



UNIVERSIDADE DO ESTADO DO RIO GRANDE DO NORTE  
FACULDADE DE CIÊNCIAS ECONÔMICAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA  
MESTRADO ACADÊMICO EM GEOGRAFIA



ALUIZIO BEZERRA JÚNIOR

**AVALIAÇÃO AMBIENTAL DO RESERVATÓRIO CAIÇARA  
(MARCELINO VIEIRA/RN)**

MOSSORÓ

2021

ALUIZIO BEZERRA JÚNIOR

**AVALIAÇÃO AMBIENTAL DO RESERVATÓRIO CAIÇARA  
(MARCELINO VIEIRA/RN)**

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

Área de concentração: Paisagens Naturais e Meio Ambiente.

Linha de pesquisa: Estudos socioambientais.

Orientador: Prof. Dr. Josiel de Alencar Guedes.

Coorientador: Prof. Dr. Agassiel de Medeiros Alves.

Aprovada em: 26 de fevereiro de 2021.

---

Banca Examinadora

---

Prof. Dr. Josiel de Alencar Guedes (Presidente - Orientador)  
Universidade do Estado do Rio Grande do Norte (UERN)

---

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

---

Profa. Dra. Alexandra Bezerra da Rocha (Examinador Externo)  
Centro de Formação de Professores (UFCG-CFP)

---

Prof. Dr. Manoel Ciricio Pereira Neto (Suplente Interno)  
Universidade do Estado do Rio Grande do Norte (UERN)

---

Prof. Dr. Joel Medeiros Bezerra (Suplente Externo)  
Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA)

MOSSORÓ  
2021

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

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

B574a Bezerra Júnior, Aluizio  
Avaliação ambiental do reservatório Caiçara  
(Marcelino Vieira-RN). / Aluizio Bezerra Júnior. - Mossoró,  
2021.  
104p.

Orientador(a): Prof. Dr. Josiel de Alencar Guedes.  
Coorientador(a): Prof. Dr. Agassiel de Medeiros Alves.  
Dissertação (Mestrado em Programa de Pós-  
Graduação em Geografia). Universidade do Estado do Rio  
Grande do Norte.

1. Reservatório. 2. Zona de amortecimento. 3. Pressão  
antrópica. 4. Zoneamento. 5. Comprometimento ambiental.  
I. Alencar Guedes, Josiel de. II. Universidade do Estado do  
Rio Grande do Norte. III. Título.

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

## AGRADECIMENTOS

À minha família, por todo apoio dado nos momentos difícil; em especial, à minha mãe, por tolerar todos os meus estresses ao longo do desenvolvimento da pesquisa.

Aos meus professores da graduação no *Campus* de Pau dos Ferros (UERN), pelos valiosos ensinamentos, sem os quais a realização do mestrado tornar-se-ia inviável.

À CAPES - Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (Código de Financiamento 001), pelo suporte financeiro à pesquisa.

Ao Programa de Pós-Graduação em Geografia (PPGEO) da Universidade do Estado do Rio Grande do Norte (UERN), *campus* Central – Mossoró, por ter disponibilizado sua infraestrutura para o desenvolvimento do estudo.

Aos Professores Doutores do PPGEO, por me auxiliarem na construção dos conhecimentos necessários para minha formação como ser pensante.

Ao Departamento de Geografia, *campus* Assú (UERN), por ter me aceitado no estágio de docência; e, principalmente, ao meu orientador do estágio, por confiar a mim a prática docente em Hidrografia.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Josiel de Alencar Guedes, e ao meu coorientador, Prof. Dr. Agassiel de Medeiros Alves, responsáveis por toda a minha aprendizagem como pesquisador na ciência geográfica.

Enfim, a todos aqueles que me ajudaram, diretamente ou indiretamente, para que houvesse o desenvolvimento da presente pesquisa.

‘Oásis’, ‘Templo’, ‘Santuário’, ‘Baluarte’, o açude constitui, para o nordestino daquelas ribeiras sertanejas assoladas pelas secas, um espelho d’água e de vida no meio da ressecada natureza; um espelho de esperança no seio da atordoante incerteza que acompanha a marcha das estações. Até a própria língua parece atestar a relação vital entre o açude e o sertanejo: o açude sangra quando transborda e chora quando a sua fralda fica umedecida pelas infiltrações.

MOLLE, François (1994, p. 10).

## RESUMO

Os reservatórios superficiais são estruturas artificiais construídas, de forma transversal, em canais fluviais; são sistemas complexos e dinâmicos, dispostos individualmente ou em cascata. Para que haja sua compreensão socioambiental, há a necessidade de entender seus múltiplos usos e manejos, tornando, então, possível conhecer suas funções e suas características de transformação dos sistemas terrestres e aquáticos. Nesse sentido, para os reservatórios construídos – ou que estão em fase de construção – no Semiárido Brasileiro (SEB), faz-se necessária a realização de pesquisas científicas sobre seu sistema ambiental. O reservatório Caiçara, objeto deste estudo, é um manancial superficial localizado no município de Marcelino Vieira, estado do Rio Grande do Norte, que serve de abastecimento para as comunidades do seu entorno e reserva hídrica para a cidade de Marcelino Vieira. A pesquisa buscou realizar a avaliação ambiental e zoneamento da zona de amortecimento por meio do Índice de Pressão Antrópica (IPA) e do Índice de Comprometimento Ambiental (ICA). Para tal, foram aplicadas técnicas de Sensoriamento Remoto no SIG Qgis® 3.4, versão Madeira, utilizando-se dados orbitais dos satélites LANDSAT 5, sensor TM (*Thematic Mapper*) e SENTINEL 2, sensor MSI (*Multispectral Instrument*). Os dados orbitais foram empregados para o processamento das informações da pesquisa, levando em consideração as devidas adaptações metodológicas. Foram observadas múltiplas transições das classes de uso e cobertura da terra em seu recorte multitemporal que auxiliaram na compreensão dos níveis do IPA, tal como suas múltiplas aceções de impactos ambientais. Ademais, foi possível conhecer os parâmetros de impactos em cada zona do zoneamento proposto, além de identificar a intensidade do comprometimento ambiental e a da zona de amortecimento. Conclui-se, portanto, que a zona de amortecimento do reservatório encontra-se em processo de degradação associado aos usos múltiplos da terra, havendo, dessa forma, a necessidade de maior gestão e gerenciamento em sua zona de amortecimento, de modo a garantir desenvolvimento sustentado.

**Palavras-chave:** Reservatório. Zona de amortecimento. Pressão antrópica. Zoneamento. Comprometimento ambiental.

## ABSTRACT

The superficial reservoirs are artificial structures built transversely in fluvial channels, they are complex and dynamic systems, arranged individually or in cascade. For its socio-environmental understanding to occur, it is necessary to understand the multiple uses and managements. In this way, it will be possible to know its functions and characteristics of transformation of terrestrial and aquatic systems. For reservoirs built - or that are under construction - in the Brazilian Semi-arid Region (BSR), it is necessary to carry out scientific research on their environmental system. The Caiçara reservoir, the object of the present study, is a superficial source located in the municipality of Marcelino Vieira, state of Rio Grande do Norte, Brazil, which serves as a supply for the surrounding communities and water reserve for the city of Marcelino Vieira. The research sought to carry out the environmental assessment and zoning of the buffer zone through the Anthropic Pressure Index (API) and the Environmental Commitment Index (ECI). To this end, Remote Sensing techniques were applied to the SIG Qgis® 3.4, Madeira version, using orbital data from the LANDSAT 5 satellites, TM sensor (Thematic Mapper) and SENTINEL 2, MSI sensor (Multispectral Instrument). The orbital data were used to process the research information, taking into account the appropriate methodological adaptations. Multiple transitions of land use and land cover classes were observed in their multitemporal approach that helped to understand the API levels, as well as their multiple meanings of environmental impacts. In addition, it was possible to know the impact parameters in each zone of the proposed zoning. The intensity of the environmental commitment and that of the buffer zone was also identified. It is concluded, therefore, that the reservoir's buffer zone is in a process of degradation associated with multiple land uses, thus, there is a need for greater strategic management and management in its buffer zone, in order to guarantee sustained development.

**Keywords:** Reservoir. Buffer zone. Anthropic pressure. Zoning. Environmental commitment.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Representação dos problemas que interferem em ecossistemas aquáticos.	19
<b>Figura 2:</b> Principais benefícios dos reservatórios do perímetro semiárido/Brasil.	21
<b>Figura 3:</b> Diferentes estágios de uma floresta em modificação e conversão.	22
<b>Figura 4:</b> Interpretação da imagem por meio dos elementos de interpretação.	24
<b>Figura 5:</b> Estrutura geral de Sistemas de Informação Geográfica (SIGs).	25
<b>Figura 6:</b> Espectro eletromagnético, com destaque para a região de luz visível.	26
<b>Figura 7:</b> Etapas básicas na classificação de imagens.	28
<b>Figura 8:</b> Exemplo de matriz de erro.	29
<b>Figura 9:</b> Pirâmide da informação.	31
<b>Figura 10:</b> Bacia de drenagem do reservatório Caiçara, Marcelino Vieira (RN).	34
<b>Figura 11:</b> Reservatórios públicos na bacia de drenagem.	35
<b>Figura 12:</b> Localização do reservatório Caiçara, Marcelino Vieira (RN).	36
<b>Figura 13:</b> Comunidades na área de influência do reservatório Caiçara.	38
<b>Figura 14:</b> Fluxograma metodológico da pesquisa.	39
<b>Figura 15:</b> Pontos de controle terrestres (PCTS) na zona de amortecimento.	48
<b>Figura 16:</b> Localização do reservatório, município de Marcelino Vieira (RN).	60
<b>Figura 17:</b> Fluxograma metodológico do IPA.	64
<b>Figura 18:</b> Uso e cobertura da terra de 2015 na zona de amortecimento.	66
<b>Figura 19:</b> Uso e cobertura da terra de 2016 na zona de amortecimento.	67
<b>Figura 20:</b> Uso e cobertura da terra de 2017 na zona de amortecimento.	68
<b>Figura 21:</b> Uso e cobertura da terra de 2018 na zona de amortecimento.	70
<b>Figura 22:</b> Uso e cobertura da terra de 2019 na zona de amortecimento.	71
<b>Figura 23:</b> Índice de Pressão Antrópica (IPA) da zona de amortecimento.	72
<b>Figura 24:</b> Localização do reservatório Caiçara, Marcelino Vieira (RN/BR).	84
<b>Figura 25:</b> Fluxograma metodológico do zoneamento.	87
<b>Figura 26:</b> Zoneamento da zona de amortecimento do reservatório.	88
<b>Figura 27:</b> ZPP da zona de amortecimento do reservatório.	89
<b>Figura 28:</b> Parâmetros individualizados na ZPP.	90
<b>Figura 29:</b> ZCA da zona de amortecimento do reservatório.	91
<b>Figura 30:</b> Parâmetros individualizados na ZCA.	92
<b>Figura 31:</b> ZRA da zona de amortecimento do reservatório.	93
<b>Figura 32:</b> Parâmetros individualizados na ZRA.	94

<b>Figura 33:</b> ZUS da zona de amortecimento do reservatório.	95
<b>Figura 34:</b> Parâmetros individualizados na ZUS.	96

## LISTA DE QUADROS

<b>Quadro 1:</b> Alguns tipos de zoneamento existentes no Brasil.	32
<b>Quadro 2:</b> Característica hidráulica do reservatório Caiçara.	37
<b>Quadro 3:</b> Característica do satélite LANDSAT 5.	40
<b>Quadro 4:</b> Característica do satélite SENTINEL 2.	41
<b>Quadro 5:</b> Processo de delimitação das zonas de zoneamento.	45

