Caracterização Pluviométrica da Bacia Hidrográfica do Rio Doce –  
RN/BRASIL**  
**Rainfall Characterization of Rio Doce Watershed, northeastern region of  
Brazil**  
**Caracterización Lluvia de Rio Doce Cuenca-RN/Brasil**

**RESUMO**

A bacia hidrográfica do Rio Doce – RN/Brasil (BHRD) se caracteriza como uma área de atividades agropecuárias, extração mineral e expansão urbana. O objetivo desse trabalho foi analisar e espacializar os dados de precipitação da BHRD entre os anos de 1997 e 2016. Os dados foram obtidos na EMPARN, trabalhados em planilhas eletrônicas e transferidos para o SIG QGIS Essen 2.14. Os resultados mostraram que a maior precipitação anual, no alto curso da bacia, foi de 1.387,7 milímetros (mm) (2009) e a menor de 328,5 mm (2010). No médio curso, a maior precipitação foi de 1.772,4 mm, em 2004 e a menor de 609,1 mm, em 2010. Já no baixo curso, a maior precipitação foi de 2.221,5 mm em 2004 e a menor de 753 mm em 2016. A média pluviométrica dos últimos 20 anos foi de 1036,10 mm, considerada uma precipitação acumulada de seco a normal, com tendência a mais seco. A média do número de dias com chuvas no ano foi de 81, em torno de 7 dias por mês. O período menos chuvoso está entre os meses de setembro e dezembro e mais chuvoso entre abril e julho. A pequena quantidade de pluviômetros na BHRD, aliado ao curto período de tempo considerado na análise (1997-2016), geraram distorções em relação aos valores totais e médios, mas não influenciaram na espacialização das chuvas no período estudado.

Palavras-chave: clima, bacia hidrográfica, SIG, vulnerabilidade.

**ABSTRACT**

The Rio Doce watershed (BHRD) in the northeastern region of Brazil is characterized as an area of agricultural activities, mining and urban expansion. The objective of this work was to analyze and spatialize the characteristics of rainfall on the BHRD, between the years of 1997 and 2016. The data were obtained in EMPARN, worked in spreadsheets and transferred to GIS QGIS Essen 2.14. The results showed that the highest annual rainfall in the upper course of the basin was 1,387.7 millimeters (mm) (2009) and the smallest of 328.5 mm (2010). In the middle course, the largest precipitation was 1,772.4 mm in 2004 and the lowest of 609.1 mm in 2010. In the lower course, the largest precipitation was 2,221.5 mm in 2004 and the lowest of 753 mm in 2016. The average rainfall of the last 20 years was 1,036.10 mm, considered a dry to normal rainfall, with a tendency to dry. The average number of days with rainfall in the year was 81, around 7 days per month. The less rainy period is between September and December and wettest between April and July. The small amount of rain gauges on BHRD, coupled with the short period of data obtained (1997-2016), have created distortions in relation to the total and average values, but did not affect the spatialization of rainfall in the studied period.

Keywords: climate, watershed, GIS, vulnerability.

**RESUMÉN**

La cuenca de lo Río Doce-RN/Brasil (BHRD) se caracteriza por ser un área de actividades agrícolas, minería y expansión urbana. El objetivo de este trabajo fue analizar y espacializar las características de las precipitaciones en la BHRD, entre los años de 1997 y 2016. Los datos fueron obtenidos en EMPARN, trabajados en hojas de cálculo y transferidos a Essen de QGIS SIG 2.14. Los resultados mostraron que la precipitación anual más alta en el curso superior de la cuenca era 1.387,7 milímetros (mm) (2009) y el más pequeño de 328,5 milímetros (2010). En el curso medio, la mayor precipitación fue 1.772,4 mm, en 2004 y la más baja de 609,1 mm en 2010. En el curso inferior, la mayor precipitación fue 2.221,5 mm en 2004 y la más baja de 753 mm en 2016. El promedio de precipitaciones de los últimos 20 años fue de 1036,10 mm, considerado un seco para lluvias normales, con tendencia a seco. El número promedio de días con precipitaciones en el año fue de 81, alrededor de 7 días al mes. El período menos lluvioso es entre los meses de septiembre y diciembre y lluvioso entre abril y julio. La pequeña cantidad de pluviómetros en BHRD, junto con el corto período de datos obtenidos (1997-2016), ha creado distorsiones en relación con los valores totales y promedio, pero no trabajó en la visualización espacial de la distribución de precipitaciones en el periodo estudiado.

Palabras clave: clima, cuenca, SIG, vulnerabilidad.

## ***1 Introdução***

Embora esteja localizado próximo ao Equador, o Nordeste Brasileiro (NEB) não apresenta uma distribuição de chuvas típicas dessas áreas (KAYANO e ANDREOLI, 2009). Segundo Kayano e Andreoli (2009), o NEB apresenta 03 (três) tipos de climas, com precipitação variando entre 300 e 2000 milímetros (mm) por ano. Esses climas são: o litorâneo úmido, que se estende do litoral da Bahia ao Rio Grande do Norte; o tropical, englobando porções dos Estados da Bahia, Ceará, Maranhão e Piauí; e o tropical semiárido, compreendendo todo o sertão nordestino.

O NEB apresenta acentuada variabilidade interanual, particularmente na precipitação, com alguns anos extremamente secos e outros excessivamente chuvosos. Rao et al (1993) afirmam que, no norte do NEB, a principal estação chuvosa ocorre nos meses de março a maio; no sul, de dezembro a fevereiro; e no leste de maio a julho. Para a região do NEB como um todo, a principal estação chuvosa se dá nos meses de abril a julho, período que explica a concentração de 60% das chuvas anuais. Contrariamente, a estação seca, na maior parte da região do NEB, ocorre entre os meses de setembro e dezembro (RAO et al., 1993).

Localizada na porção leste do NEB e do Estado do Rio Grande do Norte, a Bacia Hidrográfica do Rio Doce – BHRD/RN constitui uma unidade geográfica com diversas formas de ocupação, desde a agricultura familiar aos parques fabris e industriais. As ocupações urbanas também ocorrem em Zonas de Proteção Ambiental. A BHRD/RN é formada pelos rios Guajirú e do Mudo, sendo esses seus principais afluentes, que desembocam na Lagoa de Extremoz, transformando-se, à jusante desta, no rio que dá nome à bacia.

Segundo Lucas et al (2009), entender a distribuição espacial da pluviosidade é importante para o planejamento e gestão dos recursos hídricos, pois permite analisar a oferta hídrica em uma bacia, bem como avaliar as formas de uso da água, prevenindo possíveis problemas, tais como a contaminação e/ou escassez quali/quantitativa da água.

A importância da caracterização pluviométrica em bacias hidrográficas pode ser observada por trabalhos já publicados acerca dessa temática. Simioni et al. (2014) realizaram a caracterização da precipitação pluviométrica na Bacia Hidrográfica do Rio Ibicuí/RS. Para isso, utilizaram dados pluviométricos de um período temporal de 30

anos, com os quais foi possível gerar isoietas para observar o ano-padrão de chuvas, a precipitação total anual, os anos mais e menos chuvosos e a média anual.

Santos et al. (2014) realizaram o zoneamento da precipitação pluviométrica na Bacia Hidrográfica do Rio Tapajós/PA, com o objetivo de avaliar a distribuição espacial da precipitação ao longo da bacia, definindo as áreas com maiores e menores potenciais de oferta hídrica. Na sua elaboração, foram empregadas análises de séries históricas, definição de acumulados e médias, modelagem por meio de interpoladores e zoneamento das áreas de maior e menor oferta hídrica.

Martins e Rosa (2012) utilizaram as geotecnologias para sistematizar e espacializar os dados climatológicos gerados pelas estações automáticas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), na Bacia do Rio Paranaíba em Minas Gerais. Os dados foram sistematizados em planilhas eletrônicas e espacializados pelo Método “Inverse Distance Weighted” (IDW), sendo posteriormente convertidos para o formato *raster*, para recorte e atribuição de uma paleta de cores a fim de demonstrar a variação dos mesmos. Como resultado, observou-se que não existe um padrão definido de distribuição espacial dos elementos, devido, em parte, à quantidade insuficiente de informações e à má distribuição espacial das estações pluviométricas.

Outros recortes geográficos também foram trabalhados para fins de caracterização pluviométrica, como é o caso da Europa Mediterrânea, em que Llasat e Rodriguez (1997) elaboraram a sua caracterização pluviométrica, focando, principalmente, nos eventos de grandes chuvas. Em um primeiro momento, foi analisada uma série de dados pluviométricos mensais de 16 estações, compreendendo o período de 1940 a 1990. O trabalho visou comparar as diferentes tendências e anomalias das chuvas. Llasat e Rodriguez (op cit) também realizaram uma análise da distribuição de eventos pluviais com mais de 200 milímetros, ocorridas em 24 horas, a partir de informações obtidas em 410 estações, no mesmo período, para posterior comparação dos resultados obtidos em cada área estudada.

Bazaraa e Ahmed (1991) caracterizaram a precipitação na cidade de Doha (Catar). Os dados pluviométricos incluíram informações diárias a partir de 1962, bem como temporais, a partir de 1976. Os resultados mostraram que as precipitações, na área em estudo, possuem alta variabilidade e tempestades severas.

Kisaka et al. (2014) examinaram a extensão do período de pluviosidade, ocorrência de secas e a eficácia do uso de técnicas de interpolação na porção oriental do Quênia. Para tanto, foram realizadas análises da variabilidade pluviométrica, utilizando um indexador para anomalias em precipitações, coeficientes de variância e probabilidade de análises. Segundo o autor, o método de interpolação Krigagem se apresentou como a técnica de interpolação geoestatística mais adequada para geração de mapas de precipitação espacial.

Wanderley et al. (2014) utilizaram Redes Neurais Artificiais (RNA's) para propor diferentes procedimentos na interpolação espacial de dados pluviométricos no Estado de Alagoas. Para a realização do estudo, foram utilizadas 245 estações pluviométricas, localizadas nos Estados de Alagoas e Pernambuco, com informações de latitude, longitude, altitude.

As pesquisas supracitadas utilizaram como ferramenta os Sistemas de Informação Geográfica – SIG. Segundo Kisaka et al. (2014), a utilização de técnicas como a IDW, Spline e a interpolação por Krigagem, é importante para estudos ligados ao clima, particularmente aos estudos pluviométricos. Cabe salientar que a área em estudo possui poucas estações pluviométricas, sendo necessária a realização da interpolação dos dados visando reavaliar dados considerados inconsistentes, bem como contornar o problema de dados ausentes. Segundo Wanderley et al. (2014), essa técnica permite a elaboração de um novo conjunto de dados, a partir de um conjunto discreto de dados pontuais já conhecidos, “permitindo a análise para regiões que não dispõem de registros, em decorrência da ausência de estação de medição, ou que apresentem falhas em seu banco de dados” (WANDERLEY et al., 2014, p.390).

Diante do exposto, o presente trabalho buscou realizar uma caracterização pluviométrica da Bacia Hidrográfica do Rio Doce – RN, com o objetivo de analisar, espacializar e divulgar as principais características da distribuição das precipitações na bacia, tais como a média anual, os meses e anos mais e menos chuvosos e o total de dias e meses de chuva, com base em dados pluviométricos registrados entre os anos de 1997 e 2016. Para ratificar os resultados, fez-se uma análise comparativa dos dados pluviométricos trabalhados por Castro (2000) para a bacia, no período de 1910 a 1979. Os resultados obtidos poderão servir de base para um melhor planejamento na ocupação

e uso do solo da bacia visando, principalmente, as sustentabilidades econômica e ambiental.

## 2. Materiais e métodos

### 2.1. Caracterização da área de estudo

A Bacia Hidrográfica do Rio Doce está localizada na porção leste do Estado do Rio Grande do Norte, sendo limitada pelos paralelos  $05^{\circ} 48' 00''$  e  $05^{\circ} 36' 00''$  S e pelos meridianos  $035^{\circ} 42' 00''$  e  $035^{\circ} 36' 00''$  W Gr., DATUM SIRGAS 2000, compreendendo uma área de 396,7 km<sup>2</sup> (COSTA et al., 2016) (FIGURA 1).

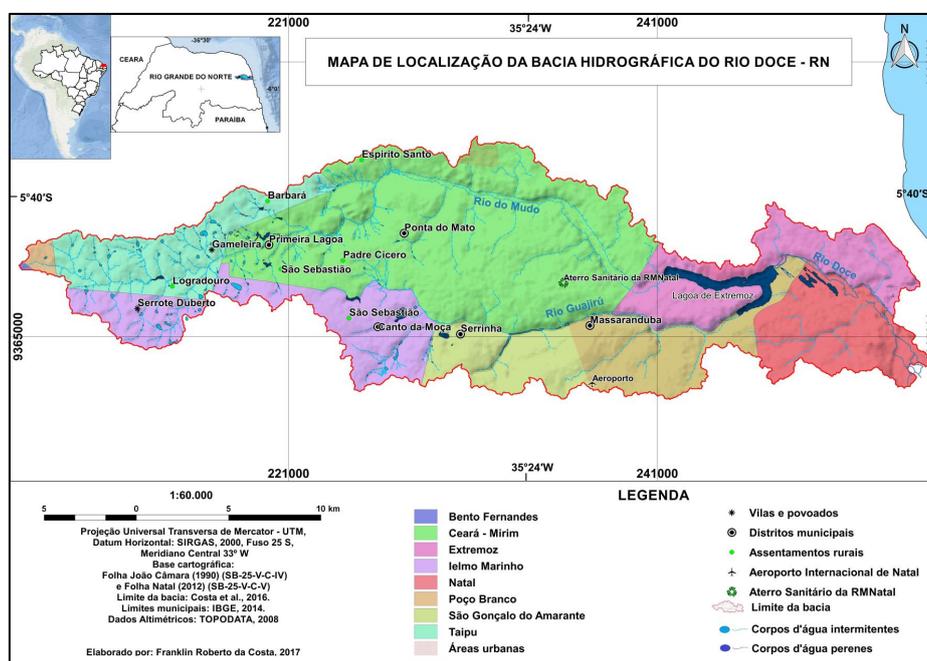


Figura 1. Localização da área em estudo. Fonte: Costa et al., 2016.

Essa bacia é uma das mais importantes da Região Metropolitana de Natal, especialmente para a Zona Norte do Município de Natal, onde se encontra a Lagoa de Extremoz, que é a maior fonte de abastecimento d'água da região. A bacia recobre partes de 8 (oito) municípios, quais sejam, Ceará-Mirim, Extremoz, Natal, Ielmo Marinho, São Gonçalo do Amarante, Taipu, Poço Branco e Bento Fernandes, onde atuam diversos atores sociais, a saber: produtores rurais, empresários e a sociedade civil como um todo. Segundo Castro (2000), o rio Doce tem origem na Lagoa de Extremoz, que é alimentada pelos rios intermitentes Guajirú e do Mudo, principais tributários da bacia, localizados a montante dessa lagoa. A geologia da bacia compreende sedimentos

tércio-quaternários e quaternários, que repousam sobre rochas pré-cambrianas do embasamento cristalino.

Cunha (2004) afirma que esse rio corre sobre sedimentos quaternários de dunas e aluviões até a sua desembocadura, sendo alimentado por vários olheiros em aproximadamente 14 km de percurso, já que seu leito está localizado em um nível mais baixo que o nível estático das águas.

A evolução paleogeográfica nas cercanias da foz da bacia foi complexa, por estar ligada ao desenvolvimento do campo de dunas que contorna e desvia sua desembocadura e a rede de drenagem natural, formando lagoas alinhadas que, em determinadas ocasiões, comunicam-se entre si. Cunha (2004) afirma que houve uma migração de alguns quilômetros da sua desembocadura, como resposta à ação eólica existente. No ano de 1965, para evitar o total soterramento do curso do rio pelo avanço das dunas, o Departamento Nacional de Obras e Saneamento - DNOS canalizou o rio através de dragagens e outras obras superficiais, levando seu curso para o estuário do rio Potengi, através do Canal de Manimbu (CUNHA, 2004). Cunha (op cit) relata ainda que estudos batimétricos de detalhe, realizados em setembro de 2001, permitiram observar um paleocanal do rio Doce, comprovado a partir de levantamentos geofísicos com registros na área de pós-praia da Redinha Nova.

A geomorfologia na BHRD/RN está representada por unidades da Depressão Sertaneja, Tabuleiros, Dunas fixas e móveis, Planície Flúvio-Marinha e Planície de Inundação Fluvial (IDEMA, 2012). Os solos são classificados, de acordo com EMBRAPA (2006), em Neossolo Quartzarênico, Latossolo Amarelo Distrófico, Planossolo solódico, Solos Indiscriminados de Mangue e o Argissolo Vermelho-Amarelo Eutrófico (IGARN, 2009).

Em relação ao clima, Felipe et al. (2006) elaboraram o mapa das unidades climáticas do Estado, a partir de dados obtidos no Instituto de Desenvolvimento do Rio Grande do Norte, subdividindo-as em 5 (cinco) tipos de clima: Úmido, Sub-úmido, Sub-úmido seco, Semiárido e Semiárido Rigoroso (FIGURA 2A).

A BHRD está localizada nas unidades climáticas Sub-úmido e Sub-úmido Seco. Segundo Felipe et al. (2006), o clima Sub-úmido é caracterizado por médias pluviométricas anuais que variam entre 800 e 1200 milímetros. Equivale, na classificação de Köppen, ao clima tropical chuvoso, com estação chuvosa começando

entre fevereiro e março, prolongando-se até os meses de agosto e setembro. Ainda segundo estes autores, o clima Sub-úmido seco possui média de precipitação entre 600 e 800 milímetros. Equivale na classificação de Köppen, à transição entre o Tropical Típico (Aw) e o Semiárido (Bs).

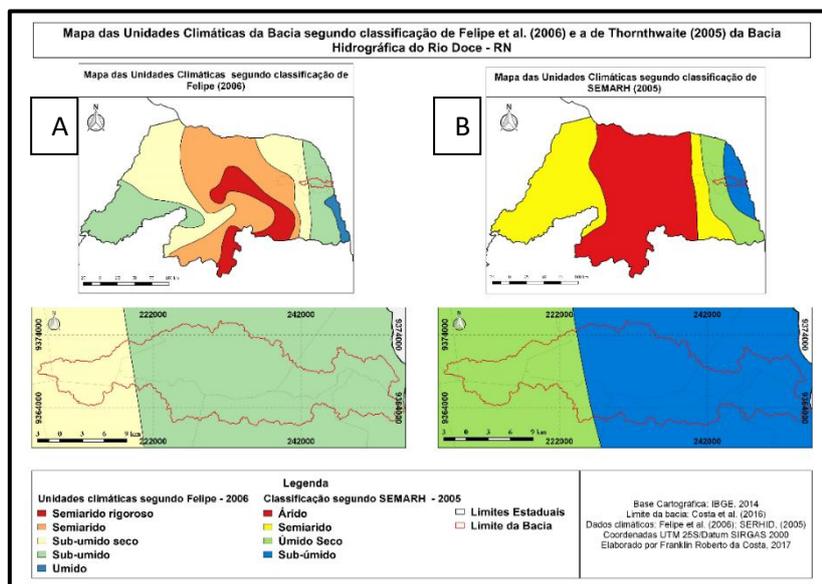


Figura 2. Mapa das unidades climáticas da BHRD, a partir de Felipe et al. (2006) (A) e SEMARH (2005) (B).

Já na classificação da SEMARH (2005) (FIGURA 2B), que teve como referência a classificação de Thornthwaite (1948), a bacia está inserida nas unidades Sub-úmido (CIDA'a') e Úmido seco (C1WA'a'). A primeira unidade tem como característica um clima seco e sub-úmido, com pequeno ou nenhum excesso de água, megatérmico e com baixa variação estacional. Já o úmido seco tem como característica um clima seco e sub-úmido, moderado excesso de água, megatérmico e baixa variação estacional. Percebeu-se que ambas as classificações mostram uma área de transição nas unidades climáticas existentes na bacia, partindo de leste para oeste, com menores precipitações.

A classificação mais aceita e adequada para a bacia é a da SEMARH (2000), que, a partir da classificação de Köppen, caracteriza o clima como predominantemente do tipo As' – clima tropical chuvoso com verão seco (SEMARH, 2000). A estação chuvosa se aproxima no período do outono (entre março e junho); as chuvas anuais médias crescem do interior para o litoral, passando de 700 milímetros nas cabeceiras para 1.400 milímetros na foz.

Em relação à precipitação, Castro (2000) realizou uma caracterização na BHRD, tendo como referência os dados dos Postos Pluviométricos dos municípios de Taipu (alto curso do rio), Ceará-Mirim (médio curso), do período de 1912 e 1976, e Natal (baixo curso), com dados dos anos de 1910 a 1979. Segundo a autora, a maior precipitação pluviométrica no alto curso da bacia foi de 2432 mm e a menor de 306 mm. A média obtida no mesmo período foi de 733,29 mm. No médio curso, a maior precipitação foi de 2098 mm e a menor de 382 mm, com média anual de 1032,65 mm. Já no baixo curso, a maior precipitação foi de 3511 mm e a menor de 530 mm, com média anual de 1563 mm.

A temperatura média, no médio curso da bacia, foi de 25,4°C, com variações de 24°C a 26,5°C e amplitude térmica de 2,5°C. Já no baixo curso, as temperaturas variaram entre 24,4°C e 27,3°C, com média anual de 26,2°C e amplitude térmica de 2,9°C. Em toda a bacia, os meses mais quentes são dezembro, janeiro e fevereiro e os mais frios são julho, agosto e setembro (CASTRO, 2000).

Somando-se as médias obtidas por Castro (2000), a média pluviométrica da bacia para o período analisado foi de 1109,65 mm. Já a temperatura média da bacia variou entre 24°C e 27,3°C com uma amplitude térmica de 3,3°C.

## *2.2 Obtenção e organização dos dados*

A obtenção dos dados pluviométricos foi realizada no site da Empresa de Pesquisa Agropecuária do Estado do Rio Grande do Norte – EMPARN, que fornece os dados diários das chuvas por município, desde o ano de 1992 até os dias atuais.

Além das chuvas diárias, a empresa fornece também dados relativos às médias mensais e anuais, bem como gráficos e mapas que demonstram a distribuição das chuvas por todo o Estado. Os dados precisam ser transferidos para planilhas eletrônicas para posterior análise. Para o presente trabalho, foram analisados os dados pluviométricos dos últimos 20 anos (1997 – 2016), tendo como referência os municípios pertencentes à bacia.

Algumas observações pluviométricas apresentaram falhas (ausências) em seus registros. Entretanto, como é necessário se trabalhar com dados contínuos, para realizar o preenchimento dessas lacunas, calculou-se a média aritmética dos postos vizinhos. Este método consiste em calcular a média aritmética de, pelo menos, 03 (três)

estações pluviométricas vizinhas à estação com a lacuna de dados (PAULHUS; KOHLER, 1952). Segundo os autores, esse procedimento é usado se a precipitação normal anual em cada uma das 03 (três) estações vizinhas for diferente, no máximo, até 10% da estação com falha.

Os dados foram inseridos em planilhas eletrônicas e as lacunas foram preenchidas, para que se pudesse, então, obter a média anual dos municípios e da bacia, no período de 20 anos (QUADRO 1).

<b>X</b>	<b>Y</b>	<b>Municípios</b>	<b>Média por município</b>
188492	9371869	Bento Fernandes	624,82
234606	9380968	Ceará – Mirim	1164,04
248651	9371567	Extremoz	1227,20
217556	9360030	Ielmo Marinho	961,21
253169	9358042	Natal	1720,31
201481	9383475	Poço Branco	664,03
238148	9359730	São Gonçalo do Amarante	1243,36
213594	9380735	Taipu	692,86
<b>Média total</b>			<b>1036,10</b>

Quadro 1. Média, por município, das precipitações entre os anos de 1997 e 2016  
Fonte: EMPARN, 2017.

A planilha eletrônica finalizada foi salva no formato separado por vírgulas (\*.csv), para ser inserida no Banco de Dados Geográficos – BDG do Sistema de Informação Geográfica – SIG QGIS Essen 2.14. Além dos dados pluviométricos, foram utilizadas as coordenadas planas (UTM) das estações meteorológicas que forneceram os dados pluviométricos para a espacialização dos dados.

Esses dados serviram de base para a elaboração do mapa da distribuição pluviométrica na BHRD, apresentado em tonalidades que variaram do azul mais escuro (maiores pluviometrias) ao vermelho (menores pluviometrias).

### 2.3 Preparação do Projeto e do Banco de Dados Geográficos no Ambiente SIG

O Banco de Dados Geográficos – BDG foi construído no ambiente do Sistema de Informações Geográficas – SIG QGIS Essen 2.14, com dados vetoriais pontuais e poligonais, em formato *shapefile* (\*.shp). Além das informações pontuais dos

pluviômetros, foram inseridos o polígono representando o limite da bacia (COSTA et al., 2016) e os limites municipais (IBGE, 2014).

O projeto e os dados vetoriais foram gerados com o sistema de coordenadas UTM, Datum SIRGAS 2000, Fuso 25, Hemisfério Sul, cuja EPSG escolhida foi a 31985.

#### *2.4 Métodos aplicados para elaboração dos resultados (mapas e gráficos)*

Os dados secundários obtidos na EMPARN foram inseridos na planilha eletrônica para a elaboração dos mapas referentes às características pluviométricas da BHRD. Os dados são referentes às chuvas diárias, mensais e anuais, dos anos de 1997 a 2016.

Para a identificação dos anos mais e menos chuvosos na bacia, Castro (2000) teve como referência 01 (uma) estação pluviométrica para os trechos do alto, médio e baixo curso da BHRD. Para o presente trabalho, uniram-se os dados dos pluviômetros instalados nos municípios pertencentes a bacia e realizou-se a média aritmética simples. O objetivo foi aproximar-se da média das precipitações por trecho com mais dados espaciais, em relação a trabalhos anteriores, como o de Castro (2000).

Os procedimentos para a organização dos dados pluviométricos da BHRD foram os seguintes:

- Para as estações pluviométricas que apresentaram “anos” sem coleta, calculou-se a média aritmética das 03 estações mais próximas, denominada Método da Média Aritmética dos postos vizinhos;
- Para os dias de chuva sem coleta, calculou-se uma média aritmética das mesmas datas, durante os 20 anos (1997 – 2016), a partir de uma planilha eletrônica;
- Com a planilha definida, foram calculados os valores médios da precipitação diária, mensal e, por fim, a anual.

Para isto, foi elaborada uma tabela em formato separado por vírgulas (\*.csv), depois inseridos no SIG QGIS. Com a janela aberta, o passo seguinte foi a busca do arquivo dos dados, a inserção do nome da camada, a escolha do formato do arquivo (utilizando o ícone “delimitadores personalizados”) e, posteriormente, escolheu-se os itens “ponto e vírgula” e “tabulação”. Na opção “definição de geometria”, com as

coordenadas inseridas na tabela, optou-se pelo ícone “coordenadas de ponto”, definindo os campos X e Y para importação dos dados (FIGURA 3).

A distribuição dos pontos com informações das precipitações, se deu a partir da localização dos pontos pluviométricos existentes em cada município da bacia.

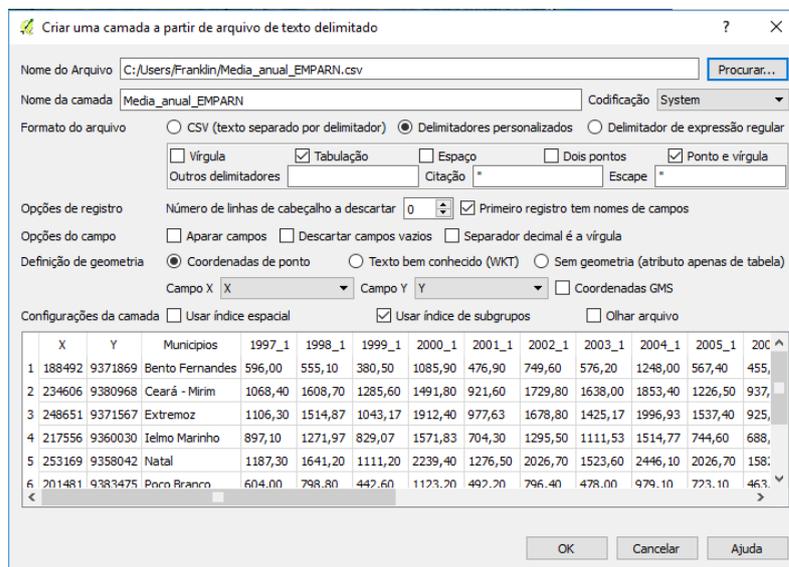


Figura 3. Janela da criação da camada dos pontos de coleta dos dados de chuvas da BHRD.