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1:</b> Característica hidráulica do reservatório Caiçara.	61
<b>Tabela 2:</b> Evolução do uso e cobertura na zona de amortecimento do reservatório.	65
<b>Tabela 3:</b> Dados do Índice de Pressão Antrópica (IPA).	72
<b>Tabela 4:</b> Critérios de delimitação das zonas de zoneamento.	86
<b>Tabela 5:</b> ZPP da zona de amortecimento do reservatório.	89
<b>Tabela 6:</b> ZCA da zona de amortecimento do reservatório.	91
<b>Tabela 7:</b> ZRA da zona de amortecimento do reservatório.	93
<b>Tabela 8:</b> ZUS da zona de amortecimento do reservatório.	95

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

<b>APPs</b>	Áreas de Preservação Permanente.
<b>BDG</b>	Banco de Dados Geográfico.
<b>CAERN</b>	Companhia de Águas e Esgotos do Rio Grande do Norte.
<b>CERH</b>	Conselhos Estaduais de Recursos Hídricos.
<b>CONAMA</b>	Conselho Nacional do Meio Ambiente.
<b>DNOCS</b>	Departamento Nacional de Obras Contra a Seca.
<b>ESA</b>	<i>European Space Agency.</i>
<b>ETA</b>	Estação de Tratamento de Água.
<b>IBGE</b>	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.
<b>CPRM</b>	Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais.
<b>ICA</b>	Índice de Comprometimento Ambiental.
<b>IGARN</b>	Instituto de Gestão das Águas.
<b>INOCS</b>	Inspetoria de Obras Contra a Seca.
<b>IPA</b>	Índice de Pressão Antrópica.
<b>PCTs</b>	Pontos de Controle Terrestres.
<b>PDI</b>	Processamento Digital de Imagens.
<b>PNRH</b>	Política Nacional de Recursos Hídricos.
<b>RN</b>	Rio Grande do Norte.
<b>SAAE</b>	Serviço Autônomo de Água e Esgoto.
<b>SEMARH</b>	Secretaria do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos.
<b>SGBD</b>	Sistema Gerenciador de Banco de Dados.
<b>SIGs</b>	Sistemas de Informação Geográfica.
<b>SINGREH</b>	Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos.
<b>SIRGAS 2000</b>	Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas 2000.
<b>SUDENE</b>	Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste.
<b>USGS</b>	<i>United States Geological Survey.</i>
<b>UTM</b>	Universal Transversa de Mercator.
<b>ZCA</b>	Zona de Conservação Ambiental.
<b>ZPP</b>	Zona de Preservação Permanente.
<b>ZRA</b>	Zona de Recuperação Ambiental.
<b>ZUS</b>	Zona de Uso Sustentável.

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b>	15
1.1. Objetivos	17
1.1.1. Geral	17
1.1.2. Específico	17
<b>2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b>	18
2.1. Reservatório e problema de gestão e gerenciamento	18
2.2. Uso e cobertura da terra em sistema de interpretação de imagens	21
2.3. Tratamento e manipulação de dados em SIG	24
2.4. Pressão antrópica aplicada ao zoneamento	30
<b>3. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO</b>	34
3.1. Bacia de drenagem do reservatório Caiçara	34
3.2. Descrição do reservatório Caiçara	36
<b>4. MATERIAIS E METÓDOS</b>	39
4.1. Levantamento bibliográfico e metodológico	40
4.2. Aquisição de dados espaciais	40
4.3. Classificação do Índice de Pressão Antrópica (IPA)	41
4.4. Elaboração do zoneamento	45
4.5. Produção do material cartográfico	47
4.6. Pesquisa de campo	47
<b>5. REFERÊNCIAS</b>	49
<b>6. AVALIAÇÃO DO ÍNDICE DE PRESSÃO ANTRÓPICA NA ZONA DE AMORTECIMENTO DO RESERVATÓRIO CAIÇARA (MARCELINO VIEIRA/RN)</b>	57
<b>6.1. INTRODUÇÃO</b>	57
6.1.1. Contextualização teórica	58
<b>6.2. MATERIAIS E MÉTODOS</b>	60
6.2.1. Caracterização da área de estudo	60
6.2.2. Procedimentos metodológicos	62
<b>6.3. RESULTADOS E DISCUSSÕES</b>	64
6.3.1. Caracterização e análise multitemporal do uso e cobertura da terra	64

6.3.2. Análise do Índice de Pressão Antrópica (IPA)	71
<b>6.4. CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>	74
<b>6.5. AGRADECIMENTOS</b>	75
<b>6.6. REFERÊNCIAS</b>	76
<b>7. ZONEAMENTO DA ZONA DE AMORTECIMENTO DO RESERVATÓRIO CAIÇARA (MARCELINO VIEIRA/RN) ENQUANTO SUBSÍDIO AO GERENCIAMENTO E GESTÃO</b>	81
<b>7.1. INTRODUÇÃO</b>	81
7.1.1. Contextualização teórica	82
<b>7.2. MATERIAIS E MÉTODOS</b>	84
7.2.1. Caracterização da área de estudo	84
7.2.2. Procedimentos metodológicos	85
<b>7.3. RESULTADOS E DISCUSSÕES</b>	88
7.3.1. Sobre o zoneamento na zona de amortecimento	88
7.3.2. Zona de Preservação Permanente (ZPP)	88
7.3.3. Zona de Conservação Ambiental (ZCA)	91
7.3.4. Zona de Recuperação Ambiental (ZRA)	93
7.3.5. Zona de Uso Sustentável (ZUS)	95
7.3.6. ICA sobre a zona de amortecimento	97
<b>7.4. CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>	97
<b>7.5. AGRADECIMENTOS</b>	98
<b>7.6. REFERÊNCIAS</b>	98
<b>8. CONCLUSÃO GERAL</b>	103

## 1. INTRODUÇÃO

Os primeiros estudos sobre reservatórios no Brasil surgiram nos trabalhos pioneiros de Stillman Wright<sup>1</sup>, em 1934, na região Nordeste, especialmente no semiárido (ESTEVES, 2011), tendo representado um marco na investigação de corpos hídricos, tanto no que se refere a ecossistemas aquáticos quanto terrestres. De acordo com Tundisi (2007), a abordagem inicial era basicamente conhecer e identificar, sob análise descritiva, a dinâmica ambiental dos reservatórios, bem como, em parte, suas inter-relações com a sociedade (TUNDISI, 2006; TUNDISI; MATSUMURA-TUNDISI; TUNDISI, 2008).

O conhecimento científico e técnico de reservatórios teve avanço em seus modelos de trabalho, permitindo, dessa forma, a visualização dos corpos hídricos como sistema complexos (TUNDISI, 2003; TUNDISI, 2006), o que levou ao reconhecimento do sistema ambiental e humano e, ao mesmo tempo, estabeleceu a integração de todos os sistemas multicompartimentais, bem como sua organização espacial e temporal. Assim, com a sistematização do conhecimento, desencadeou-se a construção das bases fundamentais para a compreensão de problemas ambientais em reservatórios e, certamente, houve uma contribuição na discussão intensa e aberta sobre os diferentes sistemas (TUNDISI, 2003).

Pesquisas em reservatórios têm contribuído para a compreensão de seus problemas, tendo atingido seu ápice na concepção de estudos integrados, o que representou novas perspectivas teóricas e metodológicas, haja vista que oportunizou a total integração de processos biogeofísicos, bem como econômicos e sociais, da mesma forma, as interações entre bacias de drenagens e seus sistemas a montante e a jusante (TUNDISI, 2006); esse elo entre os processos de integração simbolizou não apenas a saída da abordagem tradicional, como também desenvolveu a visão das múltiplas acepções de integração (JØRGENSEN *et al.*, 2000; TUNDISI, 2007).

Nesse sentido, essa integração de reservatórios com o sistema ambiental e humano viabilizou a avaliação – no tempo e no espaço – das formas de degradação e usos múltiplos da terra, permitindo acompanhar as rápidas mudanças, particularmente, as antrópicas, representadas pela nova configuração do ambiente (BRANCO; ROCHA, 1977). A partir dessa visão, Tundisi (2007) chama a atenção para o fato de que os reservatórios são permanentemente alterados, seja em benefícios ou em malefícios ao sistema ambiental.

---

<sup>1</sup> Stillman Wright é um geólogo norte-americano que trabalhou na comissão técnica de piscicultura do Nordeste (1933-1937), tendo pesquisado os sistemas de reservatórios no semiárido (ESTEVES, 2011).

Surge, assim, a necessidade de analisar e avaliar o sistema ambiental dos reservatórios, sobretudo no tocante à temática de pressão antrópica, considerando sua distribuição espaço-temporal. Os reservatórios, especialmente na região semiárida, têm apresentado situações de degradação ambiental relacionadas às atividades de uso da terra, em geral, definidas pelas atividades econômicas e sociais. Esses reservatórios são responsáveis por criarem um novo dimensionamento na discussão socioambiental sobre os recursos hídricos, bem como suas implicações na organização espacial do ambiente.

Considerando-se esse contexto a macrorregião Oeste Potiguar se caracteriza como importante cenário de construção de reservatórios, principalmente os médios e pequenos. Esses reservatórios foram construídos nos canais fluviais do rio Apodi-Mossoró, resultantes de uma política desenvolvida pelo INOCS (Inspetoria de Obras Contra a Seca), atual DNOCS (Departamento Nacional de Obras Contra a Seca), que estabeleceu os reservatórios como fundamentais para o desenvolvimento regional e local (MOLLE; CADIER, 1992).

Seguindo essa conjuntura, o reservatório Caiçara, construído no final do ano de 1981, visou atender a uma nova perspectiva para o município de Marcelino Vieira em termos hídricos (DNOCS, 2019). O reservatório tem uma importância significativa, de ordem social e econômica, pois representa grande parte da solução hidráulica do município, uma vez que sua construção viabilizou o atendimento das necessidades básicas de armazenamento e de abastecimento de água, tanto a montante como a jusante.

No entanto, atualmente, esse reservatório vem sofrendo impactos negativos relacionados aos usos múltiplos, em particular, o uso e cobertura da terra em suas margens, o que compromete a capacidade de acumulação da bacia hidráulica, bem como a qualidade da água, aspectos que podem levar a um futuro colapso do sistema hídrico. Ademais, outros impactos podem ocorrer também na alteração da ictiofauna e ictioflora, gerando, assim, prejuízos à ecologia do corpo hídrico. O desmatamento das margens constitui outro problema, pois representa o desaparecimento, em parte, da cobertura nativa, resultando em erosão nas margens e, por conseguinte, o assoreamento e a eutrofização do sistema hidrográfico.

Ao se considerar os usos múltiplos da terra, é possível identificar as principais perturbações antropogênicas e estabelecer um período de análise; o recorte do período leva em consideração o grau de intervenção humana, assim como a disponibilidade das imagens orbitais do satélite. Tal escolha contribuiu para avaliação ambiental do reservatório no período mais crítico da história, tanto graças à variabilidade de armazenamento útil como à diversidade de uso e manejo observada.

Ciente dessa situação, entende-se que há a necessidade de se conhecer e avaliar a

pressão antrópica no entorno do reservatório, bem como elaborar zoneamento, com base em diferentes graus de proteção e de regras de uso. O presente trabalho justifica-se em razão da necessidade de se indicar uma resposta à pressão antrópica sobre o manancial, seja em curto, médio e longo prazo, de modo a servir de subsídios para a gestão e gerenciamento, favorecendo, portanto, tanto a recuperação quanto a preservação e a conservação do sistema hidroambiental.

## 1.1. Objetivos

### 1.1.1. Geral

- Realizar avaliação ambiental na zona de amortecimento do reservatório Caiçara, localizado no município de Marcelino Vieira (RN/BR).

### 1.1.2. Específicos

- Identificar as classes de uso e cobertura da terra na zona de amortecimento do reservatório no intuito de classificar o Índice de Pressão Antrópica (IPA);
- Propor, a partir do Índice de Pressão Antrópica (IPA), zonas de zoneamento como instrumento de gestão e gerenciamento da zona de amortecimento do reservatório;
- Calcular o Índice de Comprometimento Ambiental (ICA), com base nas zonas do zoneamento.

## 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Os tópicos constantes nesta seção servirão de alicerces ao enfoque empregado do conhecimento científico e técnico, a fim de explicar e compreender a dinâmica desta pesquisa, com base na fundamentação da teoria/conceitos relacionados ao campo de pesquisa.

### 2.1. Reservatório e problema de gestão e gerenciamento

Os recursos hídricos de reservatórios, particularmente em regiões áridas e semiáridas, têm sido limitados em decorrência da disponibilidade, uma vez que seu uso vem excedendo sua capacidade de renovação e, como consequência, vem se ampliando a escassez hídrica (GHEYI *et al.*, 2012). A escassez, bem como as formas de uso da água e da terra, vem modificando a intensidade dos processos interativos entre água e terra no âmbito do sistema hidrográfico, de modo a causar a degradação ambiental dos corpos hídricos e de seu entorno e, muitas vezes, tornando-os irreversíveis, gerando prejuízos tanto ao sistema ambiental quanto ao desenvolvimento das atividades humanas (REBOUÇA, 1997; DUQUE, 2004).

Para Tundisi (2003) e Tundisi (2008), a degradação ambiental dos reservatórios e de seu entorno associa-se às diversas formas de exploração do sistema ambiental. Por essa razão, é necessário indagar sobre os impactos que induzem a essa degradação (Figura 1), quais sejam: o desmatamento das margens, a erosão dos solos, a modificação da cobertura vegetal, a alteração da qualidade das águas, por exemplo (TUNDISI; MATSUMURA-TUNDISI; TUNDISI, 2008). Esses problemas, segundo Lima, Candeias e Cunha (2017, p. 1975), “estão relacionados à qualidade e quantidade de recursos hídricos, à conservação da biodiversidade e à qualidade de vida da população”.

Os diferentes usos dos reservatórios contribuem nas diferentes degradações ambientais, pois causam modificações na capacidade de prover serviços e funções de suporte à vida, tanto no sistema ambiental como no sistema humano (PERIOTTO; TUNDISI, 2013). Deste modo, torna-se fundamental avaliar as formas de degradação ambiental, em especial, no entorno dos reservatórios. Surgem, então, as várias formas de diagnósticos e de prognósticos do sistema ambiental em reservatórios de água superficial, especialmente por meio de metodologias relacionadas ao uso de imagens de satélites, as quais têm se mostrado eficazes na avaliação ambiental, contribuindo, dessa forma, para a gestão e gerenciamento equilibrados (LILLESAND *et al.*, 1983; CHENG; LEI, 2001).

**Figura 1:** Representação dos problemas que interferem em ecossistemas aquáticos.



Fonte: Tundisi (2008).

Para Machado e Torres (2017, p. 163), os termos gestão e gerenciamento de recursos hídricos são pensados quando a “[...] degradação quantitativa e qualitativa começam a despertar a consciência da necessidade de sua utilização de forma racional [...]”. Segundo tais autores, gestão é constituída pelo conjunto de ações, as quais utilizam estratégias e instrumentos para equacionamento no uso do recurso; por outro lado, o gerenciamento visa garantir, de forma integrada e participativa, a manutenção, considerando os componentes de dentro e fora do sistema hídrico (TUNDISI, 2003; TUNDISI; MATSUMURA-TUNDISI, 2011; TAVEIRA, 2018).

Nesse sentido, viabilizar a gestão e gerenciamento dos corpos hídricos, sejam estes naturais ou artificiais, pode indicar as potencialidades e as fragilidades no entorno, permitindo gerar benefícios diretos e indiretos, na medida em que forem implementados. Segundo Tundisi, Matsumura-Tundisi e Tundisi (2008), a análise do sistema ambiental, com base na gestão e gerenciamento, torna-se fundamental para o equilíbrio ambiental, de acordo com uma abordagem integrada, levando-se em consideração os instrumentos necessários para a sustentabilidade do ambiente (TUNDISI, 2003; TUNDISI; MATSUMURA-TUNDISI, 2011).

Straškraba e Tundisi (2013) ressaltam que as soluções integradas na gestão e gerenciamento de corpos hídricos viabilizam o controle dos usos múltiplos, garantindo, assim, a montagem de cenários de sustentabilidade, tanto dentro como fora dos reservatórios; além disso, podem também, nesse caso, incorporar mudanças de um sistema setorial para um sistema

integrado, segundo as especificidades e as prioridades de cada reservatório e de seu entorno (BRANCO; ROCHA, 1977; JØRGENSEN *et al.*, 2000; TUNDISI, 2003; TUNDISI, 2006).

No que concerne à legislação, a gestão e gerenciamento dos corpos hídricos exige um conjunto de ações para proteger, regular e controlar, e, assim estabelecer os princípios e os instrumentos necessários na materialização do monitoramento ambiental. A legislação federal que define a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), ou seja, a Lei n° 9.433/97, que modificou a Lei n° 7.990/89 (BRASIL, 1997), concebe as diretrizes do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGREH), que têm por finalidade coordenar a gestão integrada das águas e promover os Conselhos Estaduais de Recursos Hídricos (CERH), segundo as entidades estaduais e suas respectivas leis. No Rio Grande do Norte (1996), a Lei estadual n° 6.908/96 (RIO GRANDE DO NORTE, 1996) dispõe as providências e regulamenta os instrumentos de gestão das águas no Estado.

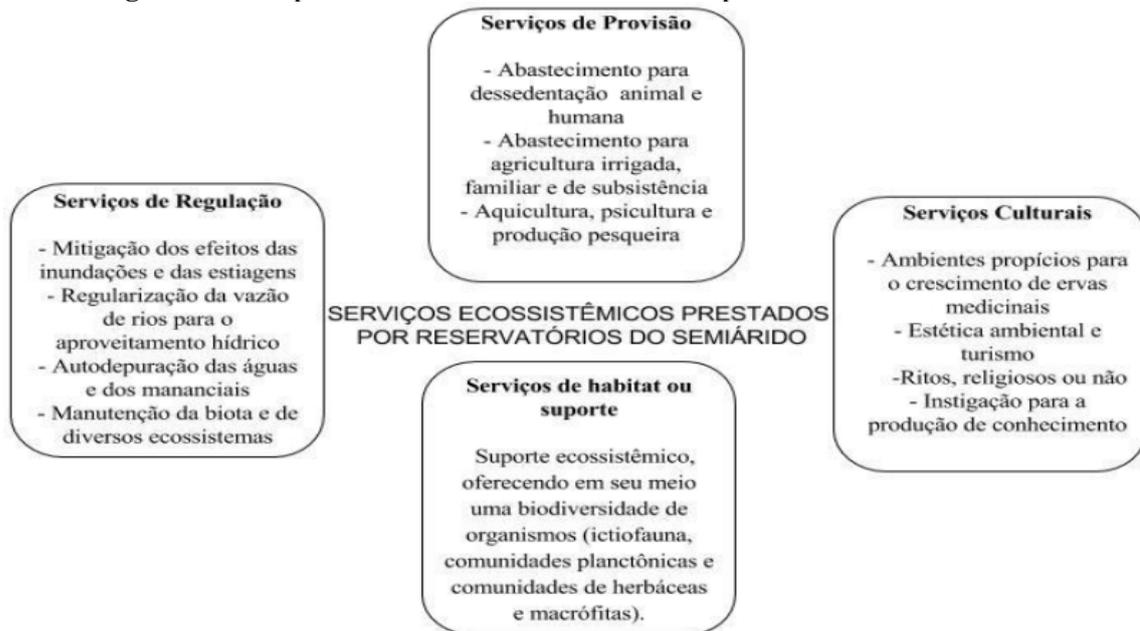
Quanto à recuperação, conservação e preservação da fauna e flora no entorno de recursos hídricos, são pautas tanto da Lei federal n° 12.651/12, denominado Código Florestal (BRASIL, 2012), bem como das Resoluções do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), que, em conjunto, estabelecem a proteção e a manutenção de Áreas de Preservação Permanente (APPs); do mesmo modo, dispõem os parâmetros, definições e limites de áreas nos canais fluviais e corpos hídricos, exceto em relação aos canais efêmeros e acumulações de água abaixo de cinco hectares de superfície. No âmbito estadual, a Lei Complementar n° 276/04 (RIO GRANDE DO NORTE, 2004), de proteção, controle e recuperação ambiental, apoia-se nas diretrizes e parâmetros das leis federais, com exceção, obviamente, das particularidades do estado.

É por meio desse avanço no marco regulatório que foram atribuídos os fundamentos e os instrumentos necessários à utilização racional e integrada da água e da terra nos sistemas hidrológicos (TUNDISI, 2003; TAVEIRA, 2018). Para Machado e Torres (2018), a legislação do país, seja para recursos hídricos, seja para terrestres, representou instrumento fundamental para o bem-estar tanto do sistema complexo de recursos naturais, como também do sistema humano, assegurando, desse modo, para a atual e as futuras gerações, a disponibilidade dos recursos (PERIOTTO; TUNDISI, 2013).

Tundisi (2003) e Taveira (2018) salientam que a gestão e gerenciamento, com base nos componentes dos recursos terrestres e aquáticos, promovem os fundamentos necessários à estabilidade do ambiente, de maneira a possibilitar o desenvolvimento integrado, assim como recuperar, por exemplo, os serviços ecossistêmicos (Figura 2), segundos os múltiplos serviços prestados, visando garantir os usos sustentáveis dos recursos naturais, particularmente no que

se refere aos sistemas complexos de reservatórios artificiais (GHEYI *et al.*, 2012; OLIVEIRA *et al.*, 2016; MARIN *et al.*, 2016); surge, dessa maneira, a necessidade de saber quais os tipos de serviços ecossistêmicos prestados, para, a partir de então, ser possível conhecer sua qualidade ambiental.

**Figura 2:** Principais benefícios dos reservatórios do perímetro semiárido / Brasil.



**Fonte:** Oliveira *et al.* (2016).

Conclui-se, portanto, que a gestão e gerenciamento dos corpos hídricos e de seu entorno devem promover a integração de todos os sistemas, levando-se em consideração a implementação total de políticas públicas, a fim de estabelecer a recuperação, a conservação e a preservação da biodiversidade em ecossistemas, tanto aquáticos quanto terrestres (PERIOTTO; TUNDISI, 2013). Logo, para que isso se concretize, faz-se necessário o suporte da avaliação ambiental, como parte do desenvolvimento sustentável do sistema hidrográfico.

## 2.2. Uso e cobertura da terra em sistema de interpretação de imagens

O uso e cobertura da terra, ou simplesmente uso da terra, segundo apontado por Leite e Rosa (2012), diz respeito a um processo que traz a compreensão das formas e dos padrões de organização da área geográfica por intermédio da observação e da identificação dos objetos. Para Singh (1989), investigar as mudanças de uso e cobertura da terra consiste na extração de informações por meio das habilidades de quantificar e de analisar os objetos detectados no

espaço, viabilizando, assim, um diagnóstico e um prognóstico da estrutura e da dinâmica da paisagem (REIS, 2014; BEZERRA JÚNIOR; GUEDES, 2016).