Na interpolação dos dados, aplicou-se a técnica do Inverso do Quadrado da Distância – IDW ou IQD, para gerar o arquivo *raster* no formato *.tiff*, apresentando como resultado uma série de mapas representando informações relativas à média diária, mensal e anual das precipitações na bacia.

Segundo Marcuzzo et al. (2011), esse método é utilizado, com frequência, para interpolar e gerar modelos digitais de terreno, bem como para fazer estudos do comportamento espacial e temporal da chuva a partir da espacialização da precipitação nas bacias hidrográficas.

O método de interpolação IDW é uma ferramenta de análise espacial em que cada amostra assume uma influência local, diminuindo a partir da distância. Segundo Amorim et al. (2008), esse método admite que os pontos mais próximos influem mais que os pontos mais afastados. No QGIS, essa ferramenta está localizada no menu da barra de ferramentas denominada “*raster*”, e, posteriormente, no menu “interpolação”. Com a janela aberta, na parte da entrada, selecionou-se a camada vetorial com os pontos pluviométricos e, na definição da interpolação, foram escolhidas as variáveis para cada mapa temático (FIGURA 4).

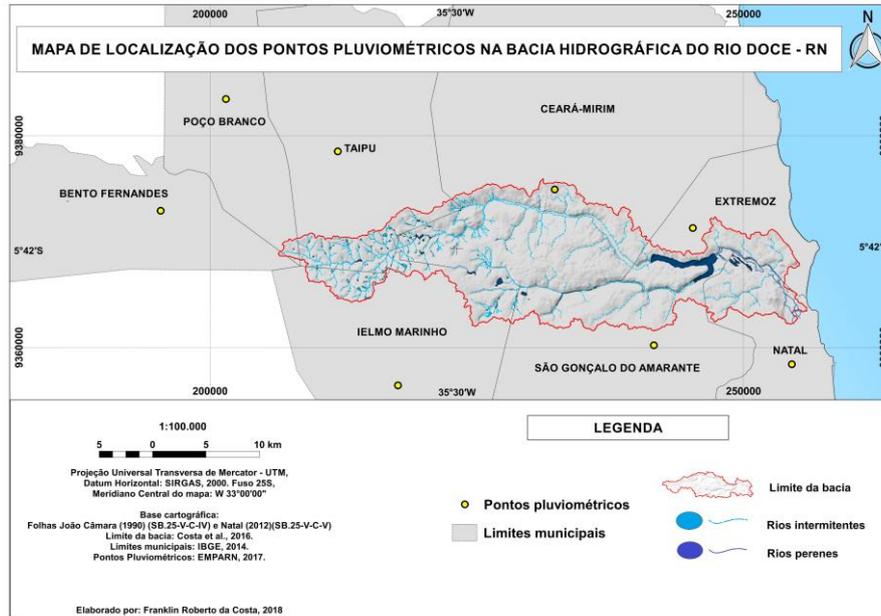


Figura 4. Localização dos pontos pluviométricos considerados.

Como forma de saída, escolheu-se o método de interpolação (IDW) e o tamanho das células X e Y de 30 x 30 metros. A área de interpolação foi definida como sendo maior que a área da bacia, para que se pudesse fazer o recorte do limite geográfico da BHRD. Para que isso ocorresse, aumentou-se a área de extensão na tela do QGIS, e utilizou-se o ícone “Definir pela extensão atual”. O passo seguinte foi inserir o nome do arquivo de saída (FIGURA 5).

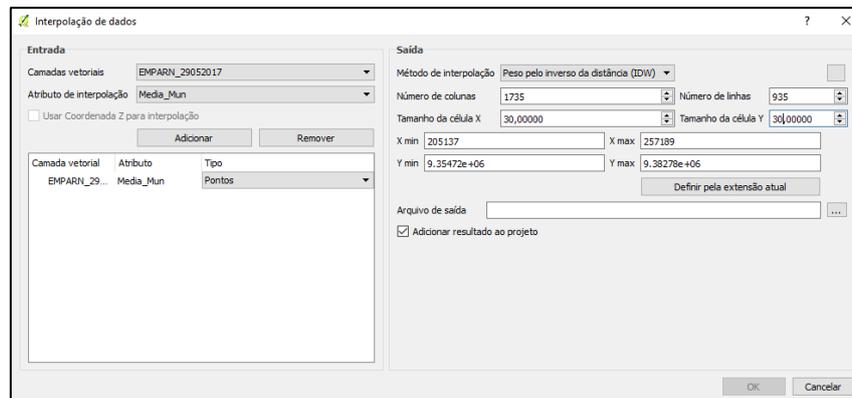


Figura 5. Janela da criação da camada dos pontos de coleta dos dados de chuvas da BHRD.

O produto gerado foi um arquivo *raster*, formato TaggedImage File Format (\*.tiff), com as manchas relativas à distribuição espacial da precipitação anual da BHRD, em escala de níveis de cinza. Fez-se a coloração dos intervalos com tons degradê que variaram do azul escuro (maiores precipitações) ao azul claro (menores precipitações).

Após a interpolação, o passo seguinte foi a extração das isoietas, acionando-se no software QGIS, a extração dos contornos.

Na janela aberta, escolheu-se o arquivo de entrada (Imagem interpolada), o arquivo de saída, o intervalo entre isoietas e o nome do atributo necessário para a construção do BDG da variável analisada.

O intervalo entre as isoietas foi definido como 50, construindo-se, assim, isoietas com intervalos de 50 milímetros de precipitação na bacia.

### 3. Resultados e discussão

#### 3.1 Análise das precipitações anuais na BHRD

A Figura 6 apresenta o gráfico da média das precipitações anuais na BHRD/RN.

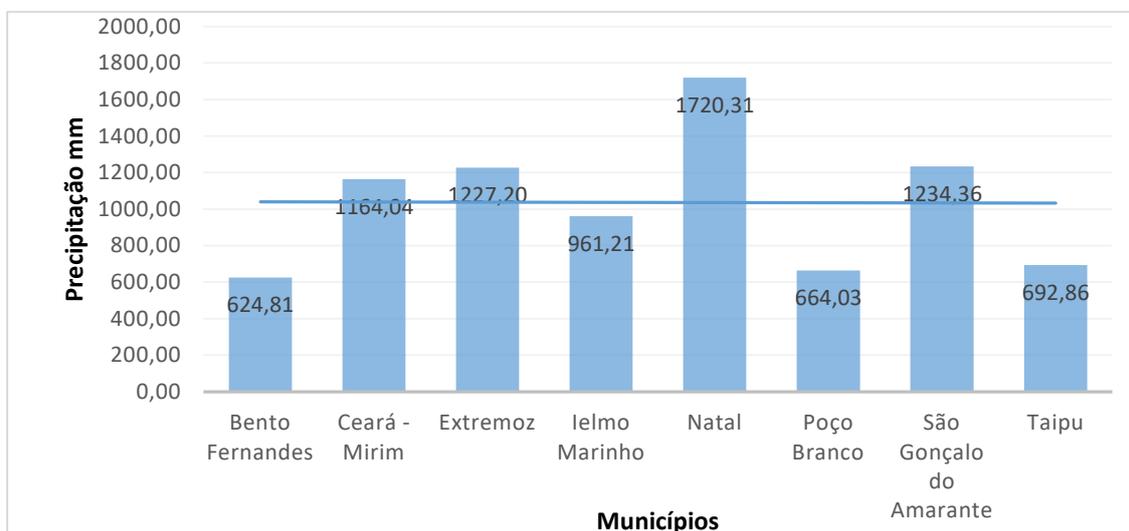


Figura 6. Gráfico representando a média da precipitação anual, por município, na BHRD.

A média pluviométrica anual na bacia, entre os anos de 1997 e 2016, é de 1036,10 milímetros. Desta média, Natal possui a maior delas, com 1720,31 milímetros, seguido pelos municípios de Extremoz, com 1227,20 milímetros; São Gonçalo do Amarante, com 1234,36 milímetros e Ceará-Mirim; com 1164,04 milímetros; estes últimos localizados na porção centro-leste da bacia, mais próximos do litoral, também com valores acima da média anual da bacia. Já Ielmo Marinho, com 961,21 milímetros; Taipu, com 692,86 milímetros, Poço Branco, com 664,03 milímetros e Bento Fernandes, com 624,82 milímetros, localizados na porção centro-oeste da bacia, apresentam as menores médias pluviométricas, abaixo, portanto, da média anual geral da bacia (FIGURA 7).

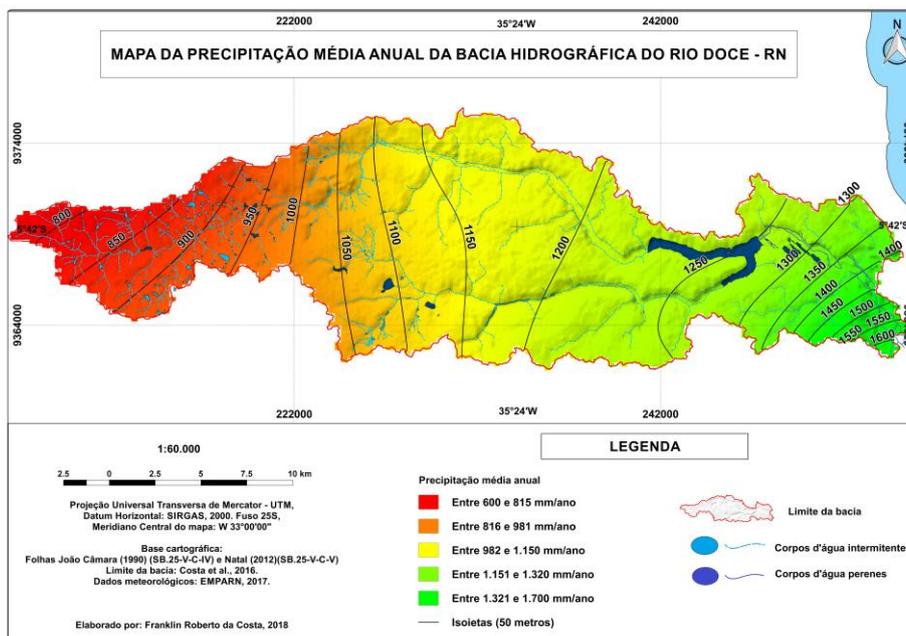


Figura 7. Mapa da média pluviométrica anual na BHRD (1997 – 2016), a partir dos dados da EMPARN de 2017.

No período analisado, a maior precipitação anual, no alto curso da bacia, foi de 1387,7 mm, no ano de 2009, e a menor, de 328,5 mm, no ano de 2010. A média obtida, no período, para o alto curso foi de 735,7 mm. No médio curso, a maior precipitação foi de 1772,4 mm, no ano de 2004, e a menor, de 609,1 mm, no ano de 2010. A média anual, desse trecho da bacia, foi de 1199,2 mm. Já no baixo curso, a maior precipitação foi de 2221,5 mm, no ano de 2004, e a menor, de 753 mm, no ano de 2016, com média anual de 1473,8 mm.

Na Figura 7 observa-se que, afastando-se do litoral, a precipitação diminui consideravelmente, chegando ao extremo oeste da bacia com uma média anual que é a metade do valor da precipitação média anual do extremo leste. A zona de transição entre as áreas de maior e menor precipitação anual está na porção central da bacia, onde se pode perceber, pelas isoietas, que, a partir do município de Ceará-Mirim, na direção oeste, as precipitações estão abaixo da média anual da bacia.

Na Bacia Hidrográfica do Rio Doce, foram analisados os dados pluviométricos relativos aos 8 municípios pertencentes à bacia, distribuídos em 5 microrregiões: Baixa Verde (Bento Fernandes e Poço Branco), Litoral Nordeste (Taipu), Macaíba (Ceará-Mirim, São Gonçalo do Amarante), Natal (Natal e Extremoz), Agreste Potiguar (Ielmo Marinho). Para cada Microrregião, a EMPARN (2017) adotou

intervalos de valores, em quantis, que caracterizam a precipitação anual acumulada como muito seco, seco, normal e muito chuvoso (QUADRO 2).

Quadro 2. Caracterização da precipitação acumulada, por ano, entre 1997 e 2016

Municípios	Média da Pluviosidade anual (mm)	Muito Seco	Seco	Normal	Muito Chuvoso	Característica da precipitação acumulada no ano
Bento Fernandes	<b>624,8</b>	389,21	528,12	740,72	1005,71	Seco a Normal
Ceará - Mirim	<b>1164,0</b>	826,66	1101,9	1478,4	1779,23	Seco a Normal
Extremoz	<b>1227,2</b>	1185,77	1581,7	2015,2	2263,51	Muito seco a seco
Ielmo Marinho	<b>961,2</b>	448,96	572,24	781,58	1071,51	Normal a chuvoso
Natal	<b>1720,3</b>	1185,77	1581,7	2015,2	2263,51	Seco a Normal
Poço Branco	<b>664,0</b>	389,21	528,12	740,72	1005,71	Seco a Normal
São Gonçalo do Amarante	<b>1234,4</b>	826,66	1101,9	1478,4	1779,23	Seco a Normal
Taipu	<b>692,9</b>	713,47	889,72	1216,17	1642,12	Muito seco
Media	<b>1036,10</b>	<b>745,71</b>	<b>985,68</b>	<b>1308,30</b>	<b>1601,32</b>	<b>SECO A NORMAL</b>

Fonte: EMPARN, 2017.

De acordo com o Quadro 2, observa-se que a média da bacia está caracterizada entre o período seco e normal, com predominância do período seco. Analisando isoladamente cada município, Extremoz e Taipu se apresentaram como os mais secos no período, enquanto Ielmo Marinho foi o único a apresentar, como característica, um período normal a chuvoso. Os demais municípios estiveram na média da bacia como um todo, de seco a normal.

### 3.2 Número de dias chuvosos por meses na BHRD

A média pluviométrica diária da bacia, entre os anos de 1997 e 2016, foi de 07 (sete) dias de chuva por mês, ao longo do ano. Os municípios acima da média foram Natal (14 dias) e Extremoz (08 dias). Os municípios de Ceará-Mirim e São Gonçalo do Amarante estiveram na média da bacia (7 dias). Abaixo da média estão os municípios de Poço Branco (6 dias), Ielmo Marinho (5 dias), Bento Fernandes (4 dias) e Taipu (3 dias) (FIGURA 8).

De acordo com o gráfico, observa-se que há uma tendência de aumento dos dias chuvosos entre janeiro e março (6 a 9 dias). A partir do mês de abril, até o mês de julho, o número de dias chuvosos aumenta, bem como o volume de água. Considera-se esse período o mais chuvoso na bacia.

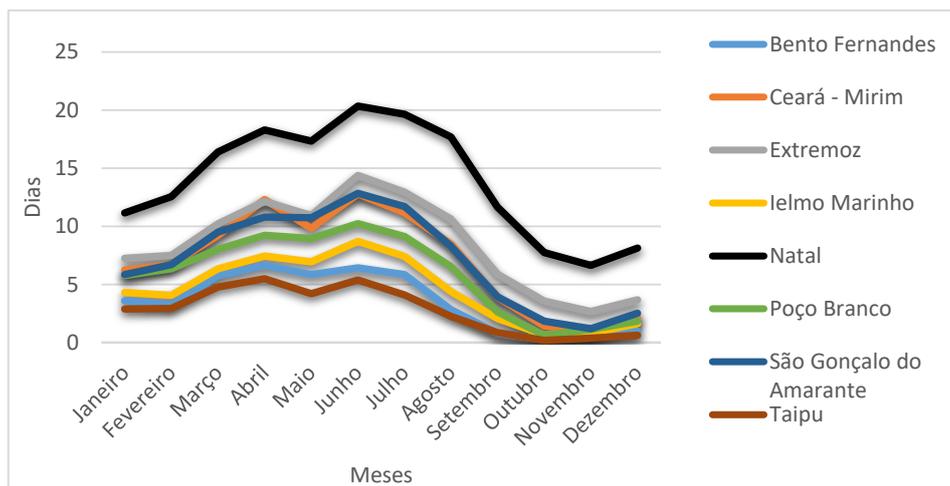


Figura 8. Gráfico representando a média da precipitação diária, por meses e por município, na BHRD, a partir de dados obtidos na EMPARN, em 2017.

A partir de julho, o número de dias com precipitação diminui, bem como o volume d'água. Considera-se o período entre setembro e dezembro como o mais seco na bacia, com a média máxima de 4 dias com chuvas (setembro) e a mínima de 2 dias (outubro e novembro).

No período de um ano, a média de dias chuvosos foi de 81, equivalentes a aproximadamente 3 meses por ano. Os municípios com mais meses chuvosos, no período de 01 (um) ano, foram Natal (06 meses), seguido de Extremoz, São Gonçalo do Amarante e Ceará-Mirim (3 meses). Os demais municípios apresentaram menos de 3 meses de chuvas por ano (Figura 9).

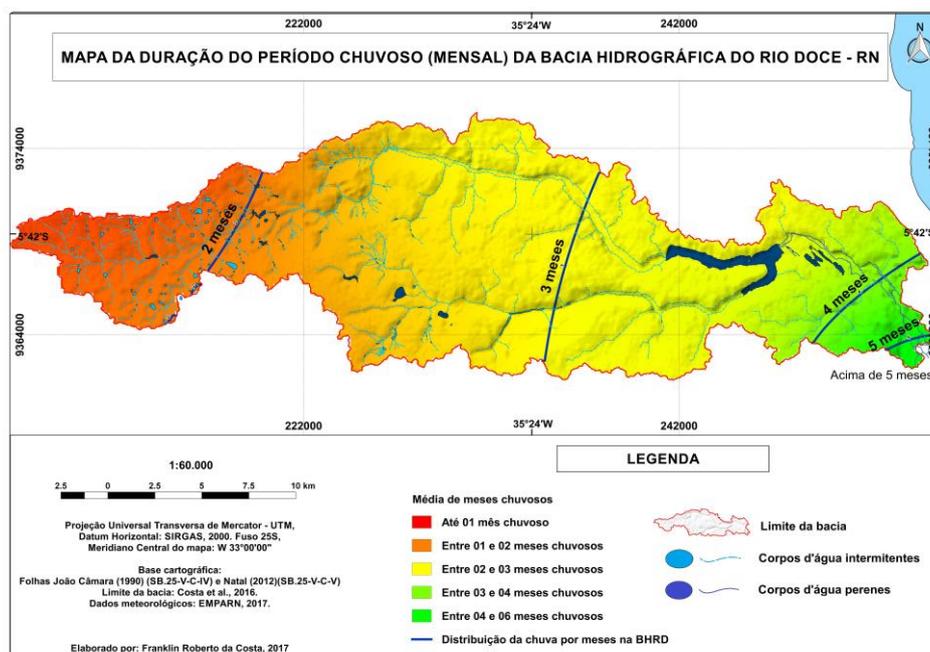


Figura 9. Mapa da duração do período chuvoso, em número de meses, na BHRD, a partir de dados obtidos na EMPARN, em 2017.

O município menos chuvoso foi Taipu, com média de 34 dias de chuvas por ano, equivalente a um pouco mais de 01 (um) mês; em seguida, aparecem Bento Fernandes (43 dias), Ielmo Marinho (55 dias) e Poço Branco (71 dias).

Por fim, comparando-se os dados obtidos na presente pesquisa com os de Castro (2000), observou-se uma diminuição na média de chuvas anuais, passando de 1109,65 mm para 1.036,10 mm. Significa uma diminuição, em valores percentuais, de 6,63% (QUADRO 3).

Uma comparação entre os dados da pesquisa e os dados de Castro (2000) é mostrada no Quadro 3. As variações encontradas para maior valor estão em negrito.

Quadro 03. Comparação entre os dados pluviométricos de Castro (2000) e os analisados na presente pesquisa, a partir dos dados obtidos na EMPARN, em 2017.

Fonte	Média Anual	Alto Curso (Precip. máxima)	Alto Curso (Precip. mínima)	Médio Curso (Precip. máxima)	Médio Curso (Precip. mínima)	Baixo Curso (Precip. máxima)	Baixo Curso (Precip. mínima)
Castro (2000)	<b>1109,65</b>	<b>2432</b>	306	<b>2098</b>	382	<b>3511</b>	530
Resultados desta pesquisa	1036,10	1387,7	<b>328,5</b>	1772,4	<b>609,1</b>	2221,5	<b>753</b>
Média por trecho da bacia, segundo Castro (2000)		733,29		1032,65		1563	
Média por trecho da bacia, nesta pesquisa		735,7		1199,2		1473,8	

É importante destacar que a série temporal trabalhada por Castro (2000) foi maior que do presente trabalho; ainda assim, a diferença entre os resultados obtidos em ambos os trabalhos pode ser considerada como pequena, menor que 7%.

Observou-se que, nos trechos da bacia, a diferença entre as maiores e menores precipitações anuais decresceram ao longo do tempo, isto porque houve uma diminuição das médias atuais com maiores precipitações, porém com aumento (dados em negrito) nos valores absolutos dos anos com menores precipitações anuais no período analisado.

#### **4 Conclusões**

De acordo com os dados analisados, a caracterização pluviométrica da Bacia Hidrográfica do Rio Doce – RN pode ser explicada, mediante a sua compartimentação,

em 3 (três) recortes espaciais distintos: alto, médio e baixo curso ou, ainda, nas porções oeste, central e leste.

A porção oeste ou alto curso está localizada na unidade climática sub-úmido seco, conforme a classificação de Felipe (2006) e na unidade climática Úmido Seco, consoante a classificação da SEMARH (2005). E qual é a sua classificação? A média anual das chuvas é de menos de 800 milímetros. A pluviosidade mensal é de menos de 2 meses, com exceção da área próxima ao município de Poço Branco, que apresentou 71 dias de chuvas no ano. A maior média anual no período foi de 1387,7 mm, em 2009, e a menor 328,5 mm, em 2010.

A porção centro-leste da bacia é considerada como unidade climática Sub-úmido para ambas as classificações. Qual é a sua classificação? Na porção central da bacia, a média pluviométrica foi entre 1000 e 1200 milímetros anuais, com a concentração das chuvas ocorrendo durante o período de 3 meses. A maior precipitação ocorreu em 2004 (1772,4) e a menor em 2010 (609,1 mm).

Na porção leste, a média pluviométrica foi maior que 1200 milímetros anuais, alcançando aproximadamente 1750 milímetros na foz da bacia. A maior média pluviométrica foi de 2221,5 mm, no ano de 2004, e a menor de 753 mm, no ano de 2016.

Em relação à precipitação propriamente dita, a bacia, no geral, apresentou uma média anual pluviométrica, nos últimos 20 anos, de 1036,10 milímetros, considerado pela EMPARN como uma precipitação acumulada caracterizada como seco a normal, mas tendendo a um período mais seco.

O número de dias com chuva na bacia foi de 81 por ano, o equivalente a quase 3 meses de chuva, sendo que o baixo curso apresenta mais meses chuvosos (06 meses) e o alto curso apresenta menos meses chuvosos (menos de 2 meses). Distribuindo os dias de chuva por mês, a média foi de 07 dias mensais, ao longo do ano. A média dos dias de chuva cresce na porção leste-oeste, ficando o baixo curso do rio com uma média de 11 dias de chuva por mês; o médio curso com 7 dias; e o alto curso com 4 dias de chuvas por mês, ao longo de um ano.

No decorrer do ano, há uma tendência de aumento das chuvas entre janeiro e março. Entre os meses de abril e julho, aumenta o número de dias chuvosos e o volume de água. Considera-se esse período como o mais chuvoso na bacia. Os dias com

precipitação e o volume d'água diminuem a partir de julho. O período entre setembro e dezembro é considerado o mais seco na bacia, com média de 4 dias com chuvas (setembro), ocorrendo meses com apenas 2 dias com chuvas (outubro e novembro).

Os dados obtidos na pesquisa, quando comparados com os de Castro (2000), apresentam-se semelhantes, principalmente na média anual geral e nas médias gerais para o alto, médio e baixo curso do rio. No entanto, percebeu-se que houve uma diminuição nas maiores precipitações por período, comparando os dados anteriores e os atuais. Verificou-se aumento no valor das precipitações mínimas por período, quando comparado com os dados de Castro (2000). É importante destacar que o recorte temporal dos dados analisados por Castro foi maior que o do presente trabalho, o que pode justificar as diferenças observadas.

## 5 Agradecimentos

Agradecimentos ao Programa Institucional de Capacitação do Pessoal Docente e Técnico Administrativo da UERN, à CAPES/UFRN e ao CNPq pela concessão de Bolsas para o desenvolvimento do trabalho.

## 6 Referências

Amorim, R.C.F.; Ribeiro, A.; Leite, C.C.; Leal, B.G.; Silva, J.B.G. Avaliação do desempenho de dois métodos de espacialização da precipitação pluvial para o Estado de Alagoas. *Acta Scientiarum Technology*, v.30, n.1, p.87-91, 2008. Disponível em: <http://periodicos.uem.br/ojs/index.php/ActaSciTechnol/article/view/3182>

Bazaraa, A.S.; Ahmed, S. Rainfall characterization in an arid area. *Engineering Journal of Qatar University*, v.4, 1991, p.35 – 50. Disponível em: <http://quspace.qu.edu.qa/bitstream/handle/10576/7972/06-91-4-0004-fulltext.pdf?sequence=8>

Castro, V.L.L. *Águas subterrâneas no curso inferior da bacia do rio Doce/RN: subsídios para um gerenciamento integrado*. Tese (Doutorado em Geociências) – USP, 2000.

Costa, F.R.; Souza, R.F.; Silva, S.M.P. Análise comparativa de metodologias aplicadas à delimitação da bacia hidrográfica do rio Doce – RN. *Sociedade e Natureza*, 28(3), 429-442, 2016. <http://dx.doi.org/10.1590/1982-451320160308>.

Cunha, E.M.S. *Evolução atual do litoral de Natal – RN (Brasil) e suas aplicações a gestão integrada*. Tese (Doutorado em Ciencial del Mar). Universitat de Barcelona. Barcelona, 2004.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. *Sistema brasileiro de classificação de solos*. Brasília: Embrapa Produção de Informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006.

EMPARN. Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Norte. *Chuvas observadas no RN*. Disponível em: <http://187.61.173.26/>. Acesso em: 10 mar. 2017.

Felipe, J.L.A.; Carvalho, E.A.; Rocha, A.P.B. *Atlas Rio Grande do Norte: espaço geográfico e cultural*. João Pessoa: Editora Grafset, 2006.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Centro de documentação e disseminação de informações. *Base de informações do censo demográfico 2010: resultados do universo por setor censitário*. Rio de Janeiro: IBGE, 2014.

IDEMA - Instituto de Desenvolvimento Sustentável e Meio Ambiente. *Banco de Dados Geográficos*. Solos - RN, Escala: 1:100.000, 2012. CDROM

IGARN - Instituto de Gestão das Águas do Rio Grande do Norte. *Programa Água Azul: bacia do rio Doce*, 2009. Disponível em: <http://http://adcon.rn.gov.br/ACERVO/IGARN/doc/DOC000000000028897.PDF>. Acesso em: mar.2016.

Kayano, M.T; Andreoli, R.V. Clima da Região Nordeste do Brasil. In: Cavalcanti, I.F.A.; FERREIRA, N.J.; SILVA, M.G.A.J.; DIAS, M.A.P.S. *Tempo e clima no Brasil*. São Paulo: Oficina de Textos, p.213-233, 2009.