Segundo o IBGE (2013), as mudanças no uso e cobertura da terra representam as distribuições espaciais das formas e padrões geométricos das tipologias de uso, identificadas por meio da interpretação, análise e observação da paisagem. O conhecimento e a avaliação do uso da terra permitem a leitura das mudanças rápidas e abruptas dos processos de alterações da realidade paisagística, seja na substituição parcial ou total (CHHABRA; GEIS, 2006).

Então, pode-se afirmar que “[...] os principais desafios em detecção de mudanças para o monitoramento de ecossistemas estão relacionados a detectar tanto modificações quanto conversões” (REIS, 2014, p. 8). Assim, é preciso distinguir os tipos de alterações no uso e cobertura da terra, que consiste na diferenciação de modificação e conversão, procedimento necessário quando se estuda a espacialização dos sistemas em sua configuração atual (SINGH, 1989; CHHABRA; GEIS, 2006).

Como exemplo (Figura 3), Reis (2014, p. 8) chama a atenção para a definição de convenção e modificação. Nas palavras da autora “[...] Conversão seria a completa retirada de um tipo de cobertura, a ser substituída por outra, enquanto modificação consiste em mudanças mais sutis que alteram as características da cobertura sem alterar sua classificação geral [...]”. É importante, também, saber que os processos podem ter diferentes estágios, em geral, definidos pelos eventos de alterações de uso da terra.

**Figura 3:** Diferentes estágios de uma floresta em modificação e conversão.



**Fonte:** Reis (2014).

O conhecimento e o monitoramento das alterações de uso e cobertura da terra, por meio de leitura de modificação e conversão, permitem analisar a capacidade de variabilidade e frequência das formas e de padrões geométricos, tornando possível a aplicação de técnica e de método de interpretação de imagens, bem como oportuniza a classificação e a integração de dados espaciais. Conforme apontam Florenzano (2008) e Jensen (2009), a detecção das mudanças temporais e espaciais dos objetos viabiliza o desenvolvimento de modelo de interpretação, com vistas à previsão das transformações espaciais.

Para a classificação das mudanças são utilizados mecanismos de interpretação de alvos, que auxiliam no reconhecimento e na identificação dos objetos detectados e estabelecem suas propriedades espaciais (LOEBMANN *et al.*, 2012). A interpretação de imagens, segundo Jensen (2009), é um processo de percepção, análise e identificação de objetos em imagens, o qual reproduz uma dimensão vertical e oblíqua dos alvos imageados, permitindo, dessa forma, uma visão concisa da realidade terrestre.

Novo (2010, p. 326) acrescenta ainda que “a análise visual pode ser definida como o ato de examinar uma imagem com o propósito de identificar objetos e estabelecer julgamentos sobre suas propriedades [...]”. Ademais, de acordo com a autora, o processo de interpretação envolve quase simultaneamente as seguintes atividades de detecção: reconhecimento, análise, dedução, classificação, avaliação da precisão. Inclusive, se as imagens forem processadas, permitem trabalhar com o intervalo do comportamento espectral (MENEZES; ALMEIDA; BATISTA, 2019).

A leitura visual também depende da experiência e do conhecimento do usuário sobre as informações detectadas. Ainda segundo Novo (2010), os objetos detectados se baseiam em múltiplos elementos de extração de informações (Figura 4), tais como: tonalidade/cor, textura, padrão, localização, forma, sombra, tamanho, dentre outros. Esses elementos e sua utilização são determinados nos atributos utilizados na extração da informação dos objetos a serem detectados (LOEBMANN *et al.*, 2012).

Assim, ao se interpretar e deduzir o alvo imageado, pode-se levantar hipóteses sobre a sua natureza, segundo o conhecimento complementar da região; esse conhecimento possibilita introduzir o atributo de extração de informação e, dessa forma, identificar o alvo (LILLESAND; KIEFER; CHIPMAN, 2008; MENEZES; ALMEIDA; BATISTA, 2019). Florenzano (2008) afirma que, para o processo de detecção e extração de informação, faz-se necessária uma relação do visível e do que não é visível, considerando a capacidade de representação da imagem e as propriedades do sensor utilizado pelo satélite.

**Figura 4:** Interpretação da imagem em níveis por meio dos elementos de interpretação.



Fonte: Jensen (2000).

Somando-se a isto, Florenzano (2008) evidencia que, na interpretação, as imagens apresentam formas e padrões de elementos naturais e artificiais, representados pela irregularidade e pela dimensão espacial, podendo, assim, em função dos objetos imageados, ser estabelecida uma chave de interpretação, com intuito de tornar menos subjetiva a descrição do objeto de detecção. Para Novo (2010), as chaves de interpretação se caracterizam por uma variedade de elementos que dependem da resolução espacial, espectral e temporal das imagens (LILLESAND; KIEFER; CHIPMAN, 2008).

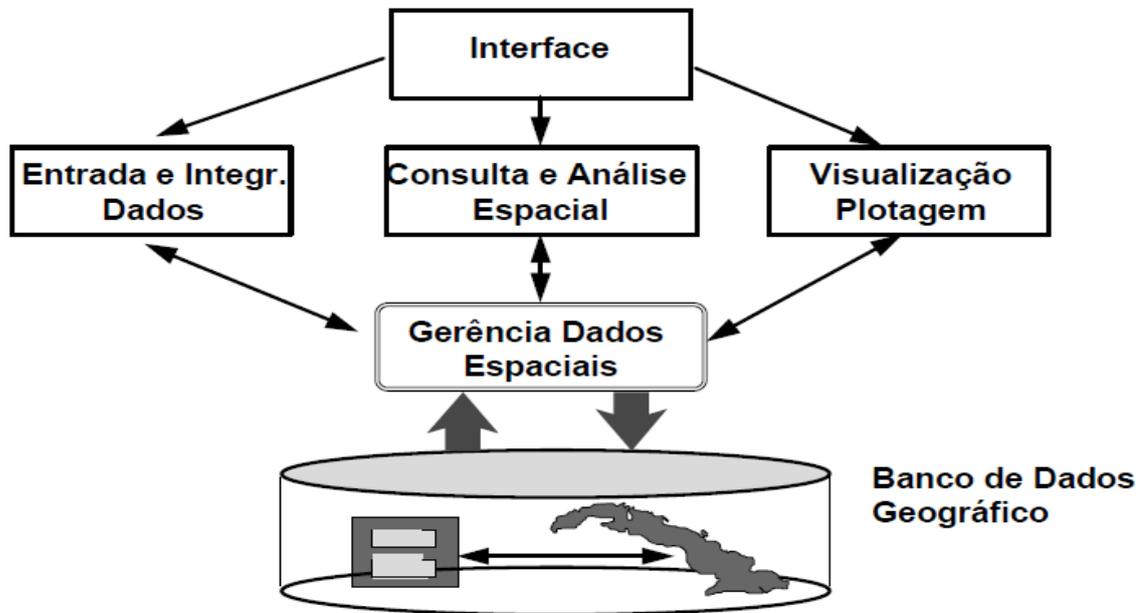
### 2.3. Tratamento e manipulação de dados em SIG

Na coleta de dados sobre o ambiente, faz-se necessário aplicar o tratamento da informação espacial, por intermédio do Sistemas de Informação Geográfica (SIGs), conhecido como ferramentas computacionais para Geoprocessamento. Fitz (2008) considera que, em um SIG, tem-se a possibilidade de elaborar e de manipular uma base de dados georreferenciados, fundamentados em um sistema de coordenadas geográficas, os quais podem estruturar um Banco de Dados Geográfico (BDG) e, ainda, viabilizar extensões de um Sistema Gerenciador de Banco de Dados (SGBD), de forma a possibilitar o processamento de dados vetoriais, matriciais, por exemplo (DAVIS; CÂMARA, 2001; BUZAI; BAXENDALE, 2015).

Davis e Câmara (2001) acrescentam que o SIG (Figura 5) é um conjunto de sistemas, os quais permitem o armazenamento, gestão, transformação, modelagem e visualização de

informações espaciais que se voltam a integrar e realizar análise complexa de dados, por meio das técnicas computacionais e matemáticas (FERREIRA; RAFFO, 2012). Isto posto, o SIG “deve ser compreendido como uma vigorosa ferramenta para apoiar a tomada de decisão por parte do usuário” (FITZ, 2008, p. 79).

**Figura 5:** Estrutura geral de sistemas de informação geográfica (SIGs).



Fonte: Davis; Câmara (2001).

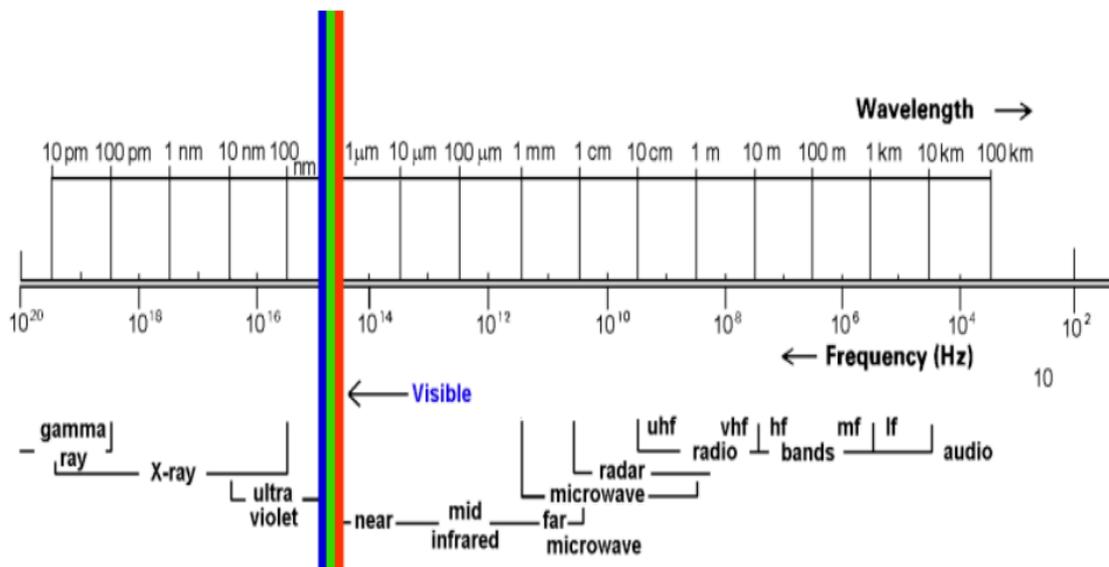
A tecnologia da informação é determinada em um conjunto de sistemas associados, os quais operam dados espaciais do território em razão da possibilidade da execução de análise de eventos, principalmente os de apoio à tomada de decisão (CLARKE, 1986; FERREIRA; RAFFO, 2012). Por essa lógica, concebe-se que a compreensão e a distribuição espacial de dados são muito úteis na elucidação de fenômenos espaciais, portanto, na interpretação e investigação dos eventos e entidades espaciais (DAVIS; CÂMARA, 2001; CÂMARA *et al.*, 2004). Segundo Xavier-da-Silva e Zaidan (2013), a tecnologia de Geoprocessamento consiste, na atualidade, em instrumento necessário ao avanço técnico e metodológico de análise da geotopologia de um ambiente.

O Geoprocessamento permite, também em ambiente SIG, as técnicas de Sensoriamento Remoto, as quais atuam na extração de informações de imagens orbitais. Desse modo, o Sensoriamento Remoto, na ótica de Lillesand, Kiefer e Chipman (2008, p. 99), é “a ciência e arte de obter informação sobre um objeto, área ou fenômeno através de dados adquiridos por um sensor que não está em contato com o objeto, área ou fenômeno estudado”. Entretanto, essa definição é muito ampla; para Jensen (2009) e Novo (2010), a definição mais

usada implica na obtenção de informação da superfície terrestre por meio da detecção e mensuração das alterações dos objetos imageados a partir do campo eletromagnético.

Então, pode-se afirmar que o Sensoriamento Remoto tem a função de registrar e de analisar as interações do campo eletromagnético com os objetos que compõem as informações imageadas, de forma a buscar mensurar as mudanças registradas. Assim, considera-se que os sensores orbitais implicam em registrar as variações da radiação eletromagnética (Figura 6), com base nas oscilações do comprimento de onda, frequência e velocidade da luz (MENEZES; ALMEIDA, 2012; PARANHOS FILHO *et al.*, 2016).

**Figura 6:** Espectro eletromagnético, com destaque para a região de luz visível.



**Fonte:** Souza (2010).

A interação da radiação eletromagnética com os objetos é representada pela dimensão dos objetos, em que as relações macroscópicas e microscópicas se propagam por meio das propriedades da matéria (MENEZES; ALMEIDA, 2012). Na perspectiva de Lorenzetti (2015), a energia eletromagnética, natural ou artificial, assume variações de faixas espectrais, o que corresponde às diferentes bandas espectrais dos sensores orbitais. A natureza da radiação eletromagnética é, normalmente, caracterizada pelo fenômeno ondulatório, que compõe os movimentos das ondas, de acordo com o tipo de vibração e a direção de propagação (MARQUES FILHO; VIEIRA NETO, 1999; JENSEN, 2009; LORENZZETTI, 2015).

O Sensoriamento Remoto é fundamentado na integração da energia refletida ou retrabalhada pelos objetos – capturados pelos sensores orbitais dos satélites – que se desenvolve no campo elétrico com o campo magnético (LORENZZETTI, 2015; MENEZES; ALMEIDA;

BATISTA, 2019). Isto conduz, portanto, à necessidade de conhecimento acerca do comportamento espectral de alvos, incluindo os fatores que alteram a dinâmica do comportamento (NOVO, 2010).

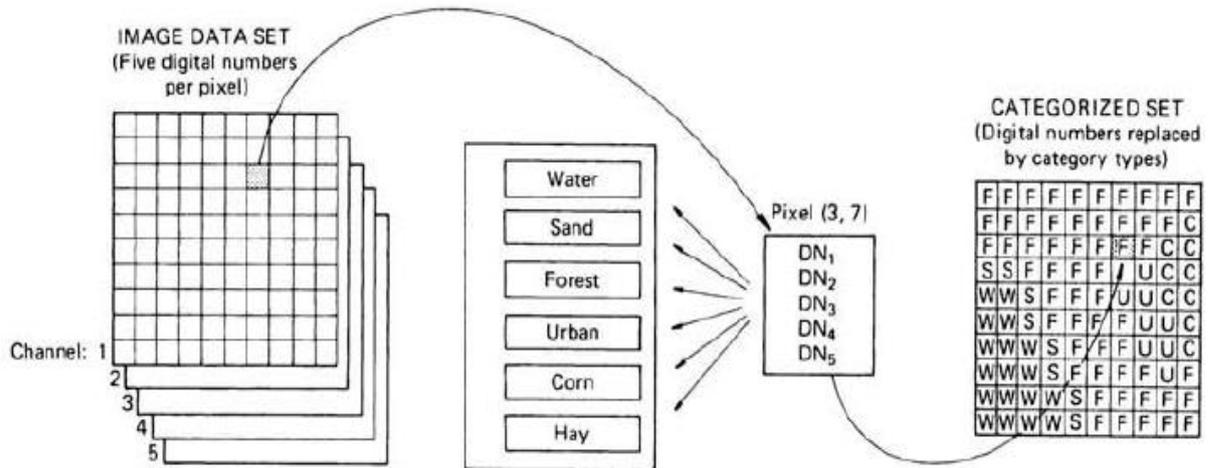
Conforme Novo (2010) e Rosa (2008), o comportamento espectral pode ser medido na interação do objeto com o espectro eletromagnético, pois a faixa do espectro manifesta formas e intensidades distintas nas curvas espectrais dos alvos. A partir dessa interação, as regiões do espectro podem variar em função das propriedades dos alvos, os quais, por sua vez, são capazes de oscilar nos fatores macroscópicos ou a partir dos microscópicos (MARQUES FILHO; VIEIRA NETO, 1999; MAGALHÃES; XAVIER, 2018).

Os objetos imageados e suas características de absorção de energia, segundo Rosa (2008), baseiam-se na visibilidade dos componentes da superfície terrestre, condicionando os fatores de absorção da radiação incidente. As curvas espectrais, basicamente, são fundamentadas na estrutura e no padrão do objeto imageado, em função das interações da energia incidente, e, portanto, permitem detectar o pulso de energia por meio do sensor orbital, no qual são transformados em imagens bidimensionais (LILLESAND; KIEFER; CHIPMAN, 2008; NOVO, 2010; MAGALHÃES; XAVIER, 2018).

Com isso, cada *pixel* na imagem óptica representa uma porção da superfície terrestre e, dessa forma, reproduz os objetos imageados. Acerca desse cenário, Jensen (2009) afirma que os objetos em imagem digital apresentam características distintas, seja nos componentes convergentes ou nos divergentes, os quais interagem de forma não linear. A fim de contornar essa problemática, faz-se necessário realizar os procedimentos de Processamento Digital de Imagens (PDI), de modo a corrigir as distorções causadas pelo sensor, permitindo, dessa maneira, a manipulação das informações necessárias na extração e consequente classificação dos objetos em uma cena.

No processo de classificação, na maior parte dos casos, são utilizados métodos estatísticos para o reconhecimento de padrões espaciais (Figura 7). Segundo Paranhos Filho *et al.* (2016), na classificação de imagens orbitais, habitualmente, é empregado o método manual ou automático; geralmente, na extração de informação aplica-se o método automático. Ainda segundo esse autor, o método automático de classificação consiste em atribuir a cada *pixel* uma determinada classe temática, a qual se dá em função do objeto imageado na superfície.

**Figura 7:** Etapas básicas na classificação de imagens.



Fonte: Lillesand; Kiefer; Chipman (2008).

A classificação automática se destaca em duas vertentes, a saber: a não supervisionada e a supervisionada. Lillesand, Kiefer e Chipman (2008) apontam que os dois processos de classificação se baseiam na determinação ou não de áreas de treinamento, considerando também o conjunto de algoritmos aptos ao processamento e à classificação da imagem (PARANHOS FILHO *et al.*, 2016).

A classificação não supervisionada é constituída, principalmente, pela capacidade de reconhecimento das classes que compõem a porção territorial projetada da imagem, as quais permitem conhecer e aplicar o algoritmo de classificação, com base no agrupamento dos *pixels* nas áreas com similaridades; já na classificação supervisionada, há a necessidade de determinar áreas de treinamento fornecidas pelo analista, a fim de criar uma série de assinaturas espectrais das classes existentes, possibilitando, desse modo, aplicar e processar o algoritmo de classificação (MENEZES; ALMEIDA, 2012; PARANHOS FILHO *et al.*, 2016). Novo (2010) salienta que existem outros métodos de classificação, tais como árvore de decisão, classificação por ângulo espectral, por região, etc.

Com a finalidade de avaliar a classificação e no intuito de determinar a exatidão do mapeamento, torna-se necessária a aplicação de equações estatísticas, sejam estas computacionais ou não computacionais. As operações matemáticas aplicadas na avaliação de classificação permitem observar e comparar a realidade virtual e terrestre com base estimada pela matriz de confusão, também conhecida como matriz de erro ou tabela de contingência (Figura 8). Conforme apontam Ma e Redmond (1995), a matriz de confusão pode ser empregada para calcular uma série de estatística, visando conhecer o desempenho da classificação.

**Figura 8:** Exemplo de matriz de erro.

		Reference Data				row total	
		D	C	AG	SB		
Classified Data	D	65	4	22	24	115	<u>Land Cover Categories</u> D = deciduous C = conifer AG = agriculture SB = shrub
	C	6	81	5	8	100	
	AG	0	11	85	19	115	
	SB	4	7	3	90	104	
column total		75	103	115	141	434	OVERALL ACCURACY = (65+81+85+90)/434 = 321/434 = 74%

<u>PRODUCER'S ACCURACY</u>		<u>USER'S ACCURACY</u>	
D	= 65/75 = 87%	D	= 65/115 = 57%
C	= 81/103 = 79%	C	= 81/100 = 81%
AG	= 85/115 = 74%	AG	= 85/115 = 74%
SB	= 90/141 = 64%	SB	= 90/104 = 87%

**Fonte:** Congalton; Green (1999).

Ainda, segundo Congalton e Green (1999), o método de amostragem é caracterizado pela seleção objetiva de pontos amostrais e também envolve tanto a definição do número de amostras, quanto o tamanho da área e as variáveis ambientais (NOVO, 2010). Esse conjunto de medidas pode ser usado para se calcular os coeficientes de concordância a serem empregados, a partir dos dados no formato de polígonos, grades ou pontos das amostras.

Para a avaliação de exatidão, são utilizados os coeficientes de concordância com base nos dados numéricos da matriz de confusão, que podem ser expressos pelos coeficientes de Exatidão Global, Kappa e Tau. De acordo com Congalton e Green (1999), os coeficientes constituem uma forma adequada na avaliação de precisão e exatidão em razão de verificarem os erros de omissão e comissão em relação ao conjunto de dados da diagonal principal e, também, às colunas e linhas marginais da matriz de confusão. Então, a qualidade de classificação de objetos é estimada pelo valor de precisão e exatidão, no que concerne aos coeficientes calculados (MA; REDMOND, 1995).

Todo esse processo de estimar um valor de precisão e exatidão da classificação vai representar parte dos caminhos necessários para se proceder à avaliação ambiental. Esse processo, segundo Novo (2010), é, sem dúvida, fundamental para determinar quão boa foi a classificação em relação à realidade. Logo, considerando as múltiplas informações registradas, que são fundamentais para a avaliação ambiental, torna-se possível observar o universo de transformação do ambiente – como por exemplo, as áreas de menor ou maior ações antrópicas –, bem como também é possível criar propostas de uso sustentável.

#### 2.4. Pressão antrópica aplicada ao zoneamento

A avaliação ambiental permite observar as ações antrópicas no ambiente, considerando as múltiplas manifestações de uso da terra. Com base nisso, a avaliação ambiental contribui tanto no controle, quanto na recuperação, preservação e conservação do ambiente (SÁNCHEZ, 2013). Assim, o processo de avaliação de recursos naturais tem a função de detectar e de classificar as pressões no sistema ambiental, baseado nos índices ambientais, buscando, dessa forma, compreender as inter-relações do ambiente.

Para Ramos (1997 *apud* ORTEGA, 2011, p. 29), “[...] os índices são projetados para simplificar a informação sobre fenômenos complexos”. Sob esta perspectiva, os índices ambientais buscam inserir, em seus levantamentos, os aspectos quanti-qualitativos, garantindo que sejam entendidos a estrutura, os processos e os resultados das pressões antrópicas (CUNHA; GUERRA, 2000; ORTEGA, 2011). Na prática, os índices são, geralmente, modelos interativos entre a ação proposta e o meio natural, visando estabelecer as diretrizes de avaliação ambiental (SANCHEZ, 2013).

Ortega (2011) sublinha que, no levantamento das transformações antrópicas com base nos índices ambientais, deve-se atentar a três princípios, quais sejam: estado, pressão e resposta. Esses princípios têm por finalidade avaliar as pressões no ambiente e também fornecer subsídios para correção e mitigação das alterações ambientais, especialmente, o princípio de pressão que faz a estimativa da ação antrópica no sistema ambiental (CUNHA; GUERRA, 2000). Em geral, a ação de avaliar o ambiente permite conhecer, no espaço-tempo, os padrões e formas de alterações em relação às múltiplas acepções de pressão.