Kisaka, M. O.; Mucheru-Muna, M.; Ngetich, F. K.; Mugendi, J. N.; Mugendi, D.; Maiura, F. Rainfall variability, drought characterization, and efficacy of rainfall data reconstruction: case of eastern Kenya. *Advances in Meteorology*, vol. 2015, Article ID 380404, 16 pages, 2015. <http://dx.doi.org/10.1155/2015/380404>

Llasat, M.C; Rodriguez, R.: Towards a regionalization of extreme rainfall events in the Mediterranean Area. Friend'97, Regional Hydrology: Concepts and Models for Sustainable Water Resource Management. *IAHS publ.* 246, 215-222, Wallingford, United Kingdom, 1997. Disponível em: [http://hydrologie.org/redbooks/a246/iahs\\_246\\_0215.pdf](http://hydrologie.org/redbooks/a246/iahs_246_0215.pdf)

Lucas, E. W. M.; Assis, F.; Sousa, S.; Silva, F. D. S.; Lucio, P. S. Modelagem hidrológica determinística e estocástica aplicada à região hidrográfica do Xingu – Pará. *Revista Brasileira de Meteorologia*, n. 3, p. 308-322, 2009. <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-77862009000300005>

Marcuzzo, F.F.N; Andrade, L.R.; Melo, D.C.R. Métodos de interpolação matemática no mapeamento de chuvas no estado do Mato Grosso. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v.4, p.793-804, 2011. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/view/232714>

Martins. A.P.; Rosa, R. Caracterização climática da bacia do rio Paranaíba a partir da rede de estações de superfície automática do INMET (2001-2011), utilizando ferramentas de geoprocessamento. *Revista Geonorte*, edição especial, v.2, n.5, pp.1303-

1316, 2012. Disponível em: <http://www.periodicos.ufam.edu.br/revista-geonorte/article/view/2581>

Paulhus, J.L.H.; Kohler, M.A. Interpolation of missing precipitation records. *Monthly Weather Review*, v. 80, n. 8, p. 129-133. 1952. [https://doi.org/10.1175/1520-0493\(1952\)080%3C0129:IOMPR%3E2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(1952)080%3C0129:IOMPR%3E2.0.CO;2)

Rao, V.B., Lima, M., Franchito, S.H. Seasonal and Interannual Variations of Rainfall over Eastern Northeast Brazil. *Journal of Climate*, v.6, pp. 1754-1763, 1993. [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(1993\)006%3C1754:SAIVOR%3E2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(1993)006%3C1754:SAIVOR%3E2.0.CO;2)

Santos, C.A.; Serrão, E.A.O; Gonçalves, L.J.M.; Wnazeler, R.T.S.; Lima, A.M.M. Zoneamento da distribuição da precipitação pluviométrica na bacia hidrográfica do rio Tapajós. *Enciclopédia Biosfera*. Goiânia, v.10, n.18, p.3092 – 3106, 2014. Disponível em: [www.conhecer.org.br/enciclop/2014a/AGRARIAS/zoneamento.pdf](http://www.conhecer.org.br/enciclop/2014a/AGRARIAS/zoneamento.pdf)

Santos, J. *Lista dos Códigos EPSG mais utilizados no Brasil*, 2013. Disponível em: <http://www.processamentodigital.com.br/2013/07/27/lista-dos-codigos-epsg-mais-utilizados-no-brasil/>. Acesso em: 10 mar. 2017.

Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos – SEMARH/RN. *Bacia do Rio Doce, 2000*. Disponível em: <http://servicos.semarh.rn.gov.br/semarh/sistemadeinformacoes/consulta/cBaciaDetalhe.asp?CodigoEstadual=07>. Acesso em: abr. 2016.

\_\_\_\_\_. *Programa estadual de desenvolvimento sustentável e convivência com o semi-árido potiguar*. Relatório de Avaliação do Programa. Natal – RN, 2005.

Silva, N.S; Ribeiro, C.A.A.S; Barroso, W.R.; Ribeiro, P.E.A.; Soares, V.P.; Silva, E. Sistema de otto-codificação modificado para endereçamento de redes hidrográficas. *Revista Árvore*, Viçosa - MG, v.32, n.5, p.891-897, 2008. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-67622008000500014>

Simioni, J. P. D.; Rovani, F.M.R.; Iensse, A.C.; Wollmann, A. Caracterização da precipitação pluviométrica na bacia hidrográfica do rio Ibicuí, RS. *Revista do Departamento de Geografia*, São Paulo, v. 28, p. 112-133, feb. 2015. ISSN 2236-2878. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/rdg/article/view/90008/92798>

Wanderley, H.S.; Amorim, R.F.C.; Carvalho, F.O. Interpolação espacial de dados médios mensais pluviométricos com redes neurais artificiais. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.29, n.3, pp. 389-396, 2014. <http://dx.doi.org/10.1590/0102-778620130639>.

## **CAPÍTULO 4**

### **ANÁLISE DAS VULNERABILIDADES NATURAL E AMBIENTAL DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO DOCE – RN**

Artigo submetido à Revista **Cuadernos de Geografía: Revista  
Colombiana de Geografía.**

–

Qualis B1 em Ciências Ambientais.

**ISSN: 0121-215X**

## ANÁLISE DAS VULNERABILIDADES NATURAL E AMBIENTAL DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO DOCE, NORDESTE DO BRASIL

## ANÁLISIS DE VULNERABILIDADES NATURALES Y AMBIENTALES DE LA CUENCA DEL RÍO DOCE.

## ANALYSIS OF NATURAL AND ENVIRONMENTAL VULNERABILITIES OF RIO DOCE WATERSHED, NORTHEASTERN BRAZIL

### RESUMO

O presente estudo teve como objetivo analisar as vulnerabilidades natural e ambiental da bacia hidrográfica do Rio Doce – RN. Os mapas de vulnerabilidade natural e ambiental foram elaborados no Sistema de Informações Geográficas QGIS Essen 2.14. Os resultados mostraram que a vulnerabilidade natural apresentou uma média de 2,1 (Medianamente Estável/Vulnerável) e a vulnerabilidade ambiental 2,4 (Moderadamente Vulnerável). A interferência antrópica impacta fortemente a bacia em áreas urbanas, com atividades agropecuárias e de mineração, totalizando 271,87 km<sup>2</sup> (68,53%), principalmente na porção centro-leste da bacia. A bacia se apresenta vulnerável e sugere-se a realização de estudos detalhados visando o reordenamento territorial para fins de sustentabilidade ambiental.

Palavras-chave: Vulnerabilidade, SIG, Bacia Hidrográfica, Impactos Ambientais, Mapas.

### RESUMEN

El presente estudio pretende analizar las vulnerabilidades naturales y ambientales de la cuenca del Río Doce-RN. Se elaboraron los mapas de vulnerabilidad natural y ambiental, em el Sistema de Información Geográfica QGIS Essen 2.14. Los resultados mostraron que la vulnerabilidad natural presentó una media de 2.1 (estable/moderadamente Vulnerable) y vulnerabilidad ambiental 2.4 (moderadamente Vulnerable). Interferencia humana impacta fuertemente la cuenca en las zonas urbanas, com atividades ganadería y minería, un total de 271,87 kilómetros plazas (68.53%), principalmente en la porción centro-oriental de la cuenca. La cuenca se presenta vulnerable y sugiere estudios detallados para la reorganización territorial para la sostenibilidad ambiental.

Palabras clave: vulnerabilidad, GIS, Cuenca, impactos ambientales, Mapas.

### ABSTRACT

The present study aimed to analyze the natural and environmental vulnerabilities of the Doce River watershed, in the northeastern region of Brazil. The natural and environmental vulnerability maps were prepared with Geographic Information System QGIS Essen 2.14. The results showed that natural vulnerability presented an average of 2.1 (Stable/Moderately Vulnerable) and environmental vulnerability 2.4 (Moderately Vulnerable). Human interference impacts heavily the watershed in urban areas, with cattle raising and mining activities, in an area of 271.87 km<sup>2</sup> (68.53%), mainly in the central-eastern portion of the basin. The watershed is vulnerable. Detailed studies are suggested aiming the territorial reorganization for environmental sustainability.

Keywords: vulnerability, GIS, Basin, Environmental Impacts, Maps.

## INTRODUÇÃO

Os estudos integrados de um determinado território pressupõem o entendimento do funcionamento do ambiente natural com ou sem intervenções humanas (Ross, 2001). Neste sentido, a construção do Zoneamento Ambiental parte de metodologias baseadas na compreensão das relações existentes entre os dados do meio físico e antrópico, integrando diversas áreas do conhecimento.

É importante destacar que o mapeamento das unidades de paisagem, sob a perspectiva da vulnerabilidade ambiental, torna-se um importante material para gestão/ordenamento territorial. Assim, para a análise da vulnerabilidade ambiental é necessário que os conhecimentos relativos às potencialidades do meio físico e antrópico (solos, relevos, rochas, hidrografia, clima, uso e cobertura da terra) sejam avaliados de forma integrada.

De acordo com Oliveira et al. (2009), isso pode ser realizado a partir da divisão de uma área em zonas de ocupação do solo, baseado no conhecimento das áreas críticas e/ou vulneráveis ambientalmente.

A metodologia utilizada por Tricart (1977), baseia-se no fluxo de matéria e energia para demonstrar que, na natureza, esse processo se dá pelas relações de equilíbrio dinâmico sobre a lógica da Teoria dos Sistemas. No entanto, esse equilíbrio é frequentemente alterado pelas intervenções do homem na natureza, podendo gerar desequilíbrios temporários e/ou permanentes. Diante destas situações, Tricart (1977) definiu que os ambientes em equilíbrio dinâmico são considerados estáveis, e quando em desequilíbrio, instáveis.

Para Crepani et al. (2001), a análise da vulnerabilidade ambiental passa, obrigatoriamente, por levantamentos de campo, serviços de laboratório, gerando produtos cartográficos temáticos de Geologia, Geomorfologia, Pedologia, Climatologia, Uso e Ocupação do Solo e Vegetação. Esses temas são responsáveis pela avaliação da

“Vulnerabilidade Natural à Erosão”. Inicialmente se avalia o grau de vulnerabilidade para cada tema, atribuindo-lhes valores que variam de acordo com o seu estado ecodinâmico. Para as áreas estáveis são associados valores próximos a 1 (um); para áreas intermediárias valores próximos a 2 (dois) e, em áreas instáveis, valores próximos a 3 (três).

Em seguida, esses valores são analisados em cada unidade da paisagem (as Unidades Territoriais Básicas – UTBs), divididas, segundo os autores, em unidades de paisagens naturais e polígonos de ação antrópica. No final, é calculada a média aritmética dos temas para a geração de um mapa-síntese de vulnerabilidade das UTBs.

A metodologia proposta por Crepani et al. (2001) vem sendo aplicada em diferentes regiões no país. Em bacias hidrográficas, recorte geográfico do presente trabalho, podem ser citados alguns autores, tais como Barbosa e Lorandi (2012), Mota e Valadares (2011), Ribeiro e Campos (2007) e Mesquita et al. (2010).

Barbosa e Lorandi (2012) realizaram um estudo de vulnerabilidade à perda do solo na bacia hidrográfica do ribeirão do Pântano, sub-bacia do rio Mogi-Guaçu, englobando parte dos municípios de Analândia, Descalvado e São Carlos, na área central do estado de São Paulo. Como resultado, observaram que os dados obtidos trazem subsídios para gestão do meio físico, proporcionando o desenvolvimento regional, tendo as técnicas de geoprocessamento como ferramentas eficientes para o planejamento ambiental.

Mota e Valadares (2011) elaboraram um mapa de vulnerabilidade à degradação dos solos da bacia do rio Acaraú/CE, com o emprego de Sistemas de Informações Geográficas – SIG e da metodologia multicritério aditivo. Essa metodologia é definida por Silva e Zaidan (2004) como média ponderada. Como resultado, mostraram a viabilidade da aplicação do método para elaboração do mapa de vulnerabilidade ambiental e sua aplicação na gestão do território da bacia do Rio Acaraú.

Ribeiro e Campos (2007) aplicaram a metodologia de Crepani et al. (2001) para a análise da vulnerabilidade à erosão do solo da bacia do Alto Rio Pardo, Pardinho/SP. Os resultados mostraram a eficiência do SIG na execução do mapeamento de vulnerabilidade ambiental, bem como da metodologia adotada para o uso posterior no zoneamento ecológico da bacia.

Mesquita et al. (2010) realizaram estudo relativo a vulnerabilidade natural a perda de solos da bacia do rio Sagrado/PR, através da análise integrada das características do meio físico. Como resultado, observaram que o elemento uso e cobertura da terra é um indicador da real exposição das UTBs em relação aos processos erosivos, e que a cobertura vegetal é um fator relevante para o equilíbrio da paisagem.

No Estado do Rio Grande do Norte, pode-se citar os exemplos dos trabalhos de Grigio (2003), Costa et al. (2006), Oliveira (2011) e Silva (2013) que aplicaram total ou parcialmente a metodologia adotada por Crepani et al. (2001). O trabalho de Grigio (2003) teve como objetivo identificar, mapear e interpretar a evolução do uso e ocupação do solo e a vulnerabilidade ambiental do Município de Guamaré (RN), tendo como base o uso da interpretação multitemporal de imagens orbitais em ambiente SIG. Como resultado, observou-se a ativa participação das atividades antrópicas na modificação da paisagem local.

Costa et al. (2006) realizaram um estudo em uma área conhecida como de exploração de petróleo, nas proximidades do município de Macau (RN). O objetivo foi gerar mapas de vulnerabilidade natural e ambiental a partir de mapas base de geologia, solos, vegetação, geomorfologia e de uso e ocupação do solo.

Oliveira (2011) objetivou identificar analiticamente os impactos ambientais negativos e o grau de vulnerabilidade ambiental existentes no litoral sul do Estado do Rio Grande do Norte. As classes de vulnerabilidade ambiental foram determinadas a partir de modelamentos

por álgebra de mapas e mostraram que os impactos ambientais analisados foram configurados nos campos de dunas, manguezais, faixas de praia e remanescentes de Mata Atlântica.

Silva (2013) trabalhou no Estuário do rio Curimataú/Cunhaú, localizado nos municípios de Baía Formosa e Canguaretama/RN. O objetivo principal foi analisar a vulnerabilidade ambiental, enfocando as inter-relações entre o uso e ocupação do solo, os impactos ambientais e as suas mudanças espaciais na paisagem, bem como identificar e analisar as áreas com vulnerabilidade ambiental ao considerar os condicionantes naturais e antrópicos.

Em comum, observou-se que estes trabalhos apresentaram resultados positivos nas abordagens sobre vulnerabilidade natural à erosão do solo e da vulnerabilidade ambiental, servindo, principalmente, como fonte de dados para a execução de planejamentos ambientais, em diferentes recortes espaciais. Os pontos negativos estão voltados para a escala de análise dos produtos, em escala cartográfica média a pequena.

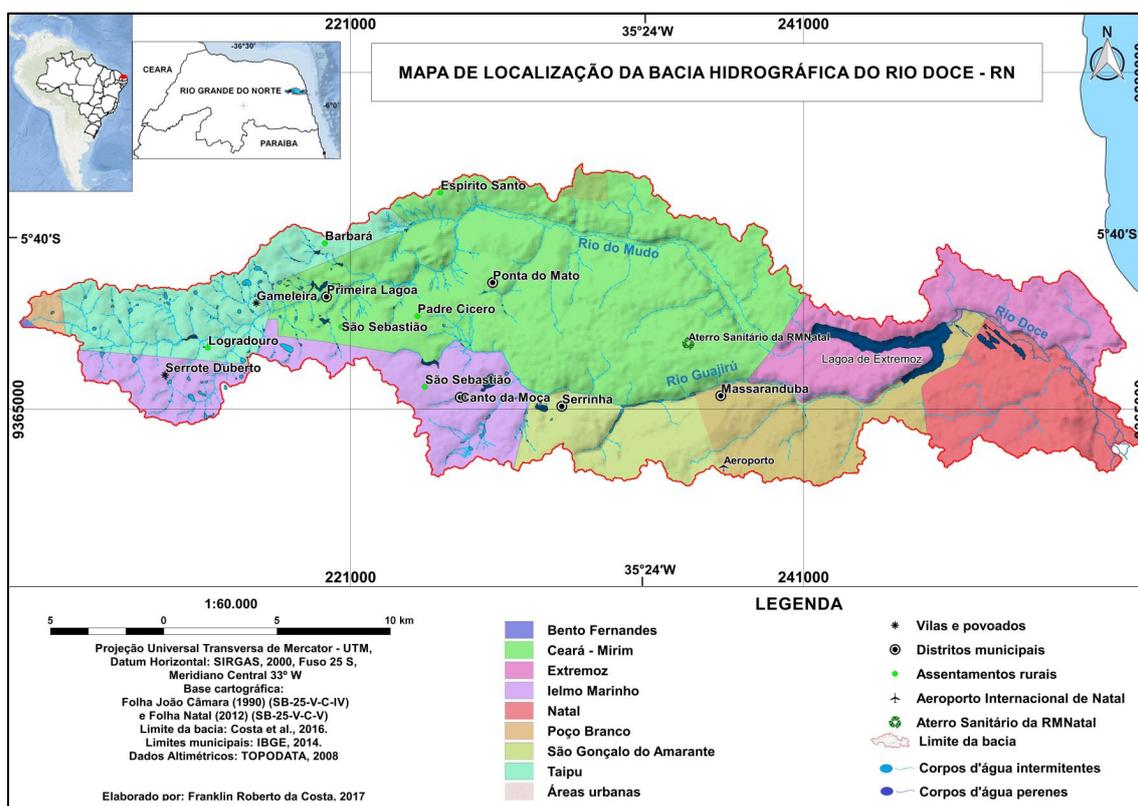
Neste sentido, o presente artigo teve como objetivo a análise das vulnerabilidades natural e ambiental da bacia hidrográfica da Bacia Hidrográfica do Rio Doce/RN, a partir da atualização e elaboração de mapas do meio físico e da elaboração do uso e cobertura da terra, tendo como suporte as metodologias adotadas por Crepani et al. (2001), Grigio (2003) e Oliveira (2011).

## **METODOLOGIA**

### **Área de estudo**

A área de estudo compreende a bacia hidrográfica do Rio Doce/RN, localizada na porção leste do Estado do Rio Grande do Norte, entre as coordenadas geográficas 05°48' e 05°36' S e 035°42' e 035°36' W Gr., abrangendo uma área de 396,7 km<sup>2</sup> (Costa et al., 2016) (FIGURA 1).

As cotas altimétricas variam de 0 a 139 metros e a declividade média é de aproximadamente 4,4%. Geologicamente, a área da bacia compreende os terrenos do Domínio Rio Grande do Norte, tendo como principais unidades as Coberturas Fanerozóicas e os Granitóides Neoproterozóicos (Jardim de Sá, 1994). As Coberturas Fanerozóicas são predominantes na Bacia, ocupando toda a parte centro-leste. As rochas pertencentes ao Domínio Rio Grande do Norte aparecem em segundo plano, na porção mais a oeste da bacia e os Granitóides Neoproterozóicos ocupam parcelas do terreno, também na porção oeste da bacia.



**Figura 01:** Mapa de localização da área em estudo. Fonte: COSTA et al., (2016)

Geomorfologicamente, a BHRD é formada por 06 unidades geomorfológicas: Tabuleiros, Depressão Sertaneja, Planície de Inundação Fluvial, Dunas Fixas, Dunas Móveis e a Planície Fluvio-Marinha.

A área urbana ocupa uma área equivalente a 7,08% de toda a bacia, concentrando-se, principalmente, na porção leste da bacia, nos municípios de Natal, São Gonçalo do Amarante e Extremoz, e na porção centro-norte, no município de Ceará-Mirim.

As classes de solos predominantes na bacia são, de acordo com o IBGE (2014): Latossolo Amarelo Distrófico (46,40%), Argissolo Amarelo Distrófico (21,72%), Planossolo Háptico Eutrófico (15,20%), Neossolo Quartzarênico Órtico (5,54%), Gleissolo Tiomórfico Órtico (0,84%), Argissolo Vermelho Eutrófico (0,03%). O restante da área da bacia compreende as áreas urbanas e os corpos d'água existentes.

Em relação à hidrografia, existem 3 sub-bacias que compõem a BHRD: Sub-bacia do Rio do Mudo, Sub-bacia do Rio Guajirú e Sub-bacia do Rio Doce. Dessas, apenas o Rio Doce apresenta o rio principal perenizado, isto porque o rio Doce nasce da confluência dos rios Guajiru e do Mudo, e sua perenização se dá pelo Aquífero Barreiras (Castro, 2000). Os rios do Mudo e Guajirú, atualmente, são considerados rios intermitentes em todas as suas extensões.

Em termos de clima, e segundo a classificação de Koppen, a BHRD é caracterizada como predominantemente do tipo As' – Clima Tropical Chuvoso com Verão Seco. A estação chuvosa ocorre no período do outono (entre março e junho). As chuvas anuais médias crescem do interior para o litoral, passando de 700 milímetros nas cabeceiras para 1.400 milímetros na foz (SEMARH, 2000).

A temperatura média na bacia é de 26°C, com variações de 24°C a 27°C e amplitude térmica de 3°C. Em toda a bacia os meses mais quentes são dezembro, janeiro e fevereiro e os mais frios são julho, agosto e setembro (Castro, 2000).

De acordo com a EMPARN (2017), a média pluviométrica anual da bacia, entre os anos de 1997 e 2016, foi de 1.036,10 milímetros (mm). Natal, localizada a leste da bacia, possui a maior média anual, com 1.720,31 mm. Bento Fernandes, localizado no oeste da

bacia, é o município com a menor média anual, com 624,82 mm. A zona de transição entre as áreas de maior e menor precipitação anual está na porção central da bacia, com uma média anual de 1.199,2 mm. A porção oeste apresentou uma média anual de 735,7mm e a porção leste, mais próxima ao litoral, uma média de 1.473,8 mm.

Em relação à média pluviométrica diária da bacia, entre os anos de 1997 a 2016, observou-se 07 (sete) dias de chuvas por mês, no período de 01 (um) ano. Os municípios acima da média foram Natal (14 dias) e Extremoz (08 dias). Os municípios de Ceará-Mirim e São Gonçalo do Amarante estiveram na média da bacia (07 dias). Abaixo da média estiveram os municípios de Poço Branco (06 dias), Ielmo Marinho (05 dias), Bento Fernandes (04 dias) e Taipu (03 dias).

Os dias chuvosos no período de um ano, foram, em média 81, equivalentes a aproximadamente 3 meses por ano. Os municípios com mais meses chuvosos no período de 01 (um) ano foram Natal (06 meses), seguido de Extremoz, São Gonçalo do Amarante e Ceará-Mirim (3 meses). Os demais municípios apresentaram menos de 3 meses de chuvas por ano. O município menos chuvoso foi Taipu, com a média de 34 dias de chuvas por ano, equivalente a pouco mais de 1 (um) mês.

As formações vegetais encontradas na BHRD pertencem ao Domínio fitogeográfico Caatinga, e uma pequena parte, mais a leste da bacia, ao Domínio Mata Atlântica. De acordo com IBGE (2014), as formações existentes na bacia são: Savana Estépica Arborizada, Savana Arborizada, Floresta Estacional Decidual de Terras Baixas e Formações Pioneiras com Influência Fluvial e/ou Lacustre e Fluviomarinha (Mangue).

De um modo geral, as ações antrópicas modificaram a paisagem local, através de áreas de cultivo sazonal e perene, pastagem, extração mineral e áreas urbanas. Há algumas áreas parcialmente preservadas, com remanescentes de florestas, em áreas não homogêneas,

ao longo de toda a bacia, além de parte das dunas fixas e móveis, bem como parcelas de mangues, localizados a leste da bacia.

### Organização e processamento dos dados

A realização do presente trabalho se deu a partir do uso das bases de dados secundárias em escalas variadas de órgãos públicos federais e estaduais, bem como de dados primários obtidos em campo e laboratório (QUADRO 1).

QUADRO 1: Dados obtidos por órgão, escala e ano de publicação para a pesquisa.

Produto	Órgão	Escala	Ano Publicação
Cartas topográficas	SUDENE	1:100.000	1982
TOPODATA	INPE	1:50.000	2008
Geologia (Folha Natal - SB.25-V-C-V)	CPRM	1:100.000	2012
Geologia (João Câmara - SB.25-V-C-IV)	CPRM	1:100.000	1990
Geomorfologia (Folha Natal - SB.25-V-C-V)	CPRM	1:100.000	2012
Geomorfologia (João Câmara - SB.25-V-C-IV)	CPRM	1:100.000	1990
Pedologia	IBGE	1:250.000	2015
Clima	EMPARN	1:50.000	1997 – 2016
Vegetação	IBGE	1:250.000	2014
Hidrografia*	Autor	1:50.000	2017
Uso e ocupação*	Autor	1:50.000	2017
Dados censitários	IBGE	Não definida	2010
Limites territoriais*	IBGE	Não definida	2015

\* Dados extraídos por interpretação visual em ambiente SIG.

A principal fonte de informações sobre o meio físico foi o Serviço Geológico do Brasil – CPRM, seguida do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais -INPE e do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. Os dados censitários foram obtidos no IBGE para o ano de 2010, sendo esse o último censo realizado no país.

Os dados referentes à hidrografia e ao uso e cobertura da terra na bacia foram extraídos por análise visual a partir da interpretação de imagens orbitais disponibilizadas pela empresa Digital Globe no Google Earth, com resolução espacial que varia entre 5 metros e 0,61 centímetros, que foi aberto no SIG QGIS Essen 2.14, através do plugin Open Layers

plugin, assim como algumas visitas a campo para observação de áreas que apresentaram dúvidas na interpretação em laboratório.

Os dados obtidos foram integrados e processados no SIG QGIS Essen 2.14.18, para a realização dos mapeamentos da Vulnerabilidade Natural e Ambiental da BHRD. O processamento se deu pela valoração das características da área de estudo, classificando-as de acordo com o predomínio da morfogênese (modificam a paisagem) ou da pedogênese (formação dos solos).

Para tanto, em relação ao meio físico, os dados foram classificados em uma escala de 1,0 a 3,0, de acordo com as condições predominantes de pedogênese ou morfogênese. Segundo Crepani et al. (2001), quando há o predomínio da pedogênese, os valores atribuídos são próximos a 1,0; em situações intermediárias, onde há um certo equilíbrio entre os processos, os valores são próximos a 2,0; para situações onde há o predomínio da morfogênese, são atribuídos valores próximos a 3,0. Esses valores foram organizados em uma escala de vulnerabilidade, composta de 21 classes de vulnerabilidade à perda do solo (QUADRO 02).

QUADRO 2: Escala de Vulnerabilidade à perda do solo

UNIDADE DE PAISAGEM	MÉDIA		GRAU DE VULNERAB.	GRAU DE SATURAÇÃO			
				VERM.	VERDE	AZUL	CORES
U1	↑	3,0	VULNERÁVEL	255	0	0	
U2		2,9		255	51	0	
U3		2,8		255	102	0	
U4	V	2,7		255	153	0	
U5	U	2,6	MODERADAM. VULNERÁVEL	255	204	0	
U6	L	2,5		255	255	0	
U7	N	2,4		204	255	0	
U8	E	2,3		153	255	0	
U9	R	2,2	MEDIANAM. ESTÁVEL/ VULNERÁVEL	102	255	0	
U10	A	2,1		51	255	0	
U11	B	2,0		0	255	0	
U12	I	1,9		0	255	51	
U13	L	1,8	MODERADAM. ESTÁVEL	0	255	102	
U14	I	1,7		0	255	153	
U15	D	1,6		0	255	204	
U16	A	1,5		0	255	255	
U17	D	1,4	ESTÁVEL	0	204	255	
U18	E	1,3		0	153	255	
U19		1,2		0	102	255	
U20		1,1		0	51	255	
U21		1,0	↓	0	0	255	

Fonte: Crepani et al. (2001).

Segundo Crepani et al. (2001), o modelo se aplica aos temas que compõem a Unidade Territorial Básica – UTB, individualmente, visando elaborar o mapa de vulnerabilidade natural a perda do solo. Posteriormente, recebem um valor final resultante da média aritmética dos valores individuais, representando a posição da UTB na escala da vulnerabilidade. A equação é a seguinte:

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

Onde:

V = Vulnerabilidade

G = vulnerabilidade do tema Geologia

R = vulnerabilidade para o tema Geomorfologia

S = vulnerabilidade para o tema solos

Vg = vulnerabilidade para o tema Vegetação

C = vulnerabilidade para o tema Clima

A equação permite concluir que a carta de vulnerabilidade natural resulta da média aritmética simples entre as classes de vulnerabilidade de cada tema.