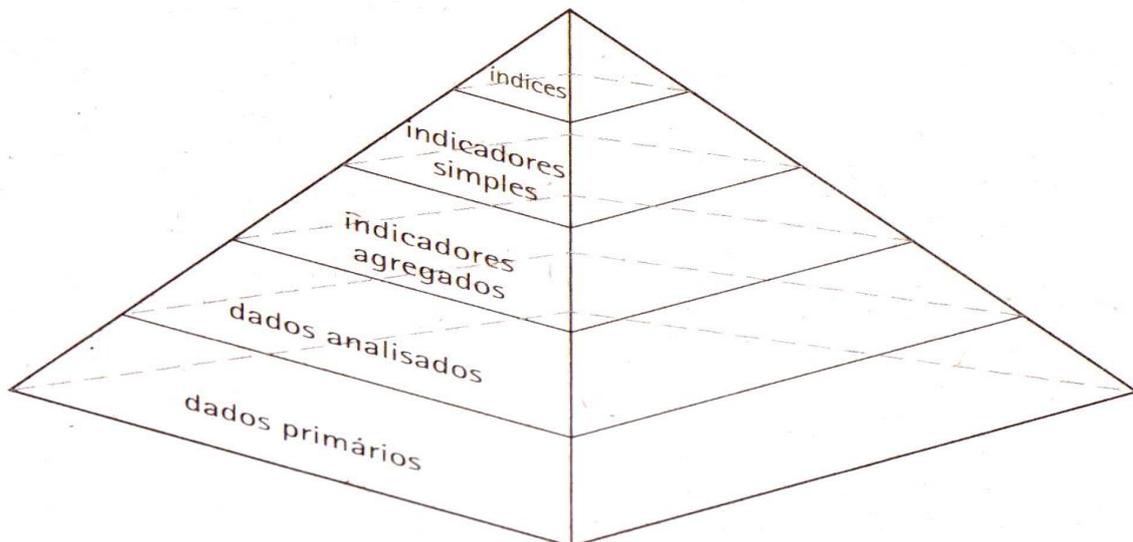
Sob esse contexto, as alterações no meio natural são responsáveis pela fragmentação do sistema ambiental em suas múltiplas manifestações. Na perspectiva de Almeida e Vieira (2019), para se acompanhar as diversas acepções de pressão antrópica são necessárias pesquisas que identifiquem e mensurem os níveis de mudanças do quadro socioambiental, por meio dos quais se avaliam os aspectos das transformações antrópicas sobre algum componente do sistema ambiental, quer na cobertura natural, quer nos recursos hídricos, por exemplo (SANTOS; NUNES; SANTOS, 2018).

Ortega (2011) destaca que o diagnóstico do sistema ambiental, com base nas alterações antrópicas, pode fornecer a magnitude ou grau de pressão antrópica, seja nos aspectos positivos, seja nos negativos, de modo a permitir a avaliação ambiental. O conhecimento da pressão antrópica, em geral, refere-se à atuação humana sobre o ambiente, reproduzindo as suas causas

e implicações, tanto em relação a sua estrutura quanto a sua dinâmica, materializada no sistema ambiental (RIBEIRO; GALVANIN; PAIVA, 2017).

A fim de que seja possível a representação da transformação antrópica no ambiente, é preciso proceder a uma investigação da dinâmica ambiental, considerando o problema de forma global e integrada, o que permite um diagnóstico e um prognóstico sobre determinado espaço, seja no passado, no presente ou para simular um cenário futuro (DASSOLLER; MIRANDA; NEVES, 2018). Cunha e Guerra (2000) chamam a atenção para o fato de que, no levantamento do diagnóstico e prognóstico, faz-se necessária a avaliação das várias formas de pressão antrópica, viabilizando, assim, uma pirâmide de informação (Figura 9) para se chegar na tomada de decisão e, por conseguinte, ter a melhor forma de uso dos recursos naturais.

**Figura 9:** Pirâmide da informação.



**Fonte:** Santos (2004).

A avaliação da pressão antrópica, apesar de fornecer uma análise da transformação ambiental, em nenhum momento substitui uma aplicação precisa de planejamento, que seja voltado para o zoneamento. Segundo Santos (2004, p. 133), o zoneamento representa uma fase do planejamento ambiental. A autora afirma que “[...] o zoneamento define espaços, segundo critérios de agrupamentos pré-estabelecidos, enquanto o planejamento estabelece diretrizes e metas a serem alcançados dentro de um cenário [...]”.

Considerando esse cenário, o zoneamento é a compartimentação de uma área em porções territoriais, de acordo, por exemplo, com suas potencialidades, vocações, fragilidades e sustentabilidades (SANTOS, 2004). Também, segundo Ab’Saber (1987), o zoneamento deve

estabelecer as estratégias necessárias de cada porção territorial, fazendo do zoneamento um instrumento básico na organização do território.

Para Silva e Santos (2004), o zoneamento, em geral, fornece uma orientação descentralizada, que se volta ao controle, tanto do sistema ambiental como do sistema humano, de maneira a selecionar espacialmente as áreas prioritárias na recuperação, conservação e preservação ambiental. Dessa forma, o zoneamento representa um caminho para se ordenar, classificar e integrar as áreas de maior pressão, obtidas por meio da avaliação ambiental dos atributos que fazem sua dinâmica de integração (EGLER *et al.*, 2003; SILVA; SANTOS, 2004). Para tanto, segundo Rosa (1996), é necessário conhecer as bases que determinarão a organização de todas as porções territoriais, fazendo uso de uma análise das similaridades dos atributos que compõem um território e o determinando, quando for o caso, inclusive reposicionando os atributos espaciais que não apresentam similaridades aos demais componentes.

Por sua vez, as porções territoriais do zoneamento, chamadas de zonas, devem atribuir normas específicas, visando ao controle dos múltiplos usos da terra, de modo a possibilitar a organização do sistema ambiental (EGLER *et al.*, 2003). Ao seguir esse contexto, Santos (2004, p. 133) afirma que “[...] o zoneamento deve definir as atividades que podem ser desenvolvidas em cada compartimento e, assim, orientar a forma de uso, eliminando conflitos entre tipos incompatíveis de atividades [...]”. Ainda, de acordo com essa autora, as zonas são entendidas como porções territoriais para administração do espaço, segundo o tipo de zoneamento aplicado, seja aquele previsto na legislação ou o não previsto nesta (Quadro 1).

**Quadro 1:** Alguns tipos de zoneamento existentes no Brasil.

Previsto na legislação brasileira	Não previsto na legislação brasileira
Urbano	Geoambiental*
Industrial	Ecológico*
Ruído	Agrícola
Estatuto da Terra	Agropedoclimático
Agroecológico	Climático
Unidades de Conservação (Lei SNUC)*	Edofoclimático por cultura agrícola
Ecológico-econômico (ZEE)*	Locação de empreendimentos
Uso e atividades (GERCO)	
Ambiental*	

(\*) Zoneamentos comumente utilizados em planejamento ambiental.

**Fonte:** Silva; Santos (2004).

Uma outra questão a ser considerada no zoneamento está relacionada à integração do enfoque analítico e sistêmico como parte dos objetivos. Segundo Rosa (1996, p. 364), “o

modelo de zoneamento para ordenação de um território depende dos objetivos e do tipo de indicadores e interações utilizadas na análise”. É também necessário estabelecer a forma de apresentar os dados das zonas, que pode ser em índice, matriz ou, principalmente, mapeamento temático, fornecendo, desse modo, a melhor maneira de representação dos dados (SANTOS, 2004). Logo, a proposta de zoneamento caracteriza-se, nesse sentido, como instrumento de integração da inter-relação dos sistemas no território.

Portanto, a inter-relação do sistema ambiental e humano é organizada, essencialmente, pelo potencial e pelos limites que o ambiente manifesta (SANTOS, 2004), os quais resultam nos tipos de exploração dos componentes ambientais, sendo, de certa forma, degradantes. As interações dos sistemas se configuram, assim, como fundamentais para se decifrar as relações dinâmicas da natureza e sociedade, viabilizando a reorganização das trocas de matéria e energia entre os sistemas (DREW, 1998).

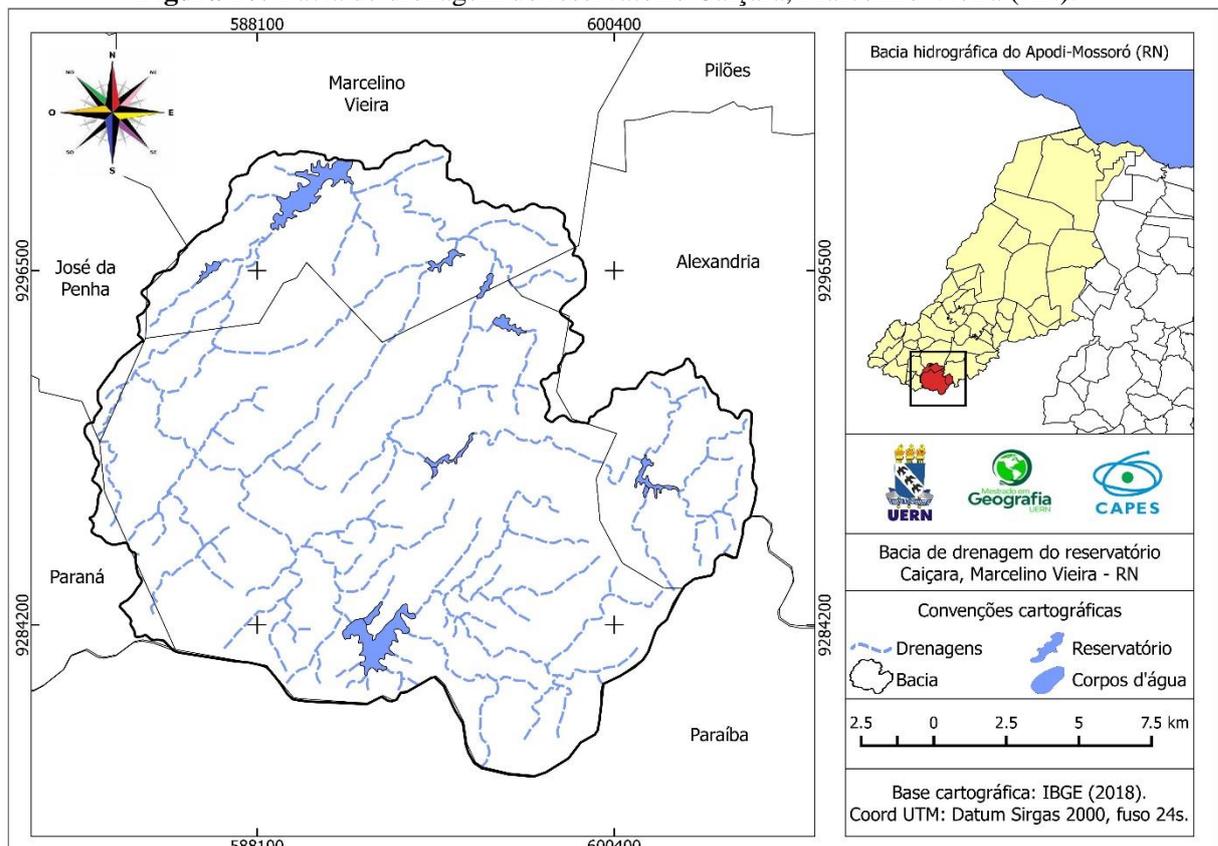
### 3. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A presente pesquisa foi desenvolvida em um reservatório público no setor sul da macrorregião Oeste Potiguar (RN), especificamente no município de Marcelino Vieira. Os tópicos constantes nesta seção tiveram como objetivo primordial caracterizar a bacia de drenagem do reservatório Caiçara, bem como seu entorno, visando apresentar a dinâmica da área de estudo.