A elaboração do mapa de vulnerabilidade ambiental teve como referência as metodologias aplicadas por Grigio (2003) e Oliveira (2011). O objetivo foi compreender como a bacia se mostra diante das vulnerabilidades decorrentes das ações antrópicas. Neste caso, os referidos autores atribuíram pesos para os temas, de acordo com as características da bacia. A equação utilizada para a elaboração do mapa de vulnerabilidade ambiental da BHRD foi a seguinte:

$$(0,2x[\text{Tema 1}] + 0,2x[\text{Tema 2}] + 0,05x[\text{Tema 3}] + 0,05 x[\text{Tema 4}] + 0,1x[\text{Tema 5}] + 0,4x[\text{Tema 6}])$$

Onde:

Tema 1: Mapa da Vulnerabilidade para Geologia

Tema 2: Mapa da Vulnerabilidade para Geomorfologia

Tema 3: Mapa da Vulnerabilidade para Solos

Tema 4: Mapa da Vulnerabilidade para Clima

Tema 5: Mapa da Vulnerabilidade para Vegetação

Tema 6: Mapa da Vulnerabilidade para Uso e cobertura do solo

Após realização de alguns testes e de acordo com as características da bacia, entendeu-se que os temas Geologia e Geomorfologia teriam pesos maiores no que se refere ao meio físico. A ênfase dada ao tema uso e cobertura da terra se dá pela pressão antrópica exercida na bacia que age como modeladora da paisagem, modificando-a, muitas vezes, de maneira impactante. Essa pressão ocorre, segundo Oliveira (2011), em áreas onde se encontra confluência de atividades econômicas de potencial risco ambiental e conflitantes entre si.

## PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

### Elaboração das cartas temáticas de vulnerabilidade natural e ambiental

A geração das cartas temáticas de Vulnerabilidade Natural e Ambiental se deu a partir das classes temáticas existentes para cada variável trabalhada na equação, seguindo a escala de vulnerabilidade aplicada por Crepani et al. (2001), para os dados do meio físico e de uso e cobertura da terra.

Para o tema Geologia os valores podem ser visualizados no QUADRO 03.

QUADRO 3: Grau de vulnerabilidade ambiental para o tema Geologia

Nome das Unidades Geológicas	Tipo de rocha	Vulnerabilidade
Depósitos aluvionares de canal	Sedimento inconsolidado	3
Depósitos flúvio-marinhos	Sedimento inconsolidado	3
Depósitos eólicos litorâneos não vegetados	Sedimento inconsolidado	3
Depósitos eólicos litorâneos vegetados	Sedimento inconsolidado	3
Complexo João Câmara	Gnaisses	1.3
Suíte Intrusiva Dona Inês	Biotita-quartzo xisto	1.7
Depósitos litorâneos praias	Sedimento inconsolidado	3
Grupo Barreiras	Clástica	2.5
Formação Seridó	Biotita-quartzo xisto, Clorita xisto, Xisto aluminoso, Filito, Mármore, Quartzito, Metavulcânica básica, Granada-biotita xisto	1.7
Sedimentos Aluvionares	Sedimento inconsolidado	3
Formação Açú	Arenitos Quartzosos	2.4
Depósitos Marinhos e Continentais Antigos	Arenitos Quartzosos	2.4
Dique de quartzo	Quartzo	1.2
Depósitos aluvionares antigos	Sedimento inconsolidado	3

Para estabelecer os valores de vulnerabilidade para o tema Geomorfologia, foram utilizados os índices morfométricos do terreno: densidade de drenagem, amplitude altimétrica e declividade.

De acordo com Horton (1945), a densidade de drenagem (DD) é calculada pela razão entre o comprimento total de todas as drenagens ( $\Sigma L$ ) pela área da bacia, em quilômetros (A). É expressa pela seguinte equação:

$$DD = \frac{\Sigma L}{A}$$

A amplitude altimétrica é calculada, segundo Schumm (1956), pela diferença entre a foz (Hmin) e a maior altitude situada em qualquer ponto da bacia (Hmax), indicando a média do desnível da bacia. A equação utilizada foi:

$$Hm = Hmax - Hmin$$

Segundo Crepani et al. (2001), a declividade (D) entre dois pontos no terreno é obtida pela relação entre a distância vertical (Dv) e a distância horizontal (Dh) de um determinado ponto na superfície. É obtido a partir da fórmula:

$$D = \frac{Dv}{Dh}$$

De posse desses dados, utilizou-se a equação abaixo:

$$Ge = (DD + Hm + D)/3$$

Onde:

Ge = Vulnerabilidade para o tema Geomorfologia;

DD = Vulnerabilidade para a variável Densidade de Drenagem;

Hm = Vulnerabilidade para a variável Amplitude Altimétrica;

D = Vulnerabilidade para a variável Declividade.

Os valores de vulnerabilidade do tema Geomorfologia após a aplicação da equação podem ser vistos no quadro 4.

**QUADRO 4:** Valores de vulnerabilidade para o tema Geomorfologia

Unidades Geomorfológicas	Valor de Vulnerabilidade
Depressão Sertaneja	1,5
Tabuleiros	1,7
Planície Flúvio-Marinha	1,8
Dunas Fixas	1,9
Dunas Móveis	1,9
Área urbana	1,9
Planície de Inundação Fluvial	2,0

No tema vegetação, realizou-se uma atualização dos tipos de vegetação categorizadas pelo IBGE (2014), a partir da atualização e reorganização de classes e seus polígonos e, posterior inserção dos valores de vulnerabilidade para os tipos de vegetação do tema (QUADRO 5).

**QUADRO 5:** Valores de vulnerabilidade para o tema Vegetação

Tipo de Vegetação	Valor de vulnerabilidade
Formações Pioneiras com Influência Fluviomarinha (Mangue)	1,4
Savana Estépica Arborizada	2,1
Savana Arborizada	2,1
Floresta Estacional Decidual de Terras Baixas	2,2
Formações Pioneiras com Influência Fluvial e/ou Lacustre	2,3
Pastagens	2,8
Cultura Perene	2,9
Cultura Sazonal	3,0
Áreas urbanizadas	3,0

A base de dados do tema pedologia foi extraída do IDEMA (2005), atualizada e reinterpretada, dando origem às classes de solos que são mostradas no QUADRO 06, com seus respectivos valores atribuídos de de vulnerabilidade.

**Quadro 6:** Valores de vulnerabilidade para o tema Solos

Sigla	Legenda	Valores de vulnerabilidade
GJo	GleissoloTiomórficoÓrtico	3
LAd	Latossolo Amarelo Distrófico	1
PAd	Argissolo Amarelo Distrófico	2
PVe	Argissolo Vermelho Eutrófico	2
RQo	Neossolo Quartzarênico Órtico	3
SXe	Planossolo Háptico Eutrófico	2

Os valores de vulnerabilidade para o tema clima foram organizados de acordo com a metodologia adotada por Crepani et al. (2001), destacando a intensidade pluviométrica como o principal indicador da vulnerabilidade à erosão do solo.

A base de dados foi extraída da EMPARN (2017) e os valores atribuídos ao clima são mostrados no QUADRO 07.

**QUADRO 7:** Graus de vulnerabilidade para o tema Clima

Intensidade pluviométrica (mm/ano)	Graus de Vulnerabilidade
275 – 300	2,0
300 – 325	2,1
350 – 375	2,3
400 – 425	2,5
425 – 450	2,6
> 525	3,0

No caso da bacia hidrográfica do rio Doce, o alto grau de antropização (FAUSTINO et al., 2014; COSTA et al., 2016) permite um destaque especial na quantificação da vulnerabilidade ambiental existente, que retrate bem as características da paisagem observada nos dias atuais. No caso da BHRD, adicionou-se a variável afloramento rochoso com grau de vulnerabilidade (3), pois as áreas com esse tipo de cobertura vêm sendo explorados pela mineração, de maneira artesanal e/ou industrial. Os valores de vulnerabilidade para os diferentes tipos de uso e cobertura da terra podem ser vistos no QUADRO 08.

**QUADRO 8:** Graus de vulnerabilidade para o tema uso e cobertura da terra

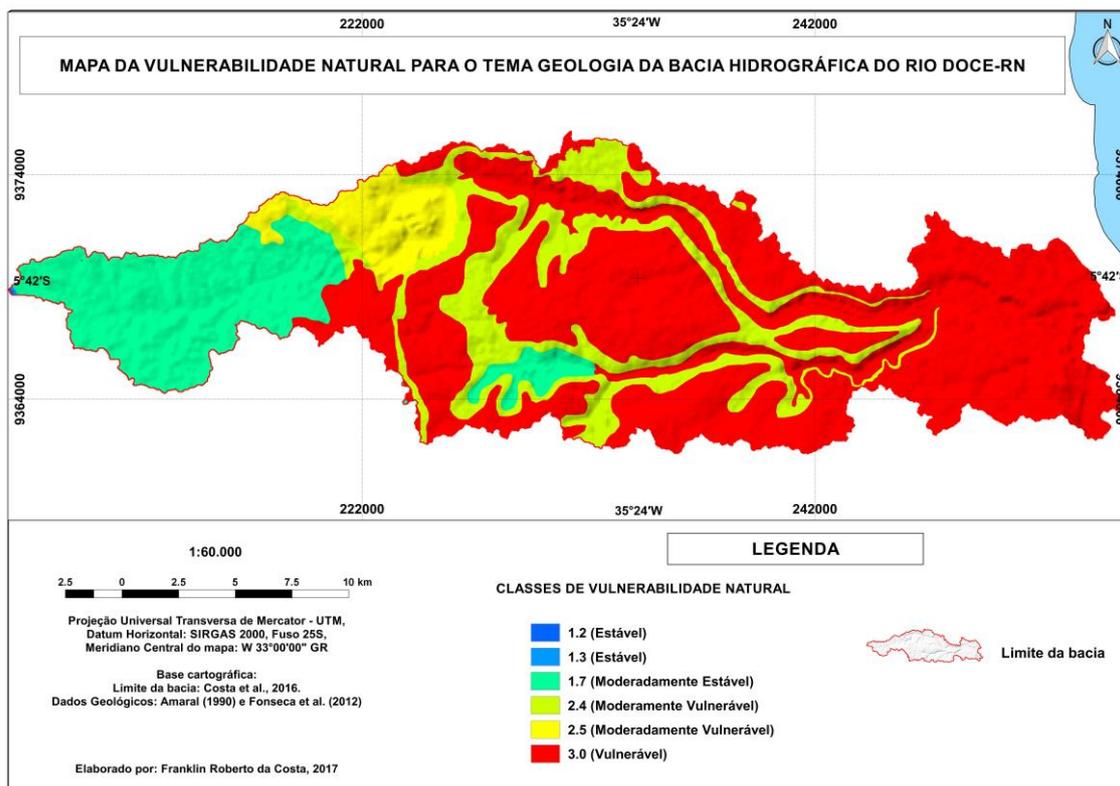
Tipos de uso e cobertura da terra	Grau de Vulnerabilidade
Florestal	1,0
Campestre	1,5
Cultura permanente	2,0
Cultura Temporária	2,5
Pastagem – Pecuária	2,5
Áreas Urbanizadas	3,0
Afloramentos Rochosos	3,0

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Vulnerabilidade por tema

Os valores de vulnerabilidade obtidos para cada tema foram organizados separadamente em mapas, visando apresentar as tendências de maior e menor estabilidade/vulnerabilidade existentes em cada um deles.

Os resultados obtidos para o tema Geologia permitiram concluir que há uma maior estabilidade em relação à vulnerabilidade geológica ambiental na porção centro-oeste da bacia, onde ocorrem as unidades geológicas pertencentes ao embasamento cristalino (FIGURA 02).



**FIGURA 02:** Mapa de vulnerabilidade para o tema Geologia.

Observou-se que 17,58% da área da BHRD é dominada por rochas ígneas e metamórficas, representadas pela Suíte Intrusiva Dona Inês (1,7), pela Formação Seridó (1,7), pelo Complexo João Câmara (1,3) e por diques e enxames de quartzo (1,2). Esses dois últimos se apresentam no extremo oeste da bacia, com uma área territorial reduzida, em relação às demais unidades geológicas.

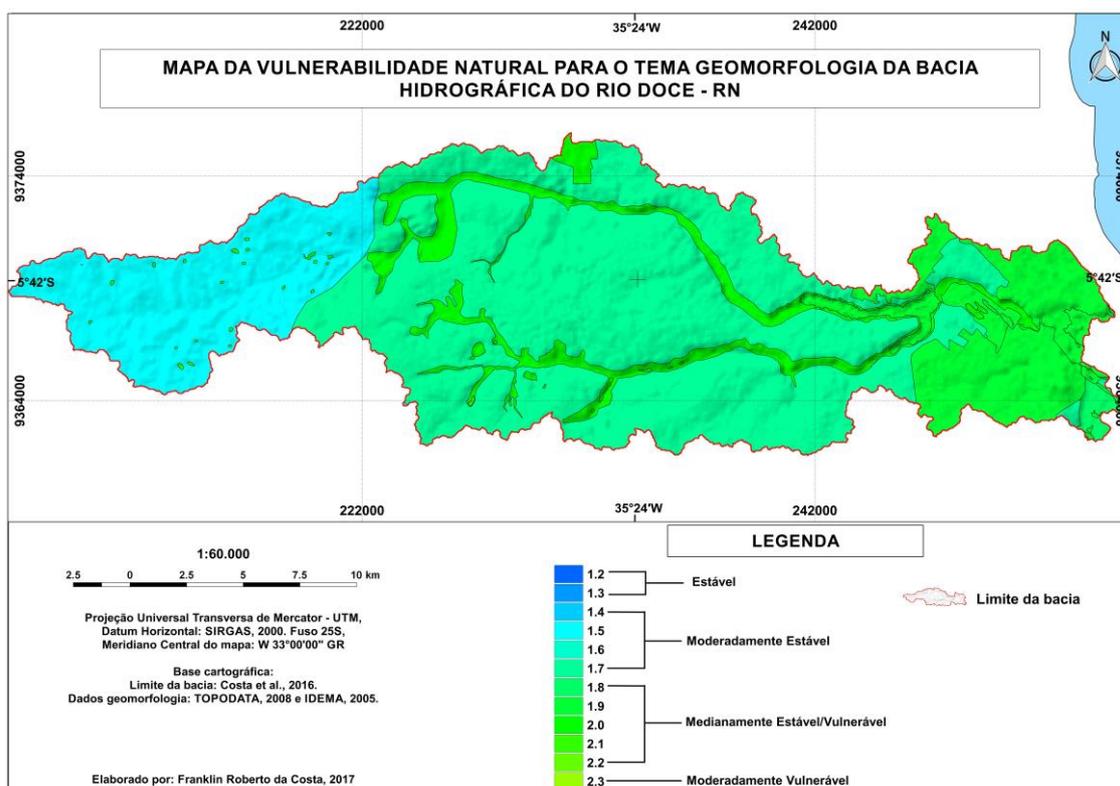
Na porção central da bacia percebe-se uma alta vulnerabilidade, destacando-se o Grupo Barreiras (2,5), os Depósitos Marinhos e Continentais Antigos (2,4) e a Formação Açú (2,4). Essas unidades representam 23,03% da bacia e possuem como rocha típica dominantes, as frações clásticas do Grupo Barreiras e os arenitos quartzozos nas demais unidades geológicas existentes nessa porção da bacia.

A porção centro-leste da bacia apresenta as áreas com maior vulnerabilidade. Essa área é representada, basicamente, por sedimentos inconsolidados considerados vulneráveis

(Crepani et al., 2001), alcançando o indicador máximo de valor 3 na escala de vulnerabilidade a erosão.

As unidades geológicas constituídas por Depósitos Aluvionares de Canal, Depósitos Fluvio-Marinhos, Depósitos eólicos litorâneos vegetados e não vegetados, Sedimentos Aluvionares e Depósitos Aluvionares Antigos, juntos representam 59,39% do território da bacia.

No tocante ao tema Geomorfologia, a BHRD apresenta-se com relevo plano a suave ondulado, considerados medianamente estável/vulnerável no processo de perda do solo, como se pode observar no mapa (FIGURA 03).



**FIGURA 03:** Mapa de vulnerabilidade para o tema Geomorfologia.

A Depressão Sertaneja e a Unidade Tabuleiros, localizados na porção centro-oeste da bacia, foram as unidades geomorfológicas que apresentaram uma maior estabilidade, com uma média de 1,6 na escala de vulnerabilidade.

As Dunas Móveis e Fixas, além das áreas urbanas, localizadas na porção leste da bacia, apresentaram um valor de vulnerabilidade medianamente estável/vulnerável nos níveis 01 (1,8) e 02 (1,9).

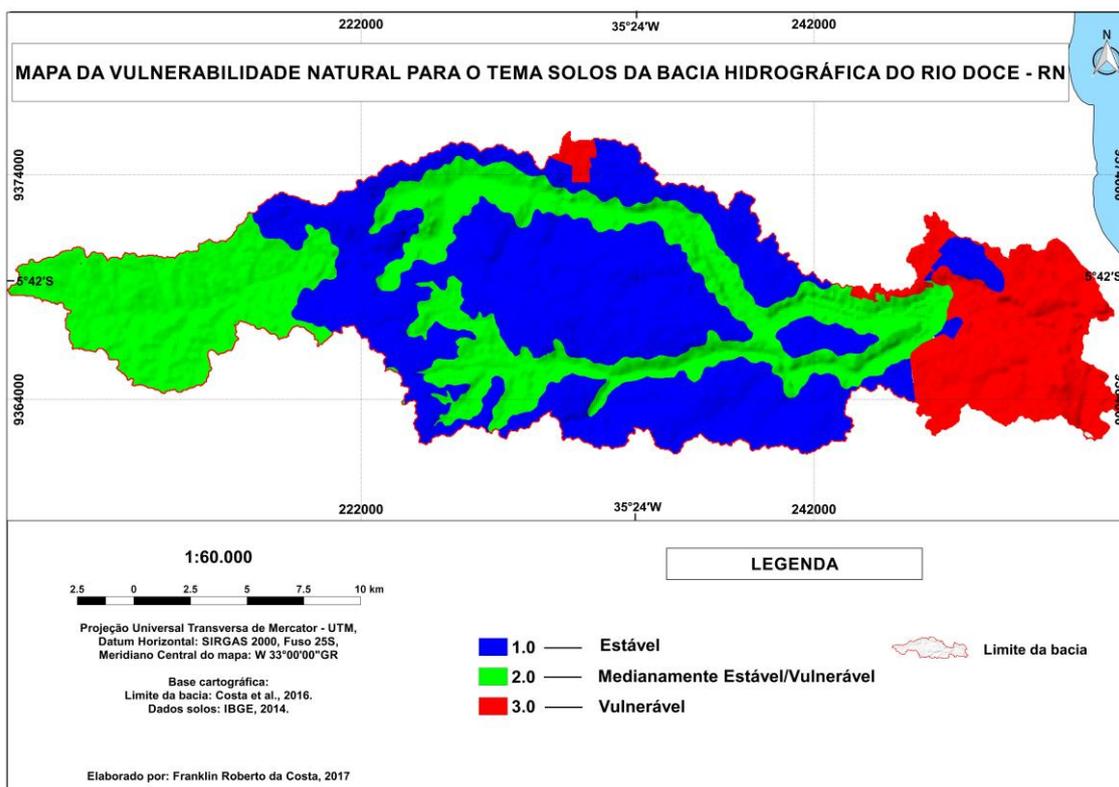
A unidade considerada mais vulnerável na bacia, em relação a Geomorfologia, é a Planície de Inundação Fluvial, localizada ao longo dos rios do Mudo, Guajiru e Doce. Apresentou um valor 2,0, considerável de nível 03 na escala de vulnerabilidade Medianamente Estável/Vulnerável.

De um modo geral, a geomorfologia da bacia se apresenta, pela média dos indicadores morfométricos, como uma área majoritariamente aplainada, com algumas áreas onduladas mais próximas ao leito dos rios e baixa densidade de drenagem. A ausência de relevos residuais e a predominância dos tabuleiros explicam a baixa amplitude altimétrica.

Crepani et al. (2001) afirmam que a principal característica considerada para estabelecer as 21 classes de vulnerabilidade para o tema solos é o grau de desenvolvimento ou maturidade do solo. No entanto, a variável do tema solos apresenta apenas 4 classes (1,0; 2,0; 2,5; 3,0). Na BHRD encontram-se 3 (três) classes, conforme a FIGURA 04.

De acordo com Crepani et al. (2001), os Latossolos possuem maior estabilidade em relação a vulnerabilidade do solo pois são considerados desenvolvidos, com grande profundidade e porosidade. Além disso, possuem permeabilidade à água e ao ar; friáveis e de baixa plasticidade.

São pouco susceptíveis aos processos erosivos e ocorrem, geralmente, em topografias mais suaves. Na BHRD, os Latossolos se encontram na porção central, sendo a unidade mais presente na área, com o total de 189,31 km<sup>2</sup>, o que representa 47.72% da bacia.



**Figura 04:** Mapa de vulnerabilidade para o tema Solos.

No nível intermediário estão os Argissolos Amarelo Distróficos e o Vermelho Eutrófico, além do Planossolo Háptico Eutrófico. O Argissolo Amarelo Distrófico é encontrado em praticamente toda extensão da bacia, seguindo os cursos principais dos rios. De acordo com o IBGE (2014), são solos constituídos por material mineral, que tem como características a presença de horizonte B textural de argila de atividade baixa ou alta, conjugada com saturação por bases baixa. O horizonte B textural encontra-se abaixo de qualquer horizonte superficial. Neste caso, segundo Crepani et al. (2001), a diferença de textura entre os horizontes A e B dificulta a infiltração de água no perfil, o que favorece os processos erosivos.

O solo do tipo Planossolo Háptico Eutrófico é um solo mineral imperfeitamente ou mal drenado, com horizonte superficial ou subsuperficial eluvial, textura mais leve, que contrasta abruptamente com o horizonte B ou com transição conjugada, geralmente com

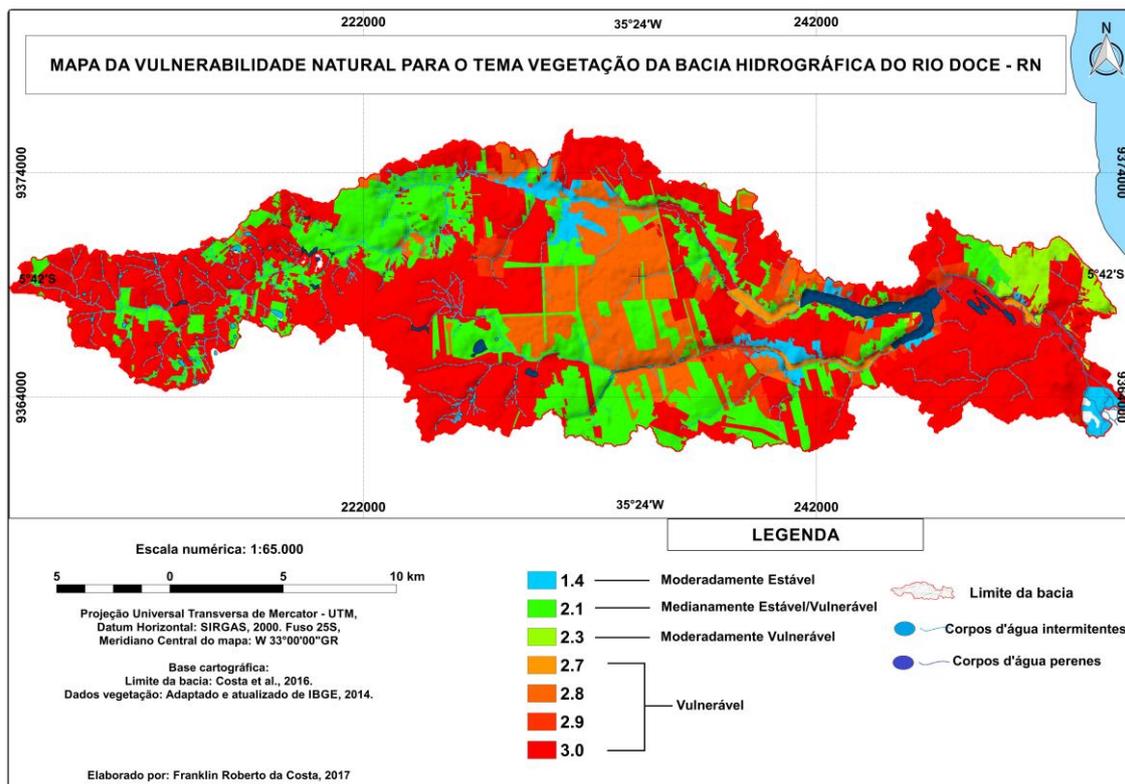
acentuada concentração de argila e permeabilidade lenta a muito lenta (IBGE, 2014). A soma desses 03 tipos de solos corresponde a 146,57 km<sup>2</sup>, ocupando 36,95% da bacia.

Os tipos de solos da bacia considerados vulneráveis são aqueles considerados jovens e pouco desenvolvidos, ou seja, pequena evolução dos perfis de solo. Segundo Crepani et al. (2001), nestes solos o horizonte A está assentado diretamente sobre o horizonte C, ou diretamente sobre a rocha matriz. São considerados jovens, pois ainda estão se desenvolvendo a partir de materiais de origem recentemente depositados. Na BHRD os tipos de solos existentes foram o Gleissolo Tiomórfico Órtico e o Neossolo Quartzarênico Órtico.

Os solos do tipo Neossolo Quartzarênico Órtico são constituídos por material mineral, não hidromórfico, ou por material orgânico pouco espesso e não apresentam alterações expressivas em relação ao material originário devido à baixa atuação dos processos endogenéticos (IBGE, 2014).

O solo Gleissolo Tiomórfico Órtico é um solo pouco desenvolvido, lamacento, escuro e com alto teor de sais provenientes da água do mar, formados em ambientes de mangues a partir de sedimentos flúvio-marinho recentes, misturados com detritos orgânicos. Tais sedimentos são decorrentes da deposição pelas águas dos rios quando se encontram com as águas do mar, em condição de baixa energia (JACOMINE, 2008). Esses solos estão localizados na porção leste da bacia e ocupam 8,89 km<sup>2</sup>, representando 6,38% da bacia.

O tema vegetação é considerado um dos mais importantes para análise da vulnerabilidade a perda do solo. Acredita-se que coberturas vegetacionais densas são consideradas mais estáveis, em detrimento de solos desnudos. Utilizando-se como base o mapa de vegetação do IBGE e a escala de vulnerabilidade para o tema vegetação de Crepani et al. (2001), elaborou-se o mapa de vulnerabilidade para o tema (FIGURA 5).



**Figura 05:** Mapa de vulnerabilidade para o tema Vegetação.

A partir do mapa de vulnerabilidade para o tema vegetação, observa-se que as áreas mais estáveis estão localizadas próximo ao litoral, representada pelas Formações Pioneiras com Influência Fluviomarina (Mangue) (1,4), considerada Moderadamente Estável.

A vegetação do tipo Savana Estépica Arborizada e a Savana Arborizada estão distribuídas ao longo de toda a bacia, principalmente na parte central e norte-sul. Caracteriza-se como uma vegetação mais densa, associadas a Formação Flúvio-Lacustre arbóreo ao longo dos rios do Mudo e Guajirú, ao noroeste com as Florestas Estacionais Deciduais de Terras Baixas (onde se encontra a vegetação mais preservada) e nas proximidades do Aeroporto Internacional Augusto Severo. De acordo com a escala de vulnerabilidade, esses tipos de vegetação são considerados Medianamente Estáveis/Vulneráveis.

A vegetação do tipo Formações Pioneiras com Influência Fluvial e/ou Lacustre está distribuída ao longo de toda a bacia, principalmente próximo dos rios do Mudo, Guajirú e Doce. No entanto, percebeu-se que a influência antrópica não permitiu avaliá-lo de maneira

isolada. Segundo Crepani et al. (2001), onde não é possível definir espacialmente as unidades de vegetação que se compõe o contato, calcula-se a média aritmética dos tipos de vegetação que estão nele contidos.

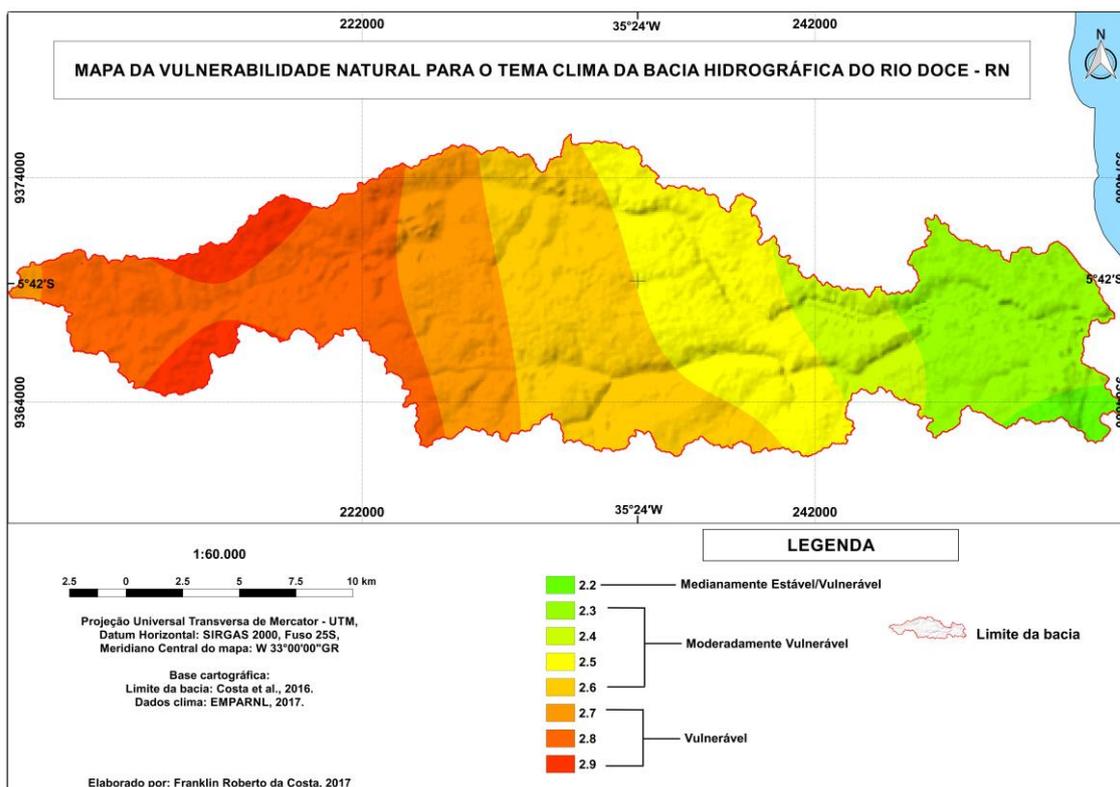
No caso da BHRD, a intensa atividade antrópica ao longo dos leitos dos rios acarretou a obtenção de médias que, em alguns casos, foram superiores ao valor de vulnerabilidade para o tipo de vegetação isoladamente. Por esse motivo, as Formações Pioneiras com Influência Fluvial e/ou Lacustre que, na escala de vulnerabilidade é considerada Moderadamente Vulnerável, em algumas áreas próximas dos rios apresentou-se vulnerável.

Segundo Crepani et al. (2001), as coberturas artificiais do terreno são os principais responsáveis pela vulnerabilidade a perda do solo. Nesse sentido, os valores do tema pastagem, culturas perenes, culturas anuais (sazonais) e as áreas antropizadas são 2,8; 2,9; 3,0 e 3,0, respectivamente.

Na bacia, a soma das 03 coberturas artificiais corresponde a 201,79 km<sup>2</sup>, equivalente a 50,87% da cobertura da terra. Somados a área urbana (56,79 km<sup>2</sup> ou 14,32%) e às áreas antropizadas (20,98 km<sup>2</sup> ou 5,29%), a escala vulnerável representa 70,48% de toda a área da BHRD para o tema vegetação.

O mapa sobre o tema clima refere-se, de acordo com Crepani et al. (2001), a intensidade pluviométrica (FIGURA 06). Silva et al. (2007) afirmam que esse índice está diretamente ligado à erosividade, que se caracteriza pelo poder que a chuva tem em causar a erosão dos solos.

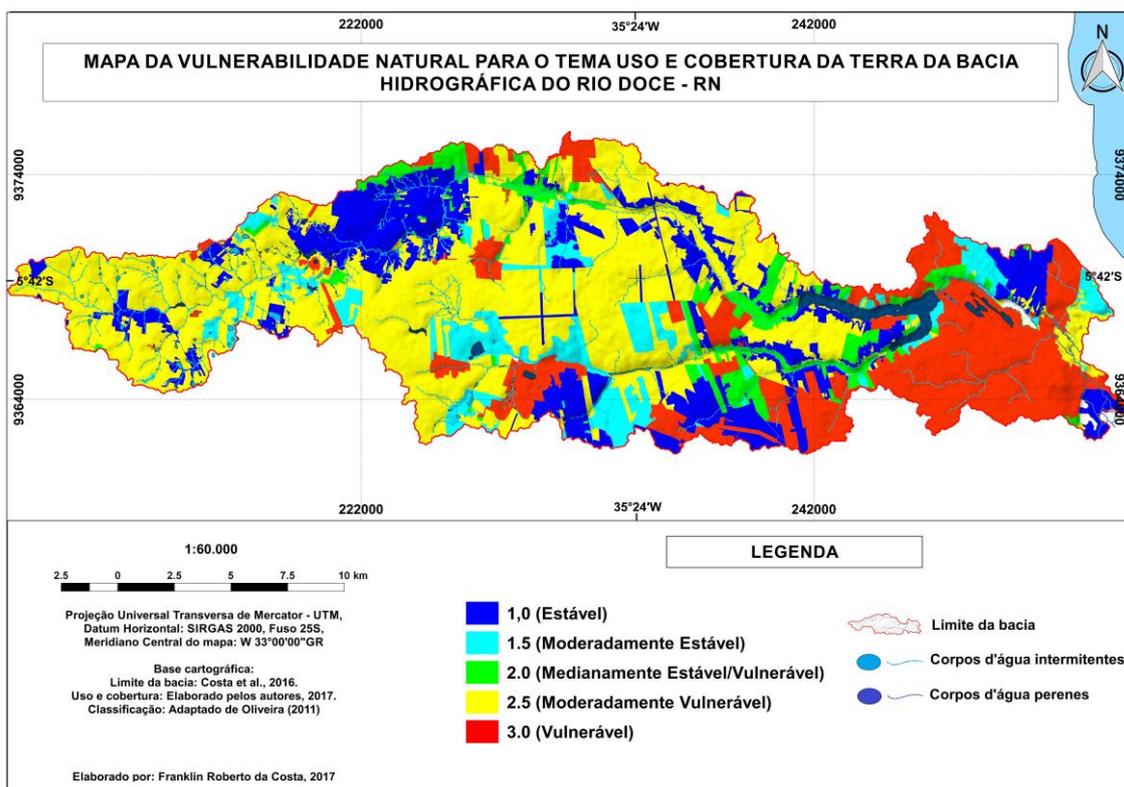
Nota-se que, na FIGURA 06, no sentido leste-oeste, a intensidade pluviométrica aumenta, influenciada diretamente pela diminuição da quantidade de chuvas, à medida que se afasta do litoral, bem como pelo aumento na concentração dos dias de chuva, ocasionados pelo tipo de clima preponderante na parte centro-leste da bacia.



**Figura 06:** Mapa de vulnerabilidade para o tema Clima.

Ainda que haja uma boa quantidade de chuvas e uma distribuição regular, ao longo do ano, para a porção leste da bacia, percebe-se que, de uma maneira geral, a intensidade pluviométrica é considerada um dos itens mais impactantes à erosão dos solos, destacando-se que 329,42 km<sup>2</sup>, ou 83,04% da área de bacia está entre Moderadamente Vulnerável a Vulnerável na escala de Vulnerabilidade adotada por Crepani et al. (2001).

O mapa de uso e cobertura da terra teve como base metodológica o Manual de uso e cobertura da terra, elaborado pelo IBGE (2013), e como base cartográfica o mapa de vegetação, elaborado a partir da interpretação de imagens orbitais disponibilizadas pela empresa Digital Globe no Google Earth, com resolução espacial que varia entre 5 metros e 0,61 centímetros, que foi aberto no SIG QGIS Essen 2.14, através do plugin Open layers, assim como algumas visitas a campo (FIGURA 07).



**FIGURA 07:** Mapa do grau de vulnerabilidade para o tema uso e cobertura da terra.

As áreas florestadas na bacia estão diminuindo, devido às ações antrópicas que vem, ao longo dos anos, retirando a vegetação para diferentes formas de ocupação (Castro, 2000; Faustino et al., 2014), como o exemplo da figura 8, que mostra um condomínio em construção, na área do limite da bacia, próximo a praia de Genipabu.



**FIGURA 08:** Área de cobertura florestal nas proximidades da praia de Genipabu: Limite nordeste da Bacia Hidrográfica do Rio Doce. **Fotografias:** Franklin R. da Costa, 2017.

A área Medianamente Estável/Vulnerável representa um equilíbrio entre os processos de vulnerabilidade e estabilidade local, ou seja, a capacidade que o ambiente tem em se manter estável. Ocupa uma área de 20,25 km<sup>2</sup>, representando 5,15% de toda a área da bacia. É caracterizada pelo cultivo de frutas, tais como a banana, o coqueiro e cajueiros. Concentra-se em áreas onde há maior disponibilidade de águas, ou seja, próximo dos leitos dos rios. Observou-se, em alguns locais, o avanço da produção para o leito menor do rio (FIGURA 09 a e b).



**FIGURA 09:** a) Cultivo de Cajueiro próximo ao Rio Guajirú. b) Cultivo de bananeiras no leito menor do rio Doce. **Fotografias:** Franklin R. da Costa, 2017

A classe de Vulnerabilidade Moderadamente Vulnerável é a mais representativa na bacia e se caracteriza por áreas utilizadas para a prática da cultura temporária e a pastagem/criação de gado. Ocupa uma área de 173,7 km<sup>2</sup>, o que representa 43,79% de toda a bacia.

Os principais cultivos, que representam 116,51 km<sup>2</sup> (29,30%) da bacia, estão associados à cana de açúcar na parte centro-leste e ao cultivo misto realizado nas áreas dos assentamentos rurais e de pequenos proprietários na parte centro-oeste da bacia. Em muitas dessas áreas, a atividade da pecuária aparece consorciada com a cultura temporária (FIGURA 10).



**FIGURA 10:** Cultivo temporário de cana de açúcar, consorciado com criação de gado no leito menor do rio Mudo. Próximo a área de expansão da cidade de Ceará – Mirim (Loteamento Planalto). **Fotografias:** Franklin R. da Costa, 2017.

Na figura 10 observa-se uma cultura temporária mecanizada, consorciada com uma criação de gado, ocupando todo o leito do rio. A proximidade com a área urbana em expansão na direção desse setor acarretará um aumento no grau de vulnerabilidade para essas áreas que se apresentam com predomínio da morfogênese.

Por fim, a classe Vulnerável representa as áreas onde há o predomínio de atividades antrópicas que transformaram (e ainda transformam) a paisagem, alterando de maneira irreversível. As principais características que a concebem são as áreas urbanizadas e as áreas de mineração, onde estão localizados os afloramentos rochosos. A área possui 88,31 km<sup>2</sup>, representando 22,26% da bacia. Desses, 86,70 km<sup>2</sup> (20,53%) são áreas urbanizadas (FIGURA 11) e o restante, 1,61 km<sup>2</sup> (0,41%), foram classificados como afloramentos rochosos.



**FIGURA 11:** Área de expansão da cidade de Ceará – Mirim/RN. Observa a morfologia local denotando área de captação natural de águas pluviais que drenam para a bacia ora desmatada, assoreada e com barramentos devido o calçamento no local. **Fotografias:** Franklin R. da Costa, 2017.

As áreas urbanizadas se concentram na Zona Norte da cidade de Natal, na porção sul da área urbana de Ceará-Mirim, na porção sul da área urbana de Extremoz, na porção nordeste da cidade de São Gonçalo do Amarante.

Além das áreas urbanas consolidadas e em expansão, nas porções centro e leste da bacia, outras aglomerações populacionais também foram consideradas áreas urbanizadas, como distritos, povoados, comunidades e agrovilas, distribuídas ao longo da bacia, principalmente no sudoeste, onde se concentram 6 (seis) assentamentos rurais (FIGURA 12).



**FIGURA 12:** Distrito de Canto da Moça – Município de Ielmo Marinho/ RN. **Fotografia:** Franklin R. da Costa, 2017.

Os afloramentos rochosos estão associados a atividades mineradoras. As extrações minerais (granito) mecanizadas estão localizadas ao longo do rio Guajiru, próximo ao distrito de Serrinha, município de São Gonçalo do Amarante, e mais a montante, próximo a porção sul da nascente do rio do Mudo (FIGURA 13 a e b).



**FIGURA 13** - a) Área de mineração com extração de rocha granítica no distrito de Serrinha, São Gonçalo do Amarante. b) Outra área de mineração de granitos no distrito de Laginha, Taipu. **Fotografia:** Franklin R. da Costa, 2017.

As áreas vulneráveis presentes na bacia apresentam, de uma maneira geral, danos ambientais relevantes, tais como o assoreamento, a mudança e interdição das drenagens dos rios, retirada da vegetação para uso antrópico (plantio e moradia) e a extração mineral, irreversíveis. Neste caso, se faz necessário dialogar com a sociedade, perspectivas de ajustes na forma de uso e ocupação desses espaços, visando manter a sustentabilidade local, minimizando o desequilíbrio entre a morfogênese e a pedogênese.

## **ANÁLISE DAS VULNERABILIDADES NATURAL E AMBIENTAL DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO DOCE**

### **Vulnerabilidade Natural**

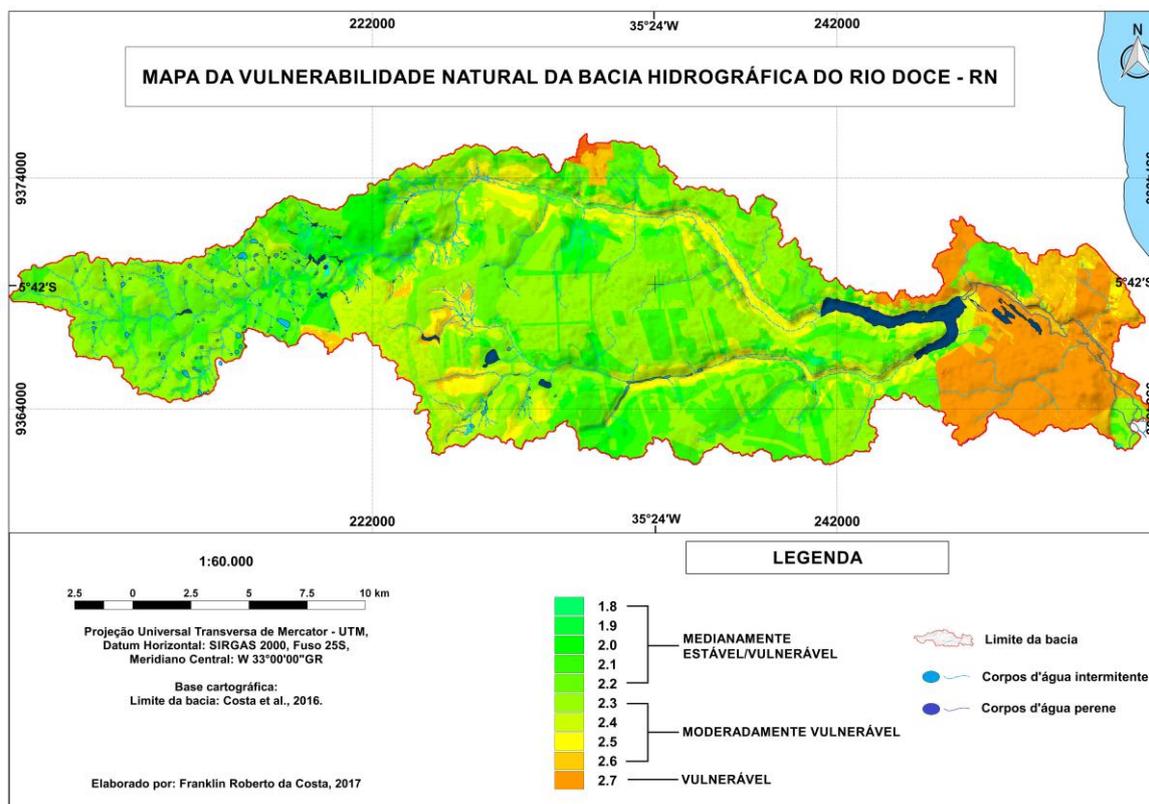
O mapa de Vulnerabilidade Natural da bacia hidrográfica do Rio Doce/RN é o resultado da média aritmética da vulnerabilidade natural à erosão dos 05 (cinco) temas

trabalhados e discutidos anteriormente a partir da metodologia proposta por CREPANI et al. (2001) (FIGURA 14).

Além da divisão das classes de vulnerabilidade, fez-se uma divisão das classes por níveis de vulnerabilidade, por entender que há maiores e menores graus de vulnerabilidade nas próprias classes determinadas (QUADRO 9).

**QUADRO 9:** Classes e Níveis de Vulnerabilidade Natural da BHRD.

Classes/Níveis de Vulnerabilidade	Áreas das classes (km <sup>2</sup> )	Áreas das classes (%)
Medianamente Estável/Vulnerável 1 (1,8)	6.54	1.65
Medianamente Estável/Vulnerável 2 (1,9)	9.24	2.33
Medianamente Estável/Vulnerável 3 (2,0)	35.95	9.06
Medianamente Estável/Vulnerável 4 (2,1)	55.83	14.07
Medianamente Estável/Vulnerável 5 (2,2)	137.88	34.76
Moderadamente Vulnerável 1 (2,3)	53.89	13.58
Moderadamente Vulnerável 2 (2,4)	26	6.55
Moderadamente Vulnerável 3 (2,5)	22.57	5.69
Moderadamente Vulnerável 4 (2,6)	38.48	9.70
Vulnerável 1 (2,7)	10.32	2.60



**FIGURA 14:** Mapa da vulnerabilidade natural da BHRD.

A FIGURA 14 e o QUADRO 9 mostram que a BHRD se apresenta, predominantemente, como uma área Medianamente Estável/Vulnerável. Além disso, percebe-se que a bacia não apresenta as classes Estável (1 – 1,3) e Moderadamente Estável (1,4 – 1,7). A classe Vulnerável apresenta-se com grau de vulnerabilidade (1), equivalente ao valor 2,7.

A classe *Medianamente Estável/Vulnerável* representa 61,87% (245,44 km<sup>2</sup>) da sua porção territorial e se caracteriza por áreas geologicamente mais antigas, representadas pela Suíte Intrusiva Dona Inês, mas também se faz presente em sedimentos aluvionares, cujas demais características físicas nessas áreas, como a geomorfologia, a pedologia e a vegetação, apresentam-se mais estáveis à vulnerabilidade. Do ponto de vista geomorfológico, corresponde às áreas de Tabuleiro e da Depressão Sertaneja, cujas características são de relevo plano a suave ondulado, e os solos predominantes são dos tipos Latossolo Amarelo Distrófico e Planossolo Háptico Eutrófico.

A vegetação, de maneira geral, apresenta-se em áreas classificadas como moderadamente estáveis (Savana Estépica Arborizada) e vulneráveis (Cultivo Perene). No entanto, a vulnerabilidade para a classe Medianamente Estável/Vulnerável de grau (5) representa 137,88 km<sup>2</sup> (34,76%) de toda a bacia, e se concentra nas áreas de cultivo (temporário e permanente) e pastagem, o que aponta, portanto, áreas com forte vulnerabilidade natural.

A classe *Moderadamente Vulnerável* possui 140,94 km<sup>2</sup>, o que equivale a 35,53% da área da bacia, sendo a maior parcela no grau de vulnerabilidade (1). Essa classe é geologicamente caracterizada por formações rochosas mais recentes, que apresentam grau de vulnerabilidade alta, como os Depósitos Aluvionares Antigos e os Depósitos Eólicos Vegetados e Não Vegetados. A geomorfologia dessas áreas se concentra nas áreas das

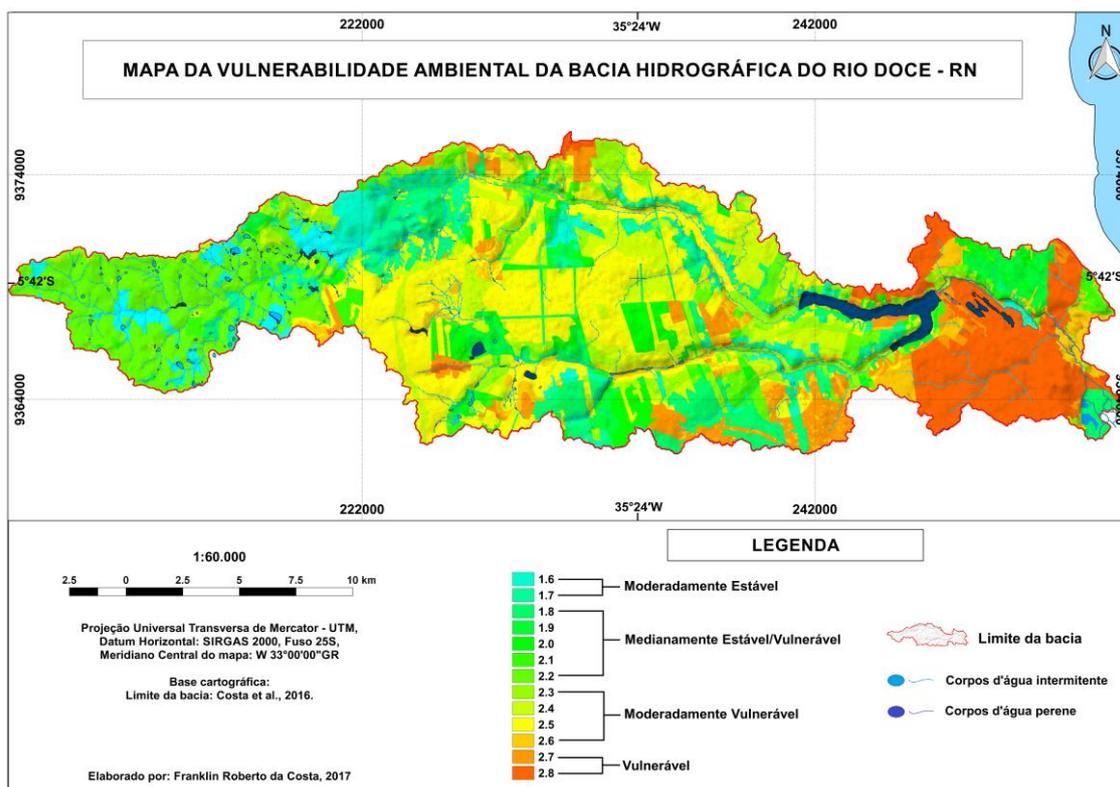
planícies de inundação fluvial, que se apresenta com relevo suave ondulado a ondulado, principalmente nos leitos dos rios Guajirú, do Mudo e Doce.

Os solos característicos dessa classe são os Argissolos Amarelos Eutróficos Distróficos e os Neossolos Quartzarênicos Órticos. Localizados em área onde a vegetação encontra-se antropizada, seja por cultivo e pastagem, seja pela ocupação urbana. Assim como na classe anterior, percebe-se um valor considerável para o último grau de vulnerabilidade da classe (4), representando 38,48 km<sup>2</sup> ou 9,70% da área da bacia. Essa área está associada aos centros urbanos, que apresenta vulnerabilidade alta para os temas Geologia, Geomorfologia, Vegetação e Solos.

A classe *Vulnerável* representa 10,32 km<sup>2</sup> (2,60%) da área da bacia e se concentra nas áreas urbanas, com ênfase na porção norte da área urbana de Ceará-Mirim. Isso porque além dos temas Geologia, Vegetação e Solos apresentarem vulnerabilidade máxima, os temas Clima (2,6) e Geomorfologia (2,0) também contribuíram para elevar o valor para o grau 2,7 na escala de vulnerabilidade natural. Em Natal e em Extremoz, pequenas parcelas apresentam o valor 2,7 na escala de Vulnerabilidade em áreas que apresentaram um relevo mais acidentado e mais ondulado, alcançando o grau de vulnerabilidade 2,2.

### **Vulnerabilidade Ambiental**

O mapa de vulnerabilidade ambiental foi elaborado a partir das metodologias adotadas por Grigio (2003) e Oliveira (2011), na qual são aplicados diferentes pesos compensatórios para os valores de vulnerabilidade natural e do uso e cobertura da terra. O resultado da equação aplicada pode ser visto na FIGURA 15, que representa o mapa de Vulnerabilidade Ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Doce/RN.



**Figura 15:** Mapa da vulnerabilidade ambiental da BHRD.

**Quadro 10:** Classes e Níveis de Vulnerabilidade Ambiental da BHRD.

Classes/Níveis de Vulnerabilidade	Áreas das classes (km <sup>2</sup> )	Áreas das classes (%)
Moderadamente estável 3 (1,6)	9.39	2.37
Moderadamente estável 4 (1,7)	35.21	8.88
Medianamente Estável/Vulnerável 1 (1,8)	15.24	3.84
Medianamente Estável/Vulnerável 2 (1,9)	21	5.29
Medianamente Estável/Vulnerável 3 (2,0)	6.35	1.60
Medianamente Estável/Vulnerável 4 (2,1)	16.77	4.23
Medianamente Estável/Vulnerável 5 (2,2)	52.75	13.30
Moderadamente Vulnerável 1 (2,3)	35.2	8.87
Moderadamente Vulnerável 2 (2,4)	79.16	19.95
Moderadamente Vulnerável 3 (2,5)	53.9	13.59
Moderadamente Vulnerável 4 (2,6)	25.08	6.32
Vulnerável 1 (2,7)	36.83	9.28
Vulnerável 2 (2,8)	9.82	2.48

De acordo com o Quadro 10, a vulnerabilidade ambiental para a bacia apresentou 4 (quatro) classes de vulnerabilidade, sendo os 02 (dois) últimos níveis da classe

Moderadamente estável (3 e 4), todos os níveis das classes Medianamente estável/vulnerável (5) e Moderadamente vulnerável (4) e os 02 (dois) primeiros níveis da classe Vulnerável. Não foram observadas áreas com a classe Estável.

Em termos quantitativos, a classe mais representativa na BHRD foi a Moderadamente vulnerável, com 193,34 km<sup>2</sup> de área ou 48,74% da bacia, seguidos da classe Medianamente Estável/Vulnerável, com 112,11 km<sup>2</sup> ou 28,26%. As classes Vulnerável e Moderadamente Estável apresentaram resultados semelhantes (46,65 km<sup>2</sup> ou 11,76% e 44,6km<sup>2</sup> ou 11,24%, respectivamente).

As áreas classificadas como *Moderadamente estável* estão distribuídas ao longo de toda a bacia e tem como característica principal uma vegetação mais preservada, terrenos e solos mais antigos, bem como um relevo mais plano, formado pela Depressão Sertaneja e a Formação Tabuleiros.

Nessas áreas, as formações Florestal e Campestre se destacam, principalmente ao longo do alto e médio curso do rio do Mudo. O nível 4 dessa classe é a que apresenta a maior parcela de cobertura no terreno, com 35,21 km<sup>2</sup> (8,88%), o que demonstra uma área de transição entre a estabilidade natural para um processo de antropização de uso e ocupação da terra.

O processo de antropização é o responsável pela degradação ambiental das microbacias de nascentes do rio do Mudo. A remoção total da vegetação natural nas principais áreas de recarga deste rio, ora desnudas, segundo Santos (2016), constitui o principal contribuinte para a diminuição da recarga e do nível do lençol freático após a extensiva remoção, ao longo dos anos, da vegetação natural desses locais.