#### 3.1. Descrição da bacia de drenagem do reservatório Caiçara

A bacia de drenagem do reservatório Caiçara (Figura 10), em Marcelino Vieira, encontra-se situada na macrorregião Oeste Potiguar (RN), entre as coordenadas planas 581475 S / 9301687 W e 606031 S / 9278465 W. Sua extensão é de 32.384,64 hectares, envolvendo os municípios de Tenente Ananias (22.241,75ha), Alexandria (3.595,48ha), Marcelino Vieira (5.949,47ha), Paraná (375,43ha) e José da Penha (222,51ha), o que representa 6% do alto e médio curso superior do rio Apodi-Mossoró (CARVALHO; KELTING; SILVA, 2011).

**Figura 10:** Bacia de drenagem do reservatório Caiçara, Marcelino Vieira (RN).

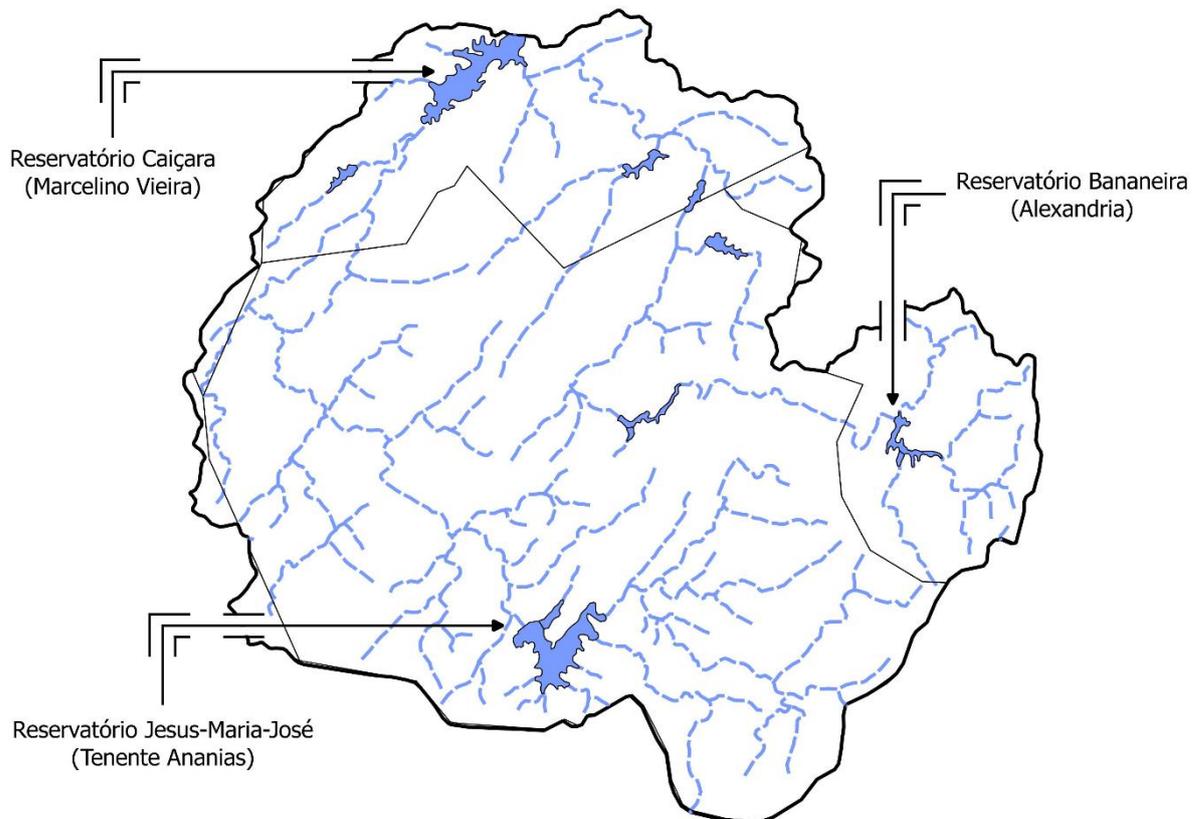


Fonte: IBGE (2018). Elaborado pelo autor (2019).

A bacia tem suas nascentes em altitudes superiores a 450m, entre o sítio Cajazeiras, município de Tenente Ananias, e o sítio Tatu, município de Alexandria. Possui como principais canais Riacho Albuquerque e Barro Preto (SUDENE, 1965), com regime intermitente, efêmero e padrão de drenagem com formas dendrítica, paralela e retangular, que se desenvolve no sentido Leste-Oeste. A hierarquia fluvial é constituída por um conjunto inter-relacionados de canais, com ramificações de primeira à quarta ordem.

Na configuração dos cursos de água, encontram-se barramentos transversais de reservatórios artificiais, especialmente de pequena extensão e de baixa capacidade hídrica e, em menor proporção, corpos hídricos de média extensão e capacidade. Há, também, outras reservas hídricas da bacia (Figura 11), tais como os açudes públicos de Bananeira, no município de Alexandria, e o açude Jesus-Maria-José, em Tenente Ananias (IDEMA, 2008; SEMARH, 2019); esses reservatórios visam garantir o abastecimento animal e humano, especialmente para as áreas urbanas dos municípios em que estão localizados.

**Figura 11:** Reservatórios públicos na bacia de drenagem.



**Fonte:** Elaborado pelo autor (2020).

O Instituto de Gestão das Águas do Rio Grande do Norte (IGARN), juntamente com a Secretaria do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos (SEMARH), são os responsáveis pela

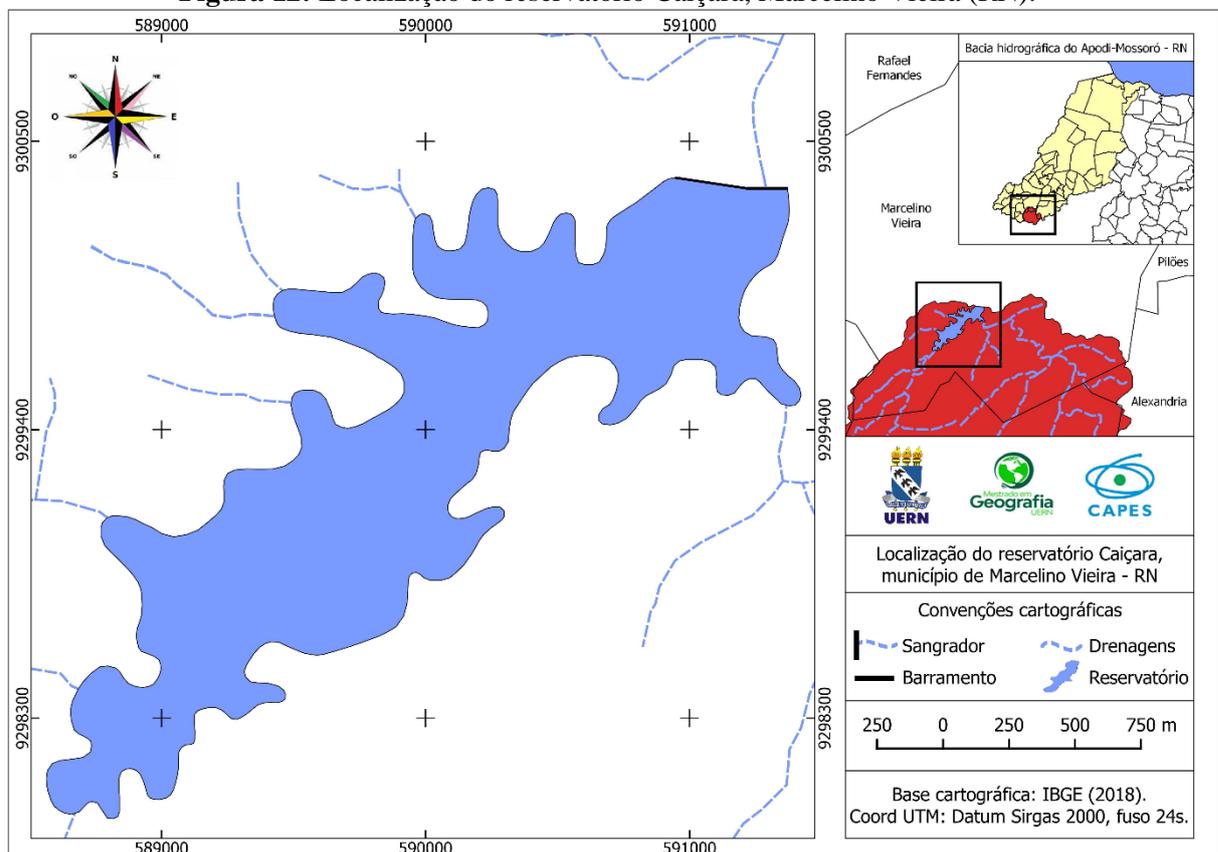
gestão e gerenciamento das reservas estaduais, incluindo as de Tenente Ananias e de Marcelino Vieira (IGARN, 2019; SEMARH, 2019); ao passo que a de Alexandria é administrada pelo Serviço Autônomo de Água e Esgoto (SAAE) do município (ALEXANDRIA, 2019).

Por outro lado, as reservas de pequeno porte, conhecidas popularmente como “barreiros d’água” são destinadas à dessedentação animal e à irrigação de culturas temporárias extensivas. Esses barramentos transversais foram construídos sem que houvesse planejamento técnico e estrutural e, também, sem autorização legal; ademais, possuem capacidade volumétrica desconhecida, estrutura frágil, de terra compactada, e também não há conhecimento acerca das dimensões das reservas.

### 3.2. Descrição do reservatório Caiçara

O reservatório Caiçara (Figura 12), localizado na zona rural do município, iniciou sua operação em 1981 (SEMARH, 2019). A reserva é formada pelo represamento transversal dos riachos Albuquerque e Barro Preto, que, conforme supramencionado, são canais de regime intermitente e efêmero, com padrão de drenagem distintos na forma e na densidade.

**Figura 12:** Localização do reservatório Caiçara, Marcelino Vieira (RN).



Fonte: IBGE (2018). Elaborado pelo autor (2019).

Essa reserva hídrica foi construída em um convênio entre o Departamento Nacional de Obras Contra as Secas (DNOCS) e a Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE), em ação conjunta do Programa Recursos Hídricos, promovido pelo Governo Federal (DNOCS, 2019). As características técnicas e hidráulicas (Quadro 2) estão relacionadas à sua finalidade assim como ao seu objetivo de uso, ou seja, essencialmente para o abastecimento humano. Porém, é também utilizada para dessedentação animal, agricultura temporária extensiva e, em menor proporção, para a pesca artesanal familiar e recreação.