As áreas *Medianamente Estáveis/Vulneráveis* com níveis mais altos se concentraram na porção sul – sudeste da bacia e se caracterizaram por apresentar uma Geologia formada por depósitos areno-argilosos, solos do tipo Latossolo Amarelo Distrófico e formações

geomorfológicas do tipo Tabuleiros. Apresenta uma vegetação parcialmente preservada, decorrente da pressão exercida pela forma de uso e ocupação terra. Esse fato se comprova ao analisar o QUADRO 5, em que os níveis 4 e 5 de vulnerabilidade representam 69,52 km<sup>2</sup> ou 62,01% dessa classe. Assim como na classe anterior, essas áreas merecem uma atenção especial por estarem em um nível considerado de transição.

Neste caso, há o risco iminente de se tornarem áreas moderadamente vulneráveis, uma vez que a microbacia do Guajiru se apresenta em processo de uso e ocupação gradativa, o que pode ocasionar um aumento dos impactos ambientais negativos nessa porção da bacia. Investigação conduzida por Da Silva (2016) em microbacias de nascentes do rio Guajirú, apontam para o alto nível de degradação ambiental, decorrente do acentuado nível de desmatamento das microbacias de nascentes e de corpos d'água existentes, propiciando a diminuição gradativa nos níveis do lençol freático, além de barramentos de canais de drenagem para implantação de estradas, assentamentos e agrovilas.

Os níveis mais baixos de vulnerabilidade da classe medianamente estável/vulnerável estão localizados na porção oeste da bacia. A baixa vulnerabilidade se dá pelos condicionantes do meio físico que ali se apresentam. Ou seja, as características físicas do ambiente apresentam baixa vulnerabilidade. No entanto, a influência dos tipos de atividades exercidas nesse setor, juntamente com o clima mais vulnerável, não o colocou como uma área totalmente estável.

Como dito anteriormente, a classe *Moderadamente vulnerável* foi aquela mais representativa na bacia, com 193,34 km<sup>2</sup> ou 48,74% da sua área total. Apresenta-se em toda a bacia, com ênfase na sua porção central, onde se concentram as principais atividades agropecuárias, bem como nas áreas de expansão urbana das cidades mais representativas existentes na bacia.

Os níveis de vulnerabilidade 2 e 3 são os mais representativos da classe, com uma área de 133,06 km<sup>2</sup>, o que significa 33,54% de toda a bacia. Essas áreas são caracterizadas por realizarem atividades agrícolas temporárias e permanentes, sendo alguns lugares consorciadas com a criação de animais de grande porte.

As culturas temporárias mais representativas são a cana de açúcar, presente ao longo do rio do Mudo e nas áreas de transição entre as sub-bacias do Guajirú e do Mudo, e as hortaliças, cultivadas ao longo do Rio Doce, e algumas áreas do Rio Guajirú (em alguns casos no leito menor do rio) (FIGURA 16 a e b).



**FIGURA 16 - a)** Produção mecanizada de cana de açúcar. **b)** Plantio de hortaliças.  
Fotografias: Franklin R. da Costa, 2016.

O último nível de vulnerabilidade da classe moderadamente vulnerável (2,6) se concentra, majoritariamente nas áreas de expansão urbana das cidades de Natal e São Gonçalo do Amarante, além das dunas móveis e fixas, localizadas no município de Extremoz. São áreas que se apresentam com grau de vulnerabilidade alta, com forte tendência a se tornarem vulneráveis, uma vez que estão localizadas em áreas vizinhas as que já são consideradas vulneráveis.

Por fim, as áreas classificadas como *Vulneráveis* na escala de vulnerabilidade, correspondem a 46,65 km<sup>2</sup> (11,76%) e estão localizadas, principalmente, na porção leste da bacia, onde se concentra a maior densidade demográfica da bacia. Juntamente com ela, estão todos os equipamentos urbanos necessários para o funcionamento das cidades, bem como nas

áreas de mineração a céu aberto, onde estão localizadas as rochas graníticas da Suíte Intrusiva Dona Inês.

Além das áreas urbanas consolidadas, os distritos e as agrovilas dos assentamentos rurais, localizados nos municípios de Ielmo Marinho e Ceará-Mirim, bem como o Aeroporto Internacional Augusto Severo, localizado no município de São Gonçalo do Amarante e o Aterro Sanitário Metropolitano de Natal, localizado no município de Ceará – Mirim, fazem parte dessa classe.

Essas áreas são cobertas por formações geológicas recentes, constituídas por depósitos eólicos litorâneos vegetados e depósitos areno-argilosos, com ocupação antrópica dos solos consolidada. Geomorfologicamente é uma área de relevo plano a suave ondulado, referentes às Dunas Fixas, Dunas Móveis e Tabuleiros. A formação geomorfológica e o tipo climático da bacia contribuíram para que não se elevasse o grau de vulnerabilidade para essa classe. No entanto, as demais variáveis apresentaram alto grau de vulnerabilidade, denotando que essas áreas são as mais susceptíveis a impactos ambientais na bacia.

## **CONCLUSÕES**

A BHRD se apresenta como uma área com vulnerabilidade natural de grau médio, prevalecendo um equilíbrio entre os processos de morfogênese e pedogênese. A vulnerabilidade ambiental apresenta-se acima da média, prevalecendo o processo de morfogênese. Em comum, na porção leste da bacia, onde se localizam as principais concentrações populacionais e os sistemas naturais mais frágeis, as vulnerabilidades natural e ambiental se mostraram preocupantes, pois alcançaram os maiores valores do grau de vulnerabilidade, com uma média de 2,7 para a classificação da vulnerabilidade natural e 2,8 para a vulnerabilidade ambiental.

O mapeamento da vulnerabilidade natural mostrou que há uma diminuição da estabilidade natural/ambiental no sentido oeste-leste. A média da vulnerabilidade na porção oeste foi de 2,2 (Medianamente Estável/Vulnerável); na porção central a média foi de 2,4 (Moderadamente Vulnerável); na porção leste a média foi de 2,6 (Moderadamente Vulnerável - último nível).

Os resultados observados para o tema uso e cobertura da terra, considerado o mais importante para a análise da vulnerabilidade ambiental, apresentaram vulnerabilidade alta ao longo de toda a bacia, decorrente da forma como o homem vem explorando o meio, notadamente, pelo desmatamento quase total da bacia. Cerca de 271,87 km<sup>2</sup> (68,53%) da área territorial são áreas antropizadas (agrícolas e não agrícolas), cuja média de vulnerabilidade ambiental é de 2,9 e 110,35 km<sup>2</sup> (27,82%) da área territorial são de vegetação natural e/ou reflorestada, com média de vulnerabilidade 2,0.

O uso das metodologias para análise da vulnerabilidade natural e ambiental, baseados em Crepani et al. (2001), Grigio (2003) e Oliveira (2011), mostraram resultados satisfatórios e passíveis de comparação. A metodologia adotada por Crepani et al. (2001) apresentou resultados que representaram a estabilidade/vulnerabilidade natural da bacia pelos níveis de vulnerabilidade do meio físico, sem diferenças de pesos, o que acarretou uma vulnerabilidade média, de valor 2,1. Isso significa dizer que as características do meio físico da bacia comprovam que essa área tem uma tendência a vulnerabilidade, independente das ações antrópicas, já que 344,97 km<sup>2</sup> (86,96%) da bacia está acima da média no nível de vulnerabilidade, concentrando 229,66 km<sup>2</sup> (57,89%) entre os níveis 2,0 e 2,2.

Já a metodologia adotada por Grigio (2003) e Oliveira (2011), que necessita aplicar pesos para os temas do meio físico (Geologia, Geomorfologia, Solos, Clima e Vegetação) e para o tema antrópico (uso e cobertura da terra), apresentou uma média maior que o resultado obtido para a vulnerabilidade natural. Os valores obtidos mostraram que a bacia se encontra

na classe *Moderadamente Vulnerável*, com valor médio de 2,4, na escala de 1,0 a 3,0. O resultado obtido é fruto da antropização da bacia, representando uma área de 204,08 km<sup>2</sup> (51,44%) acima da média encontrada. Entre os níveis 2,3 e 2,5, concentrou-se o nível de vulnerabilidade ambiental da bacia, representando 168,26 km<sup>2</sup> (42,41%) do seu território.

Nesse sentido, é possível afirmar que a identificação das classes de vulnerabilidade natural e ambiental apresentada neste estudo definem critérios que sustentam a necessidade do planejamento do uso e ocupação do solo, principalmente para as áreas que apresentaram vulnerabilidade alta, como as áreas urbanas dos municípios de Natal, Extremoz, São Gonçalo do Amarante e Ceará-Mirim, as nascentes dos rios Guajirú e Doce, os distritos, povoados e assentamentos rurais.

Sugere-se que, para essas áreas, se estabeleçam critérios que limitem o uso e ocupação, tendo como suporte as legislações ambientais em vigor, com o objetivo principal de conservar e restaurar os sistemas naturais ali existentes. Com base na legislação ambiental vigente, pode-se propor proteção para os remanescentes de vegetação nativa existentes nas porções leste, centro-norte e oeste da bacia.

Ponderando a importância da bacia para Região Metropolitana de Natal, principalmente na Zona Norte da cidade de Natal, considera-se primordial a promoção de estudos, em escalas de detalhe, com o objetivo de aprofundar as discussões sobre o ordenamento territorial, que promova o planejamento regional, a partir de planos diretores municipais e comitês de bacias, em torno da sustentabilidade ambiental dessa região.

Finalmente, espera-se que este estudo sirva como instrumento inicial norteador de políticas públicas e de gestão de bacias hidrográficas, bem como contribua para o desenvolvimento local, seja ele econômico, social, associado a um uso sustentável do meio. Ainda assim, como dito anteriormente, sugere-se estudos em escalas cartográficas maiores, se possível a nível de planos diretores, que permitam o detalhamento e que atendam às

necessidades de ajustes do homem ao meio e à recuperação e preservação dos recursos naturais.

## REFERÊNCIAS

AMARAL, C. A. (Org.). **João Câmara: folha SB.25-V-C-IV: estado do Rio Grande do Norte**. Brasília: DNPM; CPRM, 1990. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil - PLGB.

BARBOSA, Y.B.; LORANDI, R. Geoprocessamento aplicado ao estudo da vulnerabilidade à erosão na bacia hidrográfica do Ribeirão do Pântano nos municípios de São Carlos, Analândia e Descalvado (SP). **Revista Geografia** (Londrina), v.21, n.1, p.103-123, jan/abr. 2012.

CASTRO, V.L.L. **Águas subterrâneas no curso inferior da bacia do rio Doce/RN: subsídios para um gerenciamento integrado**. Tese (Doutorado). Programa de Pós-graduação em Geociências. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo – USP, 2000.

COSTA, F.H.S; PETTA,R.A.; LIMA, R.F.S.; MEDEIROS, C.N. Determinação da vulnerabilidade na bacia potiguar, Região de Macau (RN), utilizando Sistemas de Informações Geográficas. **Revista Brasileira de Cartografia**. Rio de Janeiro, UFRJ, n.58, v.2, 2006, p.119-127.

COSTA, F.R; SOUZA, R.F.; SILVA, S.M.P. Análise comparativa de metodologias aplicadas à delimitação da bacia hidrográfica do Rio Doce – RN. **Sociedade e Natureza**, n.28, v.3, 2016, p.429-442.

CREPANI, E.; MEDEIROS, J.S.; HERNANDEZ FILHO, P.; FLORENZANO, T.G.; DUARTE, V.; BARBOSA, C.C.F. **Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao zoneamento ecológico-econômico e ao ordenamento territorial**. São José dos Campos – SP: INPE, 2001.

EMPARN. Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Norte. **Chuvas observadas no RN**. Disponível em: <http://187.61.173.26/>. Acesso em: 10 mar. 2017.

FAUSTINO, A.B.; RAMOS, F.F.; SILVA, S.M.P. Dinâmica temporal do uso e cobertura do solo na Bacia Hidrográfica do Rio Doce (RN) com base em sensoriamento remoto e SIG: uma contribuição aos estudos ambientais. **Sociedade e Território**, v.26, n.2, p.18 – 30, jul./dez. 2014.

FONSECA, V. P.; SOUSA, M. O. L.; SILVA, F. O.; BEZERRA, F. H. R.; AMARAL, R. F.; SOUZA, Z. S.; FERREIRA, A. C.; DUTRA, R. R. **Folha Natal SB.25-V-C-V: carta** <http://rigeo.cprm.gov.br/xmlui/handle/doc/17786>. Acesso em: 11 maio 2017. 2012.

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 e Geofísica) Centro de Ciências Exatas e da Terra. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2003, 232p.

HORTON, R. E. Erosional development of streams and their drainage basins. Hydrophysical approach to quantitative morphology. **Geol Soc Am Bull.**n.56, p.275–370, 1945.

IDEMA. Instituto de Desenvolvimento Sustentável e Meio Ambiente do Estado do Rio Grande do Norte. **Banco de Dados Geográficos**. Geomorfologia - RN, Escala: 1:100.000, 2005. CDROM.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Projeto sistematização das informações sobre recursos naturais**. Carta Pedologia – SB-25. IBGE: Rio de Janeiro, 2014.

\_\_\_\_\_. **Manual técnico de uso da terra**. 3ª ed. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2013.

\_\_\_\_\_. **Manual técnico da vegetação brasileira**. Série Manuais Técnicos em Geociências 1, 2ª edição revista e ampliada. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Rio de Janeiro, 2012.

\_\_\_\_\_. **Manual técnico de geomorfologia**. 2ª ed. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2009.

JACOMINE, P. K. T. A nova classificação brasileira de solos. **Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agrônoma**, Recife, v. 5/6, p. 161-179, 2008/2009

JARDIM DE SÁ, E.F. **A Faixa Seridó (Província Borborema, NE do Brasil) e o seu significado geodinâmico na Cadeia Brasileira/Pan-Africana**. Tese (Doutorado). Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, 803 p, 1994.

MESQUITA, C.; ASSIS, A.Q.S.; SOUZA, R.M. Vulnerabilidade natural à perda de solos da bacia hidrográfica do Rio Sagrado – Morretes/PR. **Revista de Geografia**. Recife – PE, UFPE, v.especial VIII SINAGEO, n.2, 2010, p. 249-264.

MOTA, S.O.; VALLADARES, G.S. Vulnerabilidade à degradação dos solos da Bacia do Acaraú, Ceará. In: **Revista Ciência Agrônoma**, v.42, n.1, jan./mar., 2011, p.39-50.

OLIVEIRA, P.T.S.; RODRIGUES, D.B.B.; ALVES SOBRINHO, T.; PANACHUKI, E. Processo analítico hierárquico aplicado a vulnerabilidade natural a erosão. **Geociências**, São Paulo, UNESP, v.28, n.4, 2009, p.417-424.

OLIVEIRA, F.F.G. **Aplicação das técnicas de geoprocessamento na análise dos impactos ambientais e na determinação da vulnerabilidade ambiental no litoral sul do Rio Grande do Norte**. Tese (Doutorado em Geografia) Instituto de Geociências e Ciências Exatas/UNESP – Rio Claro, 2011, 250p.

RIBEIRO, F.; CAMPOS, S. Vulnerabilidade à erosão do solo da região do Alto Rio Pardo, Pardinho, SP. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande – PB, UFCG, v.11, n.6, 2007, p.628–636.

ROSS J.L.S. **Geomorfologia: ambiente e planejamento**. 2. ed. São Paulo, Contexto, 2001.

SECRETARIA DE MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS – SEMARH/RN. **Bacia do Rio Doce, 2000**. Disponível em:

<http://servicos.semarh.rn.gov.br/semarh/sistemadeinformacoes/consulta/cBaciaDetalhe.asp?CodigoEstadual=07>. Acesso em: abr. 2016.

SCHUMM, S. A. Evolution of drainage systems and slopes in badlands at Perth Amboy. **Bull. Geol. Soc. America**. n. 67, p.597-646, 1956.

SILVA, J.S.V.; CARVALHO, J.R.P.; SANTOS, R.F.; FELGUEIRAS, C.A. Zoneamentos ambientais: quando uma unidade territorial pode ser considerada homogênea? In: **Revista Brasileira de Cartografia**, n.59, v.01, p.83-92, abril, 2007.

SILVA, J.X. da; ZAIDAN, R.T. (Org.). **Geoprocessamento e análise ambiental: aplicações**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2004. 368p.

SILVA, F.M. **Análise da vulnerabilidade ambiental no estuário do rio Curimataú/Cunhaú, Baía Formosa e Canguaretama – RN, Brasil**. Dissertação (Mestrado em Geografia) Centro de Ciências Humanas, Letras e Artes, Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal: UFRN, 2013, 152p.

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

## CONCLUSÃO FINAL

De um modo geral, a sequência utilizada para o desenvolvimento da presente tese se mostrou adequada para alcançar os objetivos propostos. No primeiro capítulo, a elaboração da delimitação da bacia foi necessária, uma vez que as delimitações oficiais disponibilizadas para consulta não se apresentavam compatíveis com a escala cartográfica adotada.

A nova delimitação serviu como “máscara” para a realização dos recortes dos dados do meio físico e socioeconômico da bacia, que serviram como base para a elaboração do segundo capítulo, que trata da caracterização geoambiental da bacia hidrográfica do rio Doce – RN. Dentre os produtos desenvolvidos, destaca-se a hidrografia, na criação do mapa das microbacias dos rios Guajirú, do Mudo e Doce, e uma atualização dos mapas de solo, da geomorfologia, da vegetação e a da elaboração, com mais detalhes, do mapa da hidrografia e do uso e cobertura da terra.

A importância do tema caracterização pluviométrica na vulnerabilidade ambiental motivou a realização do terceiro capítulo, apresentando uma distribuição geográfica das chuvas para a bacia, permitindo comparar os tipos de atividades desenvolvidas pela quantidade de chuvas existente em cada porção da bacia.

Por fim, os mapas do meio físico (Geologia, Geomorfologia, Solos, Vegetação e Clima) e antrópico (Uso e Cobertura do Solo) elaborados nos capítulos anteriores foram utilizados para a construção dos mapas de vulnerabilidade natural e ambiental da bacia, objetivos principais da tese, e também do quarto capítulo.

Tratando dos capítulos, especificamente, observou-se que a delimitação da bacia hidrográfica do Rio Doce apresentou, de uma maneira geral, características semelhantes nas regiões de nascentes dos rios para todas as formas de delimitação empregada, seja manual e automatizada. Entretanto, a partir da porção central da bacia, observou-se diferenças de traçado entre os processos automáticos e o visual, principalmente nas porções centro-norte e leste da bacia, em decorrência do relevo aplainado que dificulta a identificação da rede de drenagem de primeira ordem, das linhas de cumeeiras e das quebras de relevo. Isto decorre do poder resolutivo dos dados digitais de elevação empregados que não possibilitam detalhar o terreno em escala cartográfica grande, contribuindo, deste modo, na geração de diferentes perímetros e áreas da bacia com as metodologias empregadas.

A análise comparativa dessas metodologias revelou que a delimitação automatizada é mais rápida e mostra resultados visualmente mais próximos da escala de análise utilizada, destacando-se, também, que o aplicativo TERRAHIDRO apresentou os melhores resultados

de delimitação da bacia, dado que a rede de drenagem gerada pelo programa seguiu todo o curso do rio até a sua foz na sua configuração atual.

A delimitação visual pelo modelo digital de elevação de terreno é trabalhosa, ainda mais por não se dispor de recursos de estereoscopia. Há trechos de difícil visualização e traçado. Por outro lado, o principal e melhor resultado desse processo está exatamente na qualidade e suavidade do traçado dos divisores da bacia. Assim, pode-se também apontar que a análise baseada em fotointerpretação de fotos aéreas, em escala adequada e com recurso da visão estereoscópica, deve ser sempre avaliada e acompanhada de um bom embasamento teórico e visitas a campo.

Finalmente, mediante o conjunto de resultados alcançados, verifica-se que *é possível redefinir os divisores limites de bacias hidrográficas antigos com os dados, as ferramentas e os procedimentos empregados como forma de, rapidamente, se fazer uma atualização dos limites de bacias hidrográficas estaduais e federais.*

A caracterização geoambiental baseada na sistematização dos dados cartográficos e geográficos produzidos, bem como nos pré-existentes e disponíveis em órgãos oficiais sobre a BHRD, permitiu montar uma base de dados espaciais georreferenciada, na escala 1:100.000, contendo os mapas do meio físico relacionados à geologia, geomorfologia, pedologia e clima, além dos mapas de vegetação e de uso e ocupação do solo. Estes mapas permitiram mostrar que grande parte do território da BHRD está ocupado por atividades antrópicas, tendo a agropecuária como o principal tipo de uso da terra em toda a bacia. Na porção centro-oeste destaca-se a pastagem e a cana de açúcar, e mais para leste, a cultura perene, principalmente, ligada à fruticultura, mas também à pecuária e às culturas sazonais.

A análise dos mapas mostra claramente o avanço das áreas urbanas em direção aos leitos dos rios, principalmente, do rio do Mudo, na cidade de Ceará-Mirim; no Guajirú, nas cidades de São Gonçalo do Amarante e Extremoz; e no rio Doce, na cidade de Natal. O resultado desse processo de ocupação desordenada é a degradação ambiental da bacia, com diminuição da quantidade e qualidade das águas subterrâneas e superficiais; a perda de fertilidade e a contaminação do solo; a perda da vegetação nativa, inclusive em áreas protegidas por lei e, finalmente, a desconfiguração da paisagem local, nos locais onde se pratica a extração mineral.

Os resultados alcançados permitem identificar e concluir que os principais elementos da paisagem natural, como vegetação, água e solos que constituem a BHRD, estão em fase adiantada de degradação ambiental e que o mapeamento geoambiental, ora analisado, pode servir e indicar subsídios para discussão e implementação de políticas públicas de recuperação, manejo e preservação ambiental na BHRD, reconhecendo-se, porém, a

necessidade de estudos de maior detalhe, de análise das potencialidades e vulnerabilidades do uso do solo, visando o correto planejamento e ordenamento territorial da bacia em tela.

Ainda assim, a atualização e a elaboração dos mapas do meio físico e antrópico da bacia servirão como base atualizada de dados que permitirá a execução de trabalhos voltados para estudos, como exemplo, para temas ambientais.

A caracterização pluviométrica da Bacia Hidrográfica do Rio Doce – RN apresentou uma média anual pluviométrica, nos últimos 20 anos, de 1.036,10 milímetros, possibilitando caracterizar como de clima seco a normal, mas tendendo a um período mais seco. Também mostrou a existência de 03 (três) recortes espaciais distintos, assim definidos em porção oeste, central e leste. A porção oeste é de clima Úmido Seco, com maior média anual de chuvas de 1387,7 mm, em 2009, e a menor média de 328,5 mm, em 2010. A porção centro-leste é de clima Sub-úmido e, na porção central da bacia, a média pluviométrica está entre 1.000 e 1.200 milímetros anuais, com concentração das chuvas durante o período de 3 meses. Na porção leste, a média pluviométrica foi maior que 1.200 milímetros anuais, alcançando aproximadamente 1.750 milímetros na foz da bacia. A maior média pluviométrica foi de 2.221,5 mm, no ano de 2004, e a menor de 753 mm, no ano de 2016. O número de dias com chuva na bacia foi de 81 dias, havendo uma tendência de aumento das chuvas entre janeiro e março.

A BHRD se apresenta como uma área com vulnerabilidade natural de grau médio, prevalecendo um equilíbrio entre os processos de morfogênese e pedogênese. A vulnerabilidade ambiental apresenta-se acima da média, prevalecendo o processo de morfogênese.

O mapeamento da vulnerabilidade natural mostrou que há uma diminuição da estabilidade natural/ambiental no sentido oeste-leste. A média da vulnerabilidade na porção oeste foi de 2,2 (Medianamente Estável/Vulnerável); na porção central, a média foi de 2,4 (Moderadamente Vulnerável); na porção leste, a média foi de 2,6 (Moderadamente Vulnerável - último nível).

Na porção leste da bacia, onde se localiza as principais concentrações populacionais e os sistemas naturais mais frágeis, as vulnerabilidades natural e ambiental se mostraram preocupantes, pois alcançaram os maiores valores do grau de vulnerabilidade, com uma média de 2,7 para a classificação da vulnerabilidade natural e 2,8 para a vulnerabilidade ambiental.

O uso das metodologias para análise da vulnerabilidade natural e ambiental, baseados em Crepani et al. (2001), Grigio (2003) e Oliveira (2011), mostraram resultados satisfatórios e passíveis de comparação.

Com base nos resultados alcançados, é possível afirmar que a identificação das classes de vulnerabilidade natural e ambiental apresentada neste estudo abaliza critérios que sustentam o planejamento do uso e ocupação do solo, principalmente para as áreas que apresentaram vulnerabilidade alta, como as áreas urbanas dos municípios de Natal, Extremoz, São Gonçalo do Amarante e Ceará-Mirim, as nascentes dos rios Guajirú, do Mudo e Doce, os distritos, povoados e assentamentos rurais.

Sugere-se que, para essas áreas, se estabeleçam critérios que limitem o uso e ocupação, tendo como suporte as legislações ambientais em vigor, com o objetivo principal de conservar e restaurar os sistemas naturais ali existentes.

Com base na legislação ambiental vigente, pode-se propor proteção para os remanescentes de vegetação nativa existentes nas porções leste, centro-norte e oeste da bacia.

Ponderando a importância da bacia para Região Metropolitana de Natal, principalmente para Zona Norte da cidade de Natal, considera-se primordial a promoção de estudos, em escalas de detalhe, com o objetivo de aprofundar as discussões sobre o ordenamento territorial, que promova o planejamento regional, a partir de planos diretores municipais e comitês de bacias, em torno da sustentabilidade ambiental dessa região, que atenda as necessidades do homem no meio e à preservação dos recursos naturais.

Finalmente, espera-se que este estudo sirva como instrumento inicial norteador de políticas públicas e de gestão de bacias hidrográficas, bem como contribua para o desenvolvimento local, seja ele econômico, social, associado a um uso sustentável do meio.

## **REFERÊNCIAS DA PARTE INTRODUTÓRIA**

ALVES SOBRINHO, T.; OLIVEIRA, P.T.S.; RODRIGUES, D.B.B.; AYRES, F.M. Delimitação automática de bacias hidrográficas utilizando dados SRTM. Jaboticabal - SP. **Engenharia Agrícola**, v.30, n.1, p.46-57, jan-fev, 2010.

AZEVEDO, P. G. Identificação e análise da degradação ambiental no Rio Doce/RN. 58<sup>a</sup> Reunião Anual da SBPC - Florianópolis, SC. **Anais...**, Jul. 2006.

BARBOSA, J. **Análise da genotoxicidade das águas da Lagoa de Extremoz - RN**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Centro de Biociências. Programa de Pós-graduação em Genética e Biologia Molecular. Natal, RN, 2008.

BARBOSA, J. et al. Genotoxicity assessment in aquatic environment impacted by the presence of heavy metals. In: **Ecotoxicology and Environmental Safety**. n.73, p. 320–325, 2010.

- BELTRAME, A. V. **Diagnóstico do meio físico de bacias hidrográficas: modelo e aplicação.** Florianópolis: Ed. Da UFSC, 1994.
- BERTALANFFY, L. V. (1968). **Teoria Geral dos Sistemas: fundamentos, desenvolvimento e aplicações.** Tradução de Francisco M. Guimarães. 6.ed. Petrópolis: Vozes, 2012.
- BEZERRA, J.P.P. **Planejamento ambiental da bacia hidrográfica do Ribeirão Santo Antônio – Mirante do Paranapanema (SP).** Dissertação (Mestrado) Universidade Estadual Paulista – UNESP, Programa de Pós-graduação em Geografia, 2011.
- BOTELHO, R.G.M. Planejamento ambiental em microbacia hidrográfica. In: Guerra, A.J.T. et al. **Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações.** Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999.
- BRAGA, R.A.P. As nascentes como fonte de abastecimento de populações rurais difusas. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.4, n.5, 2011, p.974-985.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. PROBIO – **Projeto de Conservação e Utilização Sustentável da Diversidade Biológica Brasileira:** Sub-projeto: levantamento da cobertura vegetal e do uso do solo do bioma Caatinga. Disponível em: [http://mapas.mma.gov.br/geodados/brasil/vegetacao/vegetacao2002/caatinga/documentos/relatorio\\_final.pdf](http://mapas.mma.gov.br/geodados/brasil/vegetacao/vegetacao2002/caatinga/documentos/relatorio_final.pdf). Acesso em: 10 jan.2017.
- BROWNER, C.M. **Watershed approach framework.** Washington: U.S. Environmental Protection Agency, 1996.
- BRUBACHER, J. P.; OLIVEIRA, G.G.; GUASSELLI, L.A.; LUERCE, T.D. Avaliação de bases SRTM para extração de variáveis morfométricas e de drenagem. **Geociências.** (São Paulo), São Paulo, v. 31, n. 3, 2012.
- BUCKMAN, H.O.; BRADY, N.C. **Natureza e propriedade dos solos.** Rio de Janeiro: Freitas Bastos, 1976.
- CASTRO, V. L.L. **Águas subterrâneas no curso inferior da bacia do rio Doce/RN: subsídios para o gerenciamento integrado.** Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo. Instituto de Geociências. São Paulo, 2000.
- CESTARO, L.A. et al. **Proposta de um sistema de unidades geoambientais para o Rio Grande do Norte.** Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), Fundação de Apoio a Pesquisa do Rio Grande do Norte (FAPERN), IDEMA – Instituto de Defesa do Meio Ambiente – IDEMA – RN, 2007.
- CHRISTOFOLETTI, A. **Análise de sistemas em Geografia.** São Paulo: Editora Hucitec, 1979, 144p.
- COLDITZ, R. R., SALDAÑA, G. L., MAEDA, P., ESPINOZA, J. A., TOVAR, C. M., HERNÁNDEZ, A. V., BENÍTEZ, C. Z., LÓPEZ, I. C., RESSL, R. Generation and analysis of the 2005 land cover map for Mexico using. **Remote Sensing of Environment**, v. 123, p. 541-552, 2012.
- CONRAD, O., BECHTEL, B., BOCK, M., DIETRICH, H., FISCHER, E., GERLITZ, L., WEHBERG, J., WICHMANN, V., and BÖHNER, J.: System for Automated Geoscientific Analyses (SAGA) v. 2.1.4, **Geoscientific. Model Development.**v.8, pp. 1991-2007, 2015.

COSTA, F.R.; SOUZA, R.F.; SILVA, S.M.P.; COSTA JUNIOR, M.F. Caracterização pluviométrica da bacia hidrográfica do rio Doce – RN. VIII Workshop de mudanças climáticas e recursos hídricos do estado de Pernambuco e V Workshop Internacional sobre mudanças climáticas e biodiversidade. **Anais...**, Recife – PE, 2017.

CPRM. Serviço Geológico do Brasil. **Geologia e recursos minerais do Estado do Rio Grande do Norte** - Escala 1:500.000. Recife, CPRM - Serviço Geológico do Brasil, 2007.

CREPANI, E.; MEDEIROS, J. S. de; HERNANDEZ, P.; FLORENZANO, T.G.; DUARTE, V.; BARBOSA, C. C. F. **Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento Aplicados ao Zoneamento Ecológico-Econômico e ao Ordenamento territorial**. São José dos Campos: SAE/INPE. (INPE-8454-RPQ/722), 2001.

CREPANI, E.; MEDEIROS, J. S.; PALMEIRA, A. F. **Intensidade pluviométrica**: uma maneira de tratar dados pluviométricos para análise da vulnerabilidade de paisagens à perda de solo. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2004. (INPE-11237-RPQ/760). Disponível em:  
<[http://www.dsr.inpe.br/dsr/simeao/Publicacoes/Intensidade\\_Pluiom%20trica.pdf](http://www.dsr.inpe.br/dsr/simeao/Publicacoes/Intensidade_Pluiom%20trica.pdf)>. Acesso em: 18 maio 2017.

CUNHA, E.M.S. **Evolução atual do litoral de Natal – RN (Brasil) e suas aplicações a gestão integrada**. Tese (Doutorado). Programa de Doctorado de Ciencias del Mar. Departament d'Ecologia e Departament d'Estratigrafia i Paleontologia. Universitat de Barcelona. Barcelona, 2004.

CUNHA, S.B.; GUERRA, A. J. T. Degradação Ambiental. In: Guerra, A. J. T. e Cunha, S. B. da. **Geomorfologia e Meio ambiente** (orgs.). 4ª ed. Rio de Janeiro, 2003. p. 337-380.

DE NARDIN, D.; ROBAINA, L.E.S. Zoneamento geoambiental no oeste do Rio Grande do Sul: um estudo em bacias hidrográficas em processo de arenização. **Sociedade e Natureza**, n.22, v.3, p.487-502, 2010.

DANTAS M.E.; ARMESTO R.C.G.; SILVA C.R.; SHINZATO E. Geodiversidade e análise da paisagem: uma abordagem teórico-metodológica. **Terræ Didática**, 11(1):0413. <http://www.ige.unicamp.br/terraedidatica/>. Acesso em jun. 2015.

DANTAS, M. E.; FERREIRA, R. V. Relevô. In: PFALTZGRAFF, P. A. S.; TORRES, F. S. M. (Org.). **Geodiversidade do estado do Rio Grande do Norte**. Recife: CPRM, 2010.

DAVIS JR., C. A., FONSECA, F. T. **Introdução aos Sistemas de Informações Geográficas**. [s.n]: Belo Horizonte, 2003.

DI FRANCO, L.; CUELLO, A. Y; SERAFINI, M. C. Parametrización de lacuenca hidrográfica del río Luján, Argentina, basada en Geomática. XV Simposio SELPER Internacional. **Anais...** Cayena, Guyana Francesa, 2012.

EEA - European Environment Agency. **Sustainable use and management of natural resources**. European Environment Agency. Copenhagen, 2005. Disponível em: [http://www.eea.europa.eu/publications/eea\\_report\\_2005\\_9](http://www.eea.europa.eu/publications/eea_report_2005_9). Acesso em: out. de 2013.

FALCK, A.S.; MAGGIONI, V.; TOMASELLA, J.; VILA, D.A.; DINIZ, F.L.R. Propagation of satellite precipitation uncertainties through a distributed hydrologic model: a case study in the Tocantins-Araguaia basin in Brazil. **Journal of Hydrology**. n.527, pp.943-957, 2015.

FARIA, B.G. **Alteração da qualidade do solo em zona ripária sob diferentes usos: potencial de poluição para um manancial tropical.** Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Centro de Biociências. Departamento de Oceanografia e Limnologia. Programa de Pós-graduação em Ecologia, Natal, RN, 2013.

FAUSTINO, A.B.; RAMOS, F.F.; SILVA, S.M.P. Dinâmica temporal do uso e cobertura do solo na Bacia Hidrográfica do Rio Doce (RN) com base em sensoriamento remoto e SIG: uma contribuição aos estudos ambientais. **Sociedade e Território**, v.26, n.2, p.18 – 30, jul./dez. 2014.

FELIPE, J.L.A.; CARVALHO, E.A.; ROCHA, A.P.B. **Atlas Rio Grande do Norte: espaço geo-histórico e cultural.** João Pessoa: Editora Grafset, 2006.

FELIPPE, M.F.; MAGALHÃES JR., A.P. Conflitos conceituais sobre nascentes de cursos d'água e propostas de especialistas. **Geografias**, v.9, n.1, p.70-81, 2013.

FERREIRA, A.B.; ALCOFORADO, M.J.; VIEIRA, MORA, C. JANSEN, J. Metodologias de análise e de classificação das paisagens: o exemplo do projeto Estrela. **Revista Finisterra**, v. 36, n.72, 2001, p.157-178.

FREITAS, E.P.; KLOSS, D.; SILVA, I.R. Delimitação de bacia hidrográfica no ambiente google Earth. Botucatu - SP. **Irriga**, Edição especial, p.97-104, 2012.

FURNANS, J., OLIVERA, F., and MAIDMENT, D. **Area-to-area navigation and the Pfafstetter system.** MSE Thesis, Department of Civil Engineering, The University of Texas at Austin, 2001.

GERSTENECKER, C.; LÄUFER, G.L.; STEINECK, D.; TIEDE, C.; WROBEL, B. Validation of digital elevation models around Merapi Volcano, Java, Indonesia. **Natural Hazards and Earth System Sciences**, Perugia, v.5, n.6, p.863-876, 2005.

GOMES, W.K.A.M.; SOUZA, R.F.; MEDEIROS, G.F.; CRISPIM, M.C. Resposta ecotoxicológica e parâmetros físicos e químicos em rio de área costeira do nordeste brasileiro. **Revista Gaia Scientia**, v.10, n.4, p.195 – 208, 2016.

GONDOLO, G. C.F. **Desafios de um sistema complexo à gestão ambiental: Bacia do Guarimiranga, Região Metropolitana de São Paulo - SP: Annablume/FAPESP, 2000.**

GONDOLO, G.C.F. **Desafios de um sistema complexo à gestão ambiental: Bacia do Guarapiranga, Região Metropolitana de São Paulo.** São Paulo: Ed. Annablume/Fapesp, 1999, p.164.

GOPINATH, G.; SWETHA, T.V.; ASHITHA, M.K. Automated extraction of watershed boundary and drainage network from SRTM and comparison with Survey of India toposheet. **Arabian Journal of Geosciences**, n.7, v.7, p.2625-2632, jul.2014.

GRISI, B. M. **Glossário de ecologia e ciências ambientais.** 2ª Ed. João Pessoa: Ed. Universitária - UFPB, 2000.

GUERRA, A.J.T. E CUNHA, S.B. **Geomorfologia e meio ambiente (Orgs.).** 4ª ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2003.

HOLLANDA, M. P.; CAMPANHARO, W. A.; CECÍLIO, R. A. Manejo de bacias hidrográficas e a gestão sustentável dos recursos naturais. In: MARTINS, L.D.; HANNAS, T.R.; VENTURA, R.C.M.O.; ALVIM-HANNAS, A.K.; MENDONÇA, J.A.; FÚCIO, L.H.;

LONGO, L.B.F.; LAMAS, L.P.A.; SILVA, L.B.; FURTADO, L.B.; COSTA, M.O.; SILVA, R.C.S. (Org.). **Atualidades em desenvolvimento sustentável**. Manhuaçu: FACIG, 2012, v. 1, p. 57-66.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual técnico da vegetação brasileira**. Rio de Janeiro: IBGE, 2012.

IDEMA. Instituto de Desenvolvimento Sustentável e Meio Ambiente. Banco de Dados Geográficos. **Geomorfologia - RN**, Escala: 1:100.000, 2005. CDR0M.

IGARN - INSTITUTO DE GESTÃO DAS ÁGUAS DO RIO GRANDE DO NORTE. **Programa Água Azul**: bacia do rio Doce, 2009. Disponível em:

<http://adcon.rn.gov.br/ACERVO/IGARN/doc/DOC00000000028897.PDF>. Acesso em: mar.2016.

JACOMINE, P, K, T. A nova classificação brasileira de solos. Universidade Federal Rural de Pernambuco. **Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agrônômica**, Recife, vol. 5 e 6, p. 161-179, 2008-2009.

JERÔNIMO, C.E.M.; SOUZA, F.R.S. Determinação do índice de qualidade da água da lagoa de Extremoz - RN: série temporal e correlação a índices pluviométricos. In: **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental** - UFSM, Santa Maria - RS, n.10, p.2219-2232, jan - abr, 2013.

LEAL, A. C. Meio ambiente e urbanização na Microbacia do Areia Branca/Campinas/São Paulo. 1995. Dissertação Mestrado em Geociências) – Universidade Estadual Paulista, Rio Claro

LEAL, A.C. Contribuição aos estudos de planejamento ambiental aplicado em bacias hidrográficas urbanizadas. **Faz Ciência**, Francisco Beltrão – PR, v.2, n.1, p.52-73, 1998.

\_\_\_\_\_ Planejamento ambiental de bacias hidrográficas como instrumento para o gerenciamento de recursos hídricos. **Entre-Lugar**, Dourados, MS, ano 3, n.6, p 65-84, 2º semestre de 2012.

LI, A.; WANG, A.; LIANG, S.; ZHOU, W. Eco-environmental vulnerability evaluation in mountainous region using remote sensing and GIS – a case study in the upper reaches of Minjiang River, China. **Ecological Modeling**, v. 192, p. 175–187, 2006

LIMA, R.N.S. Google Earth aplicado a pesquisa e ensino da Geomorfologia. **Revista de Ensino de Geografia**. Uberlândia – MG, v.3, n.5, p.17-30, 2012.

MANTELLI, L. R.; BARBOSA, J. M.; BITENCOURT, M. D. Assessing ecological risk through automated drainage extraction and watershed delineation. **Ecological Informatics**, 2011, Vol.6(5), pp.325-331.

MEDEIROS, M.D.; PEREIRA, V.H.C.; ALMEIDA, L.Q. Áreas de vulnerabilidade ambiental na zona oeste de Natal/RN/Brasil. **Revista Geonorte**, v.1, n.4, p.474-486, 2012.

MELO, J.G. et al. Potencialidade e qualidade das águas do Aquífero Barreiras na região da Lagoa de Extremoz, RN. In: **Revista de Geologia**, vol.22, n.2, p. 137-149, Fortaleza - CE, 2009.

MENDONÇA, F. Diagnóstico e análise de microbacia hidrográfica: proposição metodológica na perspectiva do zoneamento, planejamento e gestão ambiental. IN: **RA'EGA: o espaço geográfico em análise**. Curitiba - PR: Ed. da UFPR, v.3, n.3, 1999, p.67-89.

MOURA, W. K. A. **Horticultura no baixo Rio Doce, Zona Norte de Natal/RN: avaliação da qualidade da água por meio de ensaios ecotoxicológicos**. Dissertação (Mestrado) PRODEMA/UFRN. Natal, RN, 2010.

NASCIMENTO, F. R. **O fenômeno da desertificação**. Goiânia - GO: Editora UFG, 2013.

OLIVEIRA, A.; FERREIRA, E. **Caracterização de sub-bacias hidrográficas**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2001.

OLIVEIRA, F.F.G. **Aplicação das técnicas de geoprocessamento na análise dos impactos ambientais e na determinação da vulnerabilidade ambiental no litoral sul do Rio Grande do Norte**. Tese (Doutorado) – Universidade Estadual Paulista – UNESP – Rio Claro/SP, Programa de Pós-graduação em Geociências e Meio Ambiente, 2011.

OLIVEIRA, P.C. A. **Cenários ambientais e diagnose da Bacia Hidrográfica do Córrego Guaribas, Uberlândia - MG**. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Uberlândia, Programa de Pós-Graduação em Geografia, 2009.

OMS. Organização Mundial da Saúde. Health in sustainable development planning: the role of indicators. Yasmin von Schirnding. Geneva. 2002.

PÉRIGORD, M. **Le paysage en France**. Coll. Que sais-je, PUF, 1996.

PFAFSTETTER, O. **Classificação de bacias hidrográficas: metodologia de codificação**. Rio de Janeiro, RJ: Departamento Nacional de Obras de Saneamento (DNOS), 1989. 19 p. Trabalho não publicado.

PIRES, J. S. R.; SANTOS, J. E.; DEL PRETTE, M. E. A utilização do conceito de bacia hidrográfica para a conservação dos recursos naturais. In: **Conceitos de Bacias Hidrográficas: teorias e aplicações**. Ilhéus: Editus, 2005.

PIRES, J.S.R.; SANTOS, J.E. Bacias Hidrográficas - Integração entre meio ambiente e desenvolvimento. **Ciência Hoje**, Rio de Janeiro, v. 19, n. 110, p. 40- 45, 1995.

POPPER, Karl S. **A lógica da pesquisa científica**. 2. ed. São Paulo: Cultrix, 1975.

PORTO, M. F. A.; PORTO R. L. L. Gestão de bacias hidrográficas. **Estudos Avançados**, São Paulo, v.22, n.63, 2008.

PREFEITURA MUNICIPAL DE NATAL – PMN. Secretaria Municipal de Obras Públicas e Infra-Estrutura – SEMOPI. Plano Diretor de Drenagem e Manejo de Águas Pluviais – Natal/RN. **Item 2.6 – Estudos ambientais com definição de parâmetros e relatórios**. Disponível em: [http://www.lrengenhariaeconsultoria.com.br/planodiretor/02-Diagnostico/2.6.%20Estudos%20Ambientais/Relat%C3%B3rio%20consolidado\\_Estudos%20Ambientais2.pdf](http://www.lrengenhariaeconsultoria.com.br/planodiretor/02-Diagnostico/2.6.%20Estudos%20Ambientais/Relat%C3%B3rio%20consolidado_Estudos%20Ambientais2.pdf). Acesso em: 18 dez. 2017.

QGIS Development Team, 2015. **QGIS Geographic Information System: Open Source Geospatial Foundation Project**. Disponível em: <http://qgis.osgeo.org>. Acesso em: 10 dez. 2015.

- RASMUSSEN, E. M., CARPENTER, T. H. The Relationship Between Eastern Equatorial Pacific Sea Surface Temperatures and Rainfall over India and Sri Lanka. **Mon. Wea. Rev.**, v.111, 1983, p517–528.
- RIBEIRO, F.L. CAMPOS, S. Vulnerabilidade à erosão do solo da Região do Alto Rio Pardo, Pardinho, SP. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.11, n.6, p.628-636, 2007.
- RODRIGUES, C. (2001) A teoria geossistêmica e sua contribuição aos estudos geográficos e ambientais. **Revista do Departamento de Geografia**, n.14, p. 69-77.
- RODRIGUEZ, J.M.M, SILVA, E.V da, CAVALCANTI, A.P.B. **Geocologia das Paisagens: uma visão geossistêmica da análise ambiental**. Fortaleza: Editora UFC, 2004.
- RODRIGUEZ, J.M.M, SILVA, E.V. **Planejamento e gestão ambiental: subsídios da geocologia das paisagens e da teoria geossistêmica**. Fortaleza: Edições UFC, 2013.
- ROSIM, S.; MONTEIRO, A.M.V; RENNÓ, C.D.; SOUZA, R.C.M.de; SOARES, J.V. TERRAHIDRO - Uma plataforma computacional para o desenvolvimento de aplicativos para a análise integrada de recursos hídricos. **Anais XI SBSR...** Belo Horizonte, Brasil, 05 - 10 abril 2003, INPE, p. 2589 - 2596.
- ROSS, J. L. S. **Ecogeografia do Brasil: subsídios para planejamento ambiental**. São Paulo: Oficina de Textos, 2006.
- ROSS, J. L.S.; PRETTE, M.E.D. Recursos hídricos e bacias hidrográficas: âncoras do planejamento e gestão ambiental. **Revista do Departamento de Geografia da FFLCH - USP**. n.12, p.89-121, 1998.
- SALES, V.C. Geografia, sistemas e análise ambiental: abordagem crítica. **GEOUSP - Espaço e Tempo**, São Paulo, Nº 16, pp. 125 - 141, 2004.
- SALGUEIRO, T.B. Paisagem e geografia. In: **Revista Finisterra**. Ano 36, n.72, 2001, p.37-53.
- SANTOS, J. *Delimitação de bacias hidrográficas com TauDEM*, 2015. Disponível em: <http://www.processamentodigital.com.br/2015/04/10/qgis28-delimitacao-de-bacias-hidrograficas-com-taudem/>. Acesso em jul. 2015.
- SANTOS, L.B.L.; LINHARES, C.A. ArcGis, IDL-HAND e TERRAHIDRO: avaliando eficácia e eficiência na delimitação de bacias hidrográficas usando diferentes fontes de dados altimétricos. Congresso brasileiro sobre desastres naturais. **Anais...**, Rio Claro – SP, pp. 1-10, 2012.
- SANTOS, Milton. **Pensando o espaço do homem**. 4. ed. São Paulo: Hucitec, 1997.
- SANTOS, R. F. dos. **Planejamento Ambiental: teoria e prática**. São Paulo: Oficina de Textos, 2004.
- SILVA, A. M. **Princípios básicos de hidrologia**. Departamento de Engenharia. UFLA, Lavras-MG. 1995.
- SILVA, C.C.L.; FERREIRA, J.C.V.; BATISTA, FERNANDES, E. Unidades Naturais da bacia hidrográfica do Rio Doce – RN. XVII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada – I Congresso Nacional de Geografia Física. **Anais...**Campinas – SP, 2017.

SILVA, N.S.; RIBEIRO, C.A.A.S.; BARROSO, W.R.; RIBEIRO, P.E.A.; SOARES, V.P.; SILVA, E. Sistema de otto-codificação modificado para endereçamento de redes hidrográficas. **Revista Árvore**, Viçosa - MG, v.32, n.5, p.891-897, 2008.

SILVA, V.C.B.; MACHADO, P.S. SIG na análise ambiental: susceptibilidade erosiva da bacia hidrográfica do Córrego Mutuca, Nova Lima – Minas Gerais. **Revista de Geografia (UFPE)**, v.31, n.2, 2014.

SILVA, V.R. **Análise sócio-ambiental da bacia do rio Biguaçu – SC: subsídios ao planejamento e ordenamento territorial**. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo – USP – Programa de Pós-graduação em Geografia Física, 2007.

SOARES, R. C. **Diagnóstico e avaliação geoquímico-ambiental da zona de proteção ambiental 9 (ZPA-9), baixo curso do Rio Doce, Natal/RN**. Dissertação (Mestrado) Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Centro de Ciências Exatas e da Terra. Programa de Pesquisa e Pós-Graduação em Geociências. Natal, RN, 2006.

SOTCHAVA, V. B. **O estudo de geossistemas**. São Paulo: Instituto de Geografia USP. 51 p. (Métodos em Questão, 16), 1977.

SOUSA, A.R.; ALBUQUERQUE, S.F.; SILVA, A.B.; LOPES, G.M.B.L; NUNES FILHO, J. Caracterização e interpretação para uso agrícola de um planossolo háplico eutrófico sódico do agreste pernambucano. **Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agrônoma**. v.10, p. 271-279 2013.

SOUZA, G. T. et al. Água. Geopolítica Internacional e proposta para um estudo integrado de bacia hidrográfica. In: **Geografares - Revista do Departamento de Geografia da UFES**, n.3, Vitória - ES, 2002, p.69-77.

SOUZA, G.T.; BRICALLI, L.L.; MORETO, M.A.; LIMA, S.; CALENTE, S. Água: Geopolítica internacional e propostas para um estudo integrado de bacias hidrográficas. **Geografares**, Vitória – ES, n.3, pp. 69-77, 2002

STRAHLER, A. N. Hypsometric (area-altitude) – analysis of erosion al topography. **Geological Society of America Bulletin**, v.63, n.10, p.1117-1142, 1952.

SUDENE. **João Câmara**. 62 x 74 cm. Folha SB.25-V-C-IV. Escala 1:100.000. Rio de Janeiro: Cruzeiro do Sul S.A., 1983.

\_\_\_\_\_. **Natal**. 62 x 74 cm. Folha SB.25-V-C-V. Escala 1:100.000. Rio de Janeiro: Cruzeiro do Sul S.A., 1983.

TAGLIANI, C. R. A. Técnica para avaliação da vulnerabilidade ambiental de ambientes costeiros utilizando um sistema geográfico de informação. In: Seminário Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 11. Belo Horizonte. **Anais...** São José dos Campos: INPE. p. 1657-1664, 2003.

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

TROPMAIR, H. **Biogeografia e meio ambiente**. Rio Claro - SP: Divisa, 2006.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 2.ed. Porto Alegre: ABRH/Editora da UFRGS, 1997. (Col. ABRH de Recursos Hídricos, v.4).

- VALE, C.C. Teoria geral do sistema: histórico e correlações com a geografia e com o estudo da paisagem. **Revista entre-lugar**. Dourados, MS, ano 3, n.6, jul-dez, 2012, p.85-108.
- VALERIANO, M. M. Modelo digital de variáveis morfométricas com dados SRTM para o território nacional: o projeto TOPODATA. In: XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2005, Goiânia, GO. **Anais...**, 2005. p. 1-8.
- VERDIN, K. L. **A System for Topologically Coding Global Drainage Basins and Stream Networks**. 1997 Esri International GIS User Conference Proceedings. Disponível em: <http://proceedings.Esri.com/library/userconf/proc97/proc97/to350/pap311/p311.htm>. Acesso em: jan, 2015.
- VERDIN, K.L. and J.P. VERDIN. A topological system for delineation and codification of the Earth's river basins. **Journal of Hydrology**, vol. 218, n. 1-2, p. 1-12, 1999.
- VILLA, F.; McLEOD, H. Environmental vulnerability indicators for environmental planning and decision-making: guidelines and applications. **Environmental management**, v. 29, n. 3, p. 335-348, 2002.
- VINHAS, L.; FERREIRA, K. R. Descrição da TerraLib. In: Casanova, M. A. et al. **Bancos de dados geográficos**. Curitiba: MundoGeo, 2005.
- WANG, L.; LIU, H. An efficient method for identifying and filling surface depressions in digital elevation models for hydrologic analysis and modelling. **International Journal of Geographical Information Science**, Vol. 20, No. 2: 193-213, 2006.
- XANG, X. Integrating water-quality management and land-use planning in a watershed context. **Journal of Environmental Management**. v.61, p.25 – 36, 2001.
- YOUNG, M.D. (Michael Dennis). **Sustainable Investment and Resource Use: Equity, Environmental Integrity and Economic Efficiency** (Man and the Biosphere Series, Volume 9). Paris: UNESCO, Pearl River, NY (Formerly: Park Ridge, NJ): Parthenon Publishing Group, 1992. 176 pp.

## ANEXO 1 – Normas para publicação – Artigos científicos

### Capítulo 1 - REVISTA SOCIEDADE E NATUREZA – ISSN: 1982-4513

#### Diretrizes para Autores

Normas para apresentação dos originais

- Serão aceitos para publicação na Revista Sociedade & Natureza artigos inéditos sobre tema próprio à Ciência Geográfica ou resultado de pesquisa de natureza empírica, experimental ou conceitual, resultantes de pesquisas de mestrado, de doutorado ou de densidade similar (com no mínimo 10 e no máximo 15 páginas).
- A revista julgará a pertinência da publicação de artigos oriundos de áreas afins (que necessariamente incluam abordagem territorial/espacial). Textos não voltados ao foco do periódico serão excluídos da lista de avaliação.

- Resenhas de livros e mídias poderão ser encaminhadas (com 3 a 5 páginas, discutindo obras de publicação recente) da área de Geografia ou ciências afins, com apenas um autor (os autores deverão ser vinculados a programas de pós-graduação ou ter titulação mínima de mestre).
- Serão aceitas submissões nos seguintes idiomas: português, espanhol, inglês e francês. O artigo deve ser apresentado apenas no idioma original do(s) autor(es).
- Os artigos deverão ser editados em MS Office 2007 (Word) ou versões posteriores, em espaço simples, fonte Times New Roman, tamanho 12, sem divisão em colunas (com tamanho máximo de 12MB, já incluídas as figuras, com a resolução exigida - 600 dpi).
- A configuração da página deve ser A4 com margens de 2,5 cm (superior, inferior, direita e esquerda). O texto não deve conter notas de rodapé, notas finais ou cabeçalho. Em hipótese alguma o(s) autor(es) devem ser identificados (seja no início do texto, ao longo do mesmo ou na organização de Figuras ou Tabelas).
- Todos os autores devem ser informados, separadamente, no formulário eletrônico de submissão (bem como sua área de formação, titulação e instituição de atuação profissional). A ausência de tais informações implicará na exclusão direta da submissão.
- O título do trabalho (na língua original do texto e também em inglês) deve aparecer centralizado com fonte Times New Roman, tamanho 14 e em negrito. Textos em inglês devem ser acompanhados de versão do título e resumo em outra língua (preferencialmente português), com fonte Times New Roman, tamanho 12 e em negrito.
- Após o título (em duas línguas) deve ser apresentado resumo seguido de abstract (para textos em português), ou então resumé e abstract (para textos em francês), ou resumen e abstract (para textos em espanhol), com um máximo de 15 linhas (250 palavras), incluindo um mínimo de três e máximo de cinco palavras-chave descritoras do conteúdo do trabalho apresentadas na língua original e em outro idioma. Não usar tradutor automático para os resumos. Recomenda-se passar por revisão de profissional especializado.
- O artigo poderá ser dividido em itens (não numerados e em letras maiúsculas) e subitens (não numerados e em itálico).
- Tabelas e Figuras (fotos, mapas, ilustrações) devem ser referidas no texto (ex: Tabela 01 / Figura 01) e numeradas de acordo com a seqüência. As tabelas/figuras devem conter título, digitado no texto, na parte superior. As figuras podem conter legenda na parte inferior.
- Figuras e tabelas não podem exceder o tamanho de uma página e não devem exceder as margens das páginas (e também não serão publicadas com orientação vertical). Figuras e Tabelas deverão conter título, que deve ser digitado no corpo do texto (e não repetidos no interior das mesmas). Em todos os casos, deve haver indicação (digitada, no corpo do texto e logo após a Figura/Tabela) de: fonte (ex: Fonte: IBGE, 2000.), organização (ex: Org. do Autor.) ou adaptação (ex: Adaptado de Silva, 2000.).
- As ilustrações (gráficos, mapas e fotos) serão denominadas, em todos os casos, como “Figuras” e deverão ser enviadas em formato JPG, anexadas separadamente no momento da submissão (utilizar ferramenta “Anexar Documento Suplementar” disponível no sistema eletrônico de submissão), com resolução mínima de 600 dpi. As mesmas também devem ser inseridas no corpo do artigo, imediatamente após sua indicação no texto. As Figuras serão publicadas apenas em preto e branco, na versão impressa do periódico.
- Recomendamos aos autores o emprego apenas de figuras necessárias e essenciais à compreensão do conteúdo do texto. Situações de excesso de figuras, má qualidade da informação gráfica e não observação da resolução mínima (600 dpi) implicarão na recusa do texto.

- As referências deverão ser organizadas de acordo com a NBR-6023 da ABNT (agosto de 2002). Usar itálico ao invés de negrito.
- As citações diretas e indiretas deverão ser organizadas de acordo com a NBR-10520 da ABNT (agosto de 2002).

## **Capítulo 2 - Boletim Paranaense de Geociências. ISSN: 0067-964X**

### **Diretrizes para Autores**

#### **AUTOR (ES)**

O(s) nome(es) do(s) autor(es), a instituição a que pertencem, endereço e e-mail **não devem** ser incluídos no texto, apenas no item “Passo 2 Metadados”.

#### **ARQUIVOS**

Texto e ilustrações devem ser enviados em **arquivos separados**. O texto deve ser inserido no item “Passo 3 transferência” e as ilustrações no item “Passo 4 documentos suplementares”.

#### **FORMATAÇÃO**

As contribuições poderão ser redigidas em português, inglês ou espanhol. A organização do manuscrito deverá ter a seguinte forma: Título (incluindo título em inglês), Resumo no idioma do texto, Abstract, Texto, Agradecimentos (opcional) e Referências. O resumo e o abstract não poderão exceder 2.000 caracteres (incluindo espaços). As **palavras-chave** devem ser no mínimo três e no máximo cinco, no idioma do texto principal e em inglês (*key words*). As palavras-chave e *key words* devem estar separadas por ponto e vírgula.

O **texto**, em formato doc ou docx, deverá estar no tamanho A4, fonte Times News Roman 12, em uma única coluna alinhada à esquerda.

**Ilustrações (Figuras, fotos, gráficos e diagramas)** podem ser coloridas ou em tons de cinza e devem ter resolução mínima de 300 dpi. São aceitos os seguintes formatos: tif, eps, cdr, wma, wmf, dxf e jpg.

**Equações** devem ser escritas em linhas separadas, devendo ser numeradas sequencialmente e identificadas por número entre parênteses.

### **Citações**

As citações no corpo do texto deverão seguir o seguinte padrão: Suguio (1987), (Suguio 1987, Suguio & Martin 1978, Suguio et al. 1988), Suguio (1987,1992), Suguio (1992a,b,c). Citação a partir de uma outra fonte a qual não se teve acesso ao documento original (Hart 1904 apud Angulo 2007).

### **Referências**

As Referências Bibliográficas deverão estar em ordem alfabética pelo sobrenome do(s) autor(es):

#### **Livros:**

SUGUIO K. 1998. Dicionário de geologia sedimentar e áreas afins. Bertrand Brasil, Rio de Janeiro, 1222p.

#### **Capítulos de livros:**

PIRAZZOLI P.A. 1994. Tectonic shorelines. In: CARTER R.W.G., WOODROFFE C.D. (eds) Coastal Evolution: late Quaternary shorelines morphodynamics. Cambridge University press, Cambridge, 451-476p.

#### **Dissertações e teses:**

VEIGA F.A. 2006. Processos morfodinâmicos e sedimentológicos na plataforma continental rasa paranaense. Tese de Doutorado. Pós-Graduação em Geologia, Departamento de Geologia, Universidade Federal do Paraná, 122p.

#### **Artigos em periódicos:**

MARTIN L., SUGUIO K. 1975. The state of São Paulo coastal marine Quaternary geology – the ancient shorelines. Anais da Academia Brasileira de Ciências, 47:249-263.

#### **Artigos em periódicos on-line:**

KELLY R. 1996. Electronic publishing at APS: it not just online journalism. APS News Online, Los Angeles, American Physical Society. Disponível em: <http://www.aps.org/apsnews/1196/11965.html>. Acesso em 25 novembro 1998.

#### **Artigos aceitos para publicação:**

MAHIQUES M.M. 2007. The southeastern Brazilian inner-shelf evolution. Quaternary International, 67: no prelo.

#### **Fotografias aéreas:**

IGC - INSTITUTO GEOGRÁFICO E CARTOGRÁFICO 1986. (São Paulo). Projeto Lins Tupã. Foto aérea. Escala 1:25.000, São Paulo, Fx28, n. 15.

#### **Folhas e mapas impressos:**

INPE - INSTITUTO DE PESQUISAS ESPACIAIS 1987. São José dos Campos (SP): atualização do uso da terra. SF-23-Y-D-II-1 MI-2769/1. São José dos Campos, Mapa Topográfico, escala 1:100.000.

SILVA A.J. 1999. Mapa geológico da Bacia de Campos. Rio de Janeiro, Petrobrás, 1 mapa geológico, escala 1:50.000.

#### **Programas e conjuntos de softwares:**

MICROSOFT 1995. Project for Windows 95, version 4.1: project planning software. Redmond, Wa, Microsoft Corporation. Conjunto de programas 1 CD-ROM.

#### **Páginas e documentos consultados na internet:**

MOURA G.A.C. de M. 1996. Citação de referencias e documentos eletrônicos. Disponível em: <http://www.elogica.com.br/users/gmoura/refere.html>. Acessado em 9 outubro 1996.

INPE - INSTITUTO DE PESQUISAS ESPACIAIS 2000. El Ninho. Disponível em <http://www.inpe.dpi/elninho.html> . Acessado em 14 de junho de 2000.

### **Condições para submissão**

Como parte do processo de submissão, os autores são obrigados a verificar a conformidade da submissão em relação a todos os itens listados a seguir. As submissões que não estiverem de acordo com as normas serão devolvidas aos autores.

- A contribuição é original e inédita, e não está sendo avaliada para publicação por outra revista; caso contrário, justificar em "Comentários ao Editor".
- Os arquivos para submissão estão em formato Microsoft Word, OpenOffice ou RTF (desde que não ultrapasse os 10MB)
- O texto está em espaço simples; usa uma fonte de 12-pontos; emprega itálico ao invés de sublinhar (exceto em endereços URL); com figuras e tabelas inseridas no texto, e não em seu final.
- O texto segue os padrões de estilo e requisitos bibliográficos descritos em Diretrizes para Autores, na seção Sobre a Revista.

- A identificação de autoria deste trabalho foi removida do arquivo e da opção Propriedades no Word, garantindo desta forma o critério de sigilo da revista, caso submetido para avaliação por pares (ex.: artigos), conforme instruções disponíveis em Asegurando a Avaliação por Pares Cega.

### **Declaração de Direito Autoral**

Direitos Autorais para artigos publicados nesta revista são do autor, com direitos de primeira publicação para a revista. Em virtude de aparecerem nesta revista de acesso público, os artigos são de uso gratuito, com atribuições próprias, em aplicações educacionais e não-comerciais.

### **Política de Privacidade**

Os nomes e endereços de email neste site serão usados exclusivamente para os propósitos da revista, não estando disponíveis para outros fins.

## **Capítulo 3 - Caderno Prudentino de Geografia - ISSN: 2176-5774**

### **Diretrizes para Autores**

As contribuições devem ser submetidas ao Caderno Prudentino de Geografia exclusivamente por este site.

Os trabalhos recebidos serão submetidos à apreciação de avaliadores e membros do Conselho Editorial que decidirão sobre sua publicação.

Os trabalhos aceitos poderão ser publicados no número imediatamente seguinte do CPG ou em números posteriores, conforme decisão da Comissão de Publicação.

A AGB – Seção Local de Presidente Prudente, não se responsabiliza pelas opiniões emitidas nos trabalhos publicados, selecionando-os em função da qualidade, interesse do assunto e adequação à temática do CPG.

### **Formatação dos textos:**

Os textos devem ser apresentados com extensão entre 12 e 25 laudas, quando artigos, e até 10 páginas, quando notas e resenhas, incluindo tabelas, gráficos, figuras e referências bibliográficas. Devem ser digitados em Word, no formato DOC, em letra Arial, configurados para impressão em papel A4, com 3 cm de margens (superior, inferior, direita e esquerda) e páginas não numeradas.

O arquivo submetido não deverá apresentar identificação dos autores para permitir um processo de avaliação imparcial, sem que os nomes de autores e revisores sejam revelados.

Informações sobre o(s) autor(es), sua filiação institucional e/ou trajetória acadêmica, endereço eletrônico e endereço postal, entre outras, deverão ser inseridas no próprio sistema da revista.

Na primeira página do artigo deverá constar o título do trabalho, em português, seguido de sua tradução para o inglês e mais uma língua (espanhol ou francês). Na seqüência, deverá ser apresentado o resumo do trabalho, em um só parágrafo de 10 a 15 linhas com espaçamento simples e 3 a 5 palavras-chave, traduzidos, em seguida, para o inglês e mais uma língua escolhida anteriormente no título.

Os títulos deverão estar em negrito, em fonte de tamanho 13, centralizados na página, com espaçamento simples entre linhas. Os subtítulos deverão ser negritos, em tamanho 13, alinhados à esquerda. Títulos e subtítulos deverão apresentar apenas a primeira letra em maiúsculo, com exceção às referências a nomes próprios. Os subtítulos deverão ser separados do restante do texto por uma linha em branco acima e outra abaixo dos mesmos. Os resumos e palavras-chave deverão ter fonte de tamanho 10 e estarem justificados, com recuo esquerdo de 2 cm, apresentando espaçamento simples entre linhas. Os resumos deverão ser separados das palavras-chave por um espaçamento inferior de 6 pts, seguido por uma linha em branco.

O corpo do texto deverá ter fonte de tamanho 12, com espaçamento 1,5 entre linhas e recuo especial de 2 cm na primeira linha. As citações diretas com mais de três linhas deverão ter tamanho 10 e estarem justificadas, em espaçamento simples, com recuo esquerdo de 4 cm, separadas do restante do texto por uma linha em branco acima e abaixo das mesmas.

Notas de rodapé deverão ser evitadas ao máximo, porém, quando imprescindíveis, deverão possuir fonte de tamanho 9, estarem justificadas, com espaçamento simples entre linhas e inferior de 6 pts.

Passagens grifadas deverão ser evitadas, porém, quando extremamente importantes, ou indicarem palavras em língua estrangeira, deverão ser apresentadas em itálico.

Tabelas, gráficos e quadros devem ser elaborados em Excel, no formato XLS, e enviados separadamente, além de estarem inseridos no corpo do texto, centralizados na página, contendo dimensões máximas de 20 cm de altura por 13 cm de largura.

Figuras, fotos e mapas devem ser elaborados em formato JPEG ou TIFF (não comprimido), com resolução mínima de 300 dpi e dimensões máximas 20 cm de altura por 13 cm de

largura. Tais ilustrações deverão ser enviadas separadamente, além de serem inseridas no corpo do texto, de modo centralizado na página.

Os títulos das tabelas, gráficos, quadros, figuras, fotos e mapas deverão seguir as normas da ABNT.

Para indicação de fontes citadas no texto e nas ilustrações, deve-se adotar o sistema autor-data. Exemplos: Santos (1993); (SANTOS, 1993); Santos (1993, p. 23); (SANTOS, 1993, p. 23).

As referências bibliográficas devem ser completas e precisas, segundo a NBR 6023 da ABNT, alinhadas à esquerda, com espaçamento simples entre linhas e inferior de 12 pts.

Seguem alguns exemplos:

#### Livros

WACHOWICZ, Ruy Christovam. Obrageiros, mensus e colonos: história do Oeste Paranaense. Curitiba: Vicentina, 1982.

#### Capítulos de livros

SANTOS, Milton. A metrópole: modernização, involução e segmentação. In: VALLADARES, Licia; PETRECEILLE, Edmond (Coord.). Reestruturação urbana: tendências e desafios. São Paulo: Nobel, 1990. p. 183-191.

#### Artigos de periódicos

ABREU, Maurício de Almeida. O estudo geográfico da cidade no Brasil: evolução e avaliação – contribuição à história do pensamento geográfico brasileiro. Revista Brasileira de Geografia. Rio de Janeiro: IBGE, v. 56, n. 1, p. 21-122, jan./dez. 1994.

#### Trabalhos apresentados em eventos científicos

SOARES, Maria Therezinha de Segadas. Critérios para eliminação de áreas metropolitanas e a possibilidade de sua aplicação ao Brasil. In: Simpósio de Geografia Urbana, 1.: 1966, Buenos Aires. Anais... Rio de Janeiro: Instituto Pan-Americano de Geografia e História/Comissão de Geografia, 1968. p. 91-106.

#### Teses, dissertações e monografias

SOUZA, Edson Belo Clemente de. Estado: produção da região do Lago de Itaipu. 2002. Tese (Doutorado em Geografia) – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, campus de Presidente Prudente.

#### Textos da internet

USINA HIDRELÉTRICA ITAIPU BINACIONAL. [Site institucional]. Disponível em: Acesso em: 25 jul. 2009.

## Condições para submissão

Como parte do processo de submissão, os autores são obrigados a verificar a conformidade da submissão em relação a todos os itens listados a seguir. As submissões que não estiverem de acordo com as normas serão devolvidas aos autores.

1. A contribuição é original e inédita, e não está sendo avaliada para publicação por outra revista; caso contrário, deve-se justificar em "Comentários ao Editor".
2. Os arquivos para submissão estão em formato Microsoft Word, OpenOffice ou RTF (desde que não ultrapassem 2MB)
3. URLs para as referências foram informadas quando necessário.
4. O texto está em espaço simples; usa uma fonte de 12-pontos; emprega itálico em vez de sublinhado (exceto em endereços URL); as figuras e tabelas estão inseridas no texto, não no final do documento, como anexos.
5. O texto segue os padrões de estilo e requisitos bibliográficos descritos em [Diretrizes para Autores](#), na seção Sobre a Revista.
6. A identificação de autoria do trabalho foi removida do arquivo e da opção Propriedades no Word, garantindo desta forma o critério de sigilo da revista, caso submetido para avaliação por pares (ex.: artigos), conforme instruções disponíveis em [Assegurando a Avaliação Cega por Pares](#).

## Política de Privacidade

Os nomes e endereços informados nesta revista serão usados exclusivamente para os serviços prestados por esta publicação, não sendo disponibilizados para outras finalidades ou a terceiros.

**Capítulo 4 – Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía.  
ISSN: 0121-215X**

## Diretrizes para Autores

*Características formais dos artigos*

*Normas gerais para artigos*

De acordo com a tipologia de artigos regulamentada pelo Colciencias, os artigos de pesquisa científica, de reflexão ou de revisão que apareçam na revista devem contemplar uma organização básica, segundo for o caso:

Artigo de pesquisa: é um documento que apresenta, de maneira detalhada, resultados originais de projetos investigativos terminados. Geralmente, estão assim organizados: título, resumo, palavras-chave, introdução (na qual se menciona a finalidade do artigo), metodologia, resultados, conclusões e lista de referências.

Artigo de reflexão: é um documento que apresenta os resultados de uma pesquisa sobre um tema específico sob uma perspectiva analítica, interpretativa ou crítica do autor, que recorre às fontes originais para seu desenvolvimento. Geralmente, estão assim organizados: título, resumo, palavras-chave, introdução (na qual se indica a temática abordada), exposição da temática, perspectiva crítica do autor ante o tema, conclusões e lista de referências.

Artigo de revisão: é um documento resultante de uma pesquisa terminada, em que se analisam, sistematizam e integram resultados de pesquisas publicadas, ou não, sobre um campo ou tecnologia, com o objetivo de divulgar os avanços e as tendências do desenvolvimento. Sua organização é parecida à anterior tipologia, diferenciando-se dela por uma cuidadosa revisão bibliográfica do tema de, pelo menos, 50 referências.

### *Estrutura*

A página de apresentação do documento deve conter o nome do autor (conforme aparece em suas publicações acadêmicas), sua filiação institucional, tipo de artigo (de acordo com os tipos particulares indicados anteriormente), endereço postal e correio eletrônico institucional. Quando o artigo é resultado de alguma pesquisa ou projeto, deve-se especificar o nome e o número deste, assim como os dados da instituição que o financiou.

A extensão limite dos artigos recebidos é de 35 páginas ou 10 mil palavras, sem incluir a lista de referências. Qualquer tipo de texto proposto para publicação deve ser dirigido e enviado ao editor em arquivo digital (em formato padrão: .rtf, .doc, odf), em tamanho carta, com todas as margens de 2,54cm (uma polegada), texto com espaço duplo e letra Arial 12, junto com uma impressão física ou digital (PDF) do documento completo, que incorpore as figuras, quadros e/ou tabelas.

Para as resenhas, sua extensão limite é de seis páginas ou duas mil palavras, sem incluir a lista de referências, e deve cumprir com a estrutura de apresentação estabelecida para os artigos.

### *Resumo e dados de contato*

É muito importante que todos os artigos incluam título, resumo e cinco palavras-chave em espanhol, inglês e português. Para a seleção adequada de palavras-chave correspondentes com o artigo, os autores recomendam a utilização do sistema Thesaurus do UNESCO [\[1\]](#). O resumo deve ser um texto claro, completo e conciso, que abranja os objetivos, a metodologia e as principais contribuições do documento, sem referências bibliográficas nem notas de rodapé, e escrito, **no máximo, em 120 palavras**. Anexo a essa informação básica, solicita-se incluir os dados de contato do autor (telefone, endereço postal e eletrônico institucional); também, uma breve resenha do perfil acadêmico e sua formação.

### *Formato de figuras e tabelas*

As figuras (mapas, gráficos e fotografias) devem ser enviadas numa pasta separada em formato de JPG, TIFF ou GIF, com uma resolução mínima de 800 dpi (ou superior a esta resolução segundo o tamanho da figura). No caso dos mapas, é indispensável que estes sejam enviados em arquivos vetoriais independentes (formatos CDR-Corel Draw, DWG, DXF, SVG, Ai, EPS). Esses formatos permitem que os diferentes elementos que conformam a cartografia possam ser editados de acordo com a pauta editorial da revista.

As figuras elaboradas à mão devem ser desenhadas com tinta e em papel pergaminho. É fundamental que todas as figuras sejam **completamente legíveis** em seus diferentes componentes (inclusive a tipologia); por isso, ainda que o ideal seja que as figuras se ajustem em tamanho e em escala ao formato da revista (21,59 cm x 25 cm), dependendo do produto, poderão ser publicados mapas em formatos maiores para respeitar a relação de escala.

Supõe-se que as figuras e tabelas presentes em um texto sejam de autoria de quem escreve o documento. Nelas, deve-se anotar a origem dos dados a partir dos quais foi elaborada. A reprodução de figuras não originais, ou seja, retiradas de alguma fonte, está sujeita às condições que o detentor dos direitos autorais estabelecer, processo que está sob responsabilidade do autor do artigo. Para toda figura ou tabela reproduzida ou modificada, deve-se indicar com detalhe a fonte de onde foi retirada, imediatamente depois do título da figura. A revista recomenda não usar a autorreferência (por exemplo, elaborada pelo autor).

Como exemplos do anteriormente mencionado se

1. Para o caso de uma figura ou tabela elaborada pelo autor para o artigo:

Figura x. Refúgio interno na Colômbia 1990-2010.

Dados: Codhes 2005.

2. Para o caso de uma reprodução:

Figura x. A proposta de Centro Cívico de Le Corbusier para Bogotá, 1951.

Fonte: Le Corbusier 1951, p. 24 ou Modificado de: Le Corbusier 1951, p. 24.

3. Para fotografias convencionais:

Figura x. Áreas inundadas pela cheia do rio Bogotá.

Fotografia do autor, novembro 2011.

Figura x. Panorâmica do centro de Bogotá em 1960.

Fuente: Fotografia de Saúl Orduz, Fundo Saúl Orduz, Museu de Bogotá, Mdb 26983.jpg.

4. Para imagens de satélite:

Figura x. Piemonte amazônico colombiano.

Fonte: Landsat 7, composição RGB 321, dezembro 2009.

5. Para cartografia derivada da interpretação de fotografias aéreas:

Figura x. Piemonte amazônico colombiano.

Fotointerpretação, voo C-3345, N.º 5, janeiro 2008.

Todas as figuras devem ser mencionadas no corpo do texto, intituladas na parte inferior esquerda e numeradas consecutivamente. Também as tabelas devem ser citadas e numeradas, mas intituladas na parte superior central.

### ***Sistema de notas e referências bibliográficas***

*Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía* utiliza o sistema de notas e referências do [Manual de Estilo da Universidade de Chicago](#). Neste sistema, as referências são feitas no texto utilizando o sobrenome do autor e o ano de publicação entre parênteses. As notas de um autor no mesmo ano são ordenadas alfabeticamente, acrescenta do uma letra ao ano da publicação.

Quando a nota é textual, inclui-se o número da página.

Exemplos:

(Wong 1998)  
 (Castells 1996a; Castells 1996b)  
 (Wong 1998, 4)  
 Wong (1998, 4) argumenta que...

As notas de rodapé são utilizadas para esclarecimentos do conteúdo, mas não para referências bibliográficas.

Para colocar uma nota sobre um relatório ou um trabalho de uma instituição, usa-se o nome da entidade que produziu ou patrocinou o trabalho.

A lista de referências bibliográficas é elaborada em ordem alfabética (A-Z), segundo os exemplos abaixo:

• Livro:

Knox, Paul L. 2010. *Cities and Design*. New York, NY: Routledge.

• Capítulo em um livro:

Sánchez, Adolfo. 2002. “Importancia del sistema de ciudades de la región Centro de México”. En *Actualidad de la investigación regional en el México central*, eds. Javier Delgadillo Macías e Alfonso Iracheta, 93-108. México: Plaza y Valdéz.

• Artigo de revista:

Gunder, Michael. 2010. “Planning as the ideology of (neoliberal) space”. *Planning Theory* 9 (4): 298-314. DOI: 10.1177/1473095210368878.

• Dissertação/Tese:

Duque Franco, Isabel. 2008. “La renovación urbana en Bogotá, entre el modelo de planeamiento global y la dinámica local. Planeamiento urbano en Bogotá 1994-2007”. Tese de Doutorado em Geografia Humana, Universidade de Barcelona, Barcelona.

• Notas da internet:

Caribbean Tourism Organization. 2010. Latest Tourism Statistics. Onecaribbean 2008. <http://www.onecaribbean.org/statistics/tourismstats/> (consultado em dezembro dos 2010).

Recomenda-se que os autores utilizem um sistema de referências automático como Endnote ou Mendeley e remitam os respectivos arquivos da lista de referências com o artigo.

Para citar artigos publicados na revista utilize o título completo assim:

- Pulido, Nubis. 2014. "Bordes urbanos metropolitanos en Venezuela ante nuevas leyes y proyectos inmobiliarios". *Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía* 23 (1): 15-38.

Em caso de requerer o emprego do título abreviado siga o exemplo seguinte:

- Pulido, Nubis. 2014. "Bordes urbanos metropolitanos en Venezuela ante nuevas leyes y proyectos inmobiliarios". *Cuad. geogr. rev. colomb. geogr.* 23 (1): 15-38.

## Condições para submissão

Como parte do processo de submissão, os autores são obrigados a verificar a conformidade da submissão em relação a todos os itens listados a seguir. As submissões que não estiverem de acordo com as normas serão devolvidas aos autores.

1. La primera página del documento debe contener toda la información de contacto del autor(res), un breve perfil académico del autor(res), los datos de proyecto investigativo y/o financiación (si se aplica al caso de la investigación), y el tipo de artículo que es postulado (de acuerdo a la tipología manejada por la revista).
2. El artículo o manuscrito a enviar es  **inédito y original**, no se ha enviado, postulado previamente o de forma simultánea a otra revista (al respecto, puede proporcionarse una explicación en Comentarios al editor).
3. Los artículos deben incluir título, resumen y mínimo cinco palabras claves, todos en español, inglés y portugués. El resumen debe ser un texto claro, completo y conciso que abarque los objetivos, la metodología y los principales aportes del documento sin referencias bibliográficas ni notas de pie de página, **escrito en máximo 120 palabras**. Las palabras clave deberán estar en *itálica*.
4. El texto del artículo debe tener un interlineado doble; en tamaño carta con todas las márgenes de 2,54 cm. (una pulgada), con tipo de fuente Arial 12 puntos; se usa subrayado en las direcciones URL; todas las ilustraciones, figuras y tablas están dentro del texto en el sitio que les corresponde y no al final de todo el escrito. Todas las figuras (si se emplean en el documento) deben mencionarse en cuerpo del texto, titularse en la parte inferior izquierda y numerarse consecutivamente. Para el caso de las tablas deben ser citadas y numeradas, pero tituladas en la parte superior central.
5. El texto cumple con todos los requisitos bibliográficos y de estilo indicados en las Normas para autores, correspondientes al Manual de Estilo de Chicago.
6. Las figuras (mapas, gráficas y fotografías) se deben enviar en una carpeta aparte en formato de JPG, TIFF, GIF, XLSX, .Ai, PDF (vectorial) con una resolución mínima de 500 dpi (o superior a esta resolución de acuerdo al tamaño de la figura). En el caso de los mapas, es indispensable que estos sean enviados en archivos vectoriales independientes (formatos CDR-Corel Draw, DWG, DXF, SVG, Ai,EPS). Este tipo de formatos permiten que los diferentes elementos que conforman la cartografía puedan ser editados según la pauta editorial de la revista.
7. Si está enviando a una sección de la revista que se revisa por pares, tiene que asegurarse que las instrucciones en [Asegurando de una revisión a ciegas](#) han sido seguidas. Para ello se sugiere que los datos de contacto y demás información del autor (res) sea enviada en un archivo independiente al artículo.
8. El autor asume total responsabilidad por el contenido del artículo ante la Universidad Nacional de Colombia y ante terceros.
9. El autor acepta que la Universidad Nacional de Colombia puede convertir el documento a cualquier medio o formato para propósitos de preservación y divulgación digital.

10. En caso de que el artículo postulado sea aceptado para su publicación, el autor autoriza a la Universidad Nacional de Colombia para incluir los artículos en los índices, bases bibliográficas, repositorios y demás buscadores que estimen necesarios para promover su difusión.
11. El autor acepta las Consideraciones Éticas manejadas por la revista y que previamente han sido consultadas en la página web de la revista, apartado "[Consideraciones Éticas](#)".
12. El autor confirma que junto con los archivos correspondientes al artículo científico puesto a consideración, hace envío del formato "[Declaración de Originalidad y Aceptación de Consideraciones Éticas para la Postulación de Artículos](#)" carta con el que se da constancia de la postulación del documento. Dicho formato puede ser descargado en la página [web de la revista](#).
13. El autor hace junto con los archivos del documento a postular, el envío de la "Declaración de Originalidad y Consideraciones Éticas" que puede descargar [aquí](#).
14. Los archivos del artículo a enviar están en formato Microsoft Word y PDF.

## Declaração de Direito Autoral



*Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía* está licenciado sob uma [Licencia Creative Commons 2.5 Colombia \(atribución-no comercial-sin obras derivadas\)](#).