**Quadro 2:** Característica hidráulica do reservatório Caiçara.

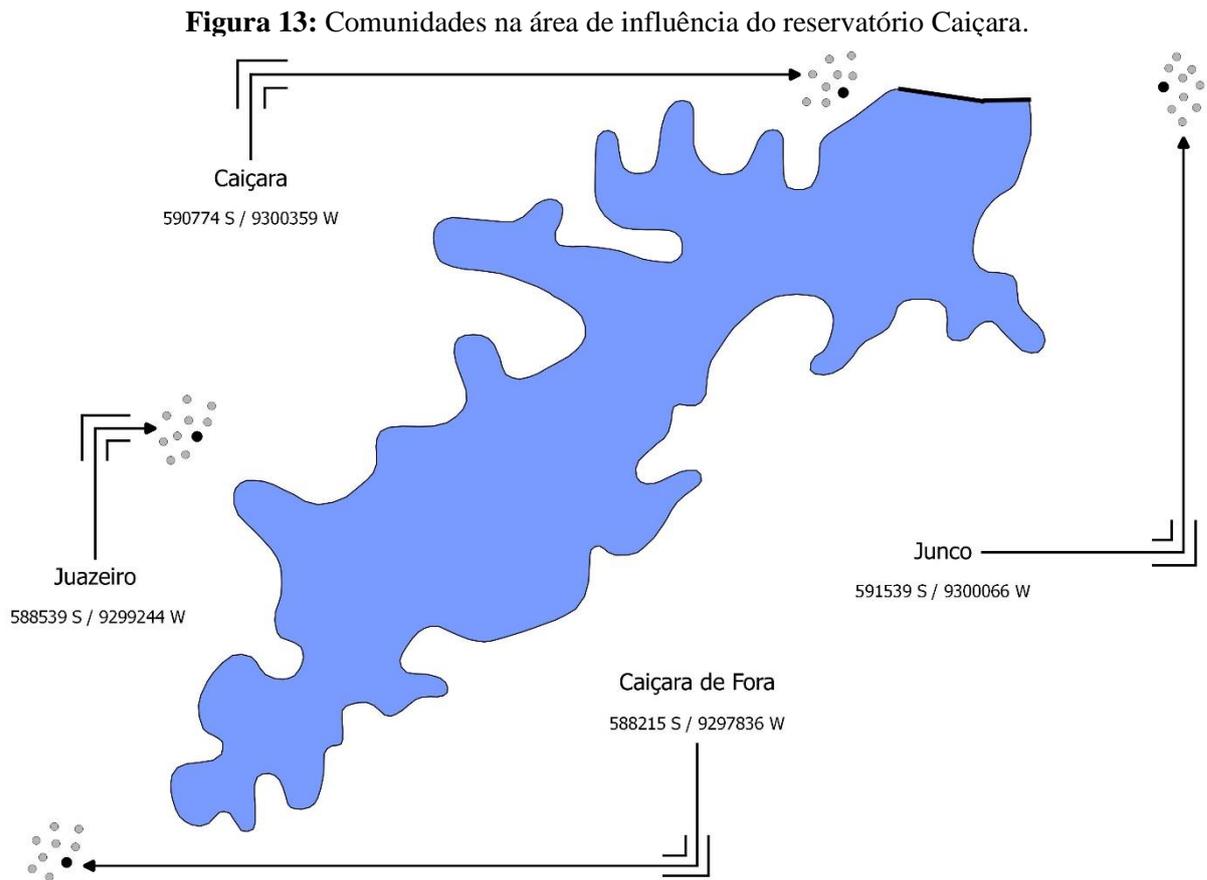
<b>Bacia hidráulica</b>	
Capacidade máxima (m <sup>3</sup> )	11.200.125,00
Volume morto (m <sup>3</sup> )	1.086.625,00
<b>Barragem principal</b>	
Tipo	Terra compactada
Altura máxima (m)	12.6
Extensão do coroamento (m)	360
Largura do coroamento (m)	5
<b>Tomada d'água</b>	
Tipo	Galeria tubular s/ Torre comando
Comprimento (m)	53
Descarga (m <sup>3</sup> /s)	0.2
<b>Sangrador</b>	
Tipo	Perfil CREAGER
Descarga (m <sup>3</sup> /s)	475
Cota de soleira (m)	0.2
Lâmina máxima (m)	2
Volume de corte (m <sup>3</sup> )	8.515,8

**Fonte:** SEMARH (2019). Elaborado pelo autor (2019).

O barramento encontra-se acima do leito do canal fluvial, apresentando à Leste encostas fortemente onduladas e, à Oeste, suavemente onduladas, o que representou condições favoráveis na construção. O tempo de enchimento é caracterizado pela transferência hídrica das reservas – de pequeno e médio porte – do sistema em cascata a jusante; já o tempo de transbordamento hidráulico é maior do que 365 dias (DNOCS, 2019), fator que causa alterações nas condições físicas, químicas e biológicas dos recursos hídricos.

A captação de água, feita por bombeamento em superfície, é executada pela Companhia de Águas e Esgotos do Rio Grande do Norte (CAERN), que realiza o processo de monitoramento, tratamento e distribuição por tubulação em Marcelino Vieira, bem como a transposição para o município de Pilões, feita via adutora de engate rápido (CAERN, 2019). A capacidade atual do reservatório alcança 78,19% do volume útil, o que representa 8.757.300,00m<sup>3</sup> da capacidade total de armazenamento, referente ao período de 17 de julho de 2020.

Sobre às comunidades localizadas no entorno da reserva (Figura 13), à montante foram identificadas Caiçara, Juazeiro, Caiçara de Fora, e, à jusante, Junco. Elas são abastecidas por bombeamento d'água bruta do reservatório, exceto o sítio Caiçara que, em razão da proximidade com a Estação de Tratamento de Água (ETA) do município, é abastecido pela rede de distribuição.



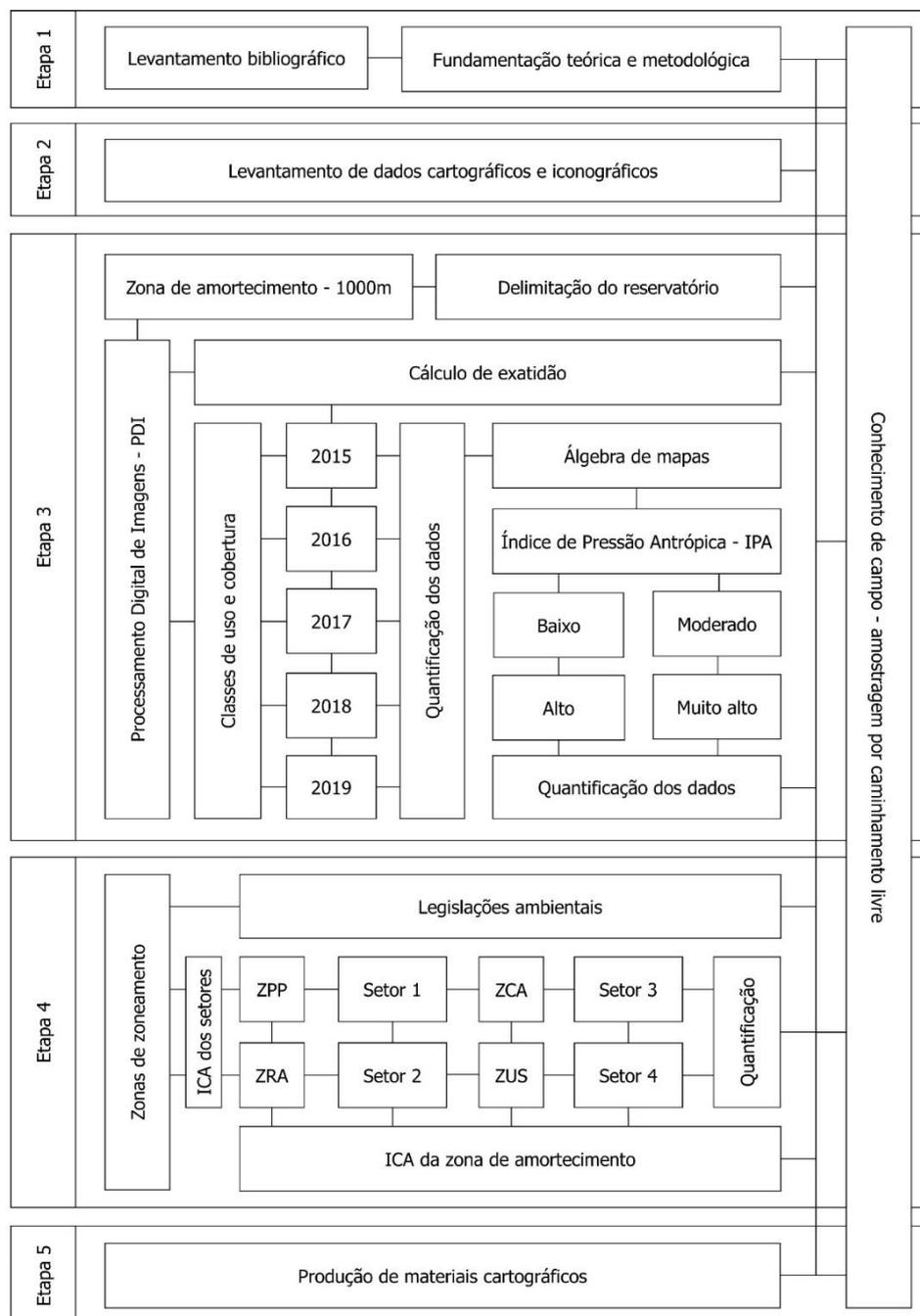
**Fonte:** Elaborado pelo autor (2020).

Essas comunidades se caracterizam por pequenos espaços rurais, nos quais se pratica a agricultura familiar de cultivo temporário – como por exemplo, de feijão, milho, cana-de-açúcar – aliada à bovinocultura e à caprinocultura extensivas de leite e de corte e, em menor proporção, à suinocultura, principalmente de corte.

#### 4. MATERIAIS E MÉTODOS

As etapas da pesquisa podem ser melhor visualizadas na estrutura do fluxograma metodológico (Figura 14), a seguir. Os tópicos apresentados nesta seção serão discutidos no intuito de esclarecer e justificar as etapas de desenvolvimento da pesquisa, bem como trazer os processos de execuções cartográficas e de conhecimento de campo.

**Figura 14:** Fluxograma metodológico da pesquisa.



**Fonte:** Elaborado pelo autor (2019).

#### 4.1. Levantamento bibliográfico e metodológico

Para o estudo, realizou-se um levantamento bibliográfico que consiste em pesquisas documentais, com vista à localização de materiais científicos que abordam os estudos ambientais utilizados na temática analisada. O procedimento metodológico caracteriza-se por ser quali-quantitativo, apoiado na adaptação da metodologia do Índice de Pressão Antrópica (SANTOS; GOMIDE, 2015) e do zoneamento (LIMA, 2012), aliado ao cálculo do Índice de Comprometimento Ambiental (MATTAR NETO; KRÜGER; DZIEDZIC, 2009).

#### 4.2. Aquisição de dados espaciais

Para o levantamento cartográfico, consultou-se a base cartográfica de materiais pré-existente, referente aos limites das regiões político-administrativa, como também os limites dos recursos hídricos, de modo que foram considerados os dados *online* do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), na escala de 1: 500.000 e da CPRM (Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais), com escala de 1: 100.000, os dois publicados no sistema de coordenadas planas, *Datum* SIRGAS 2000 UTM, disponibilizados em arquivo *shapefile*\*. Procedeu-se, ainda, ao levantamento dos materiais iconográficos, que foram obtidos de forma *online* na USGS (*United States Geological Survey*) e ESA (*European Space Agency*), com arquivo *matricial*\*, sob formato *TIFF* e *JP2*, respectivamente.

As imagens são do LANDSAT 5, sensor TM (*Thematic Mapper*), que operou entre 01 de fevereiro de 1984 a 22 de novembro de 2011, na órbita quase polar e heliossíncrona, a uma inclinação de 98,20 graus, com altitude de 917km e 16 dias de período de revisita (Quadro 3), com horário de passagem de 9h/11h. Esse sensor é caracterizado por um conjunto integrado de subsistema, o qual permite a captura e o imageamento do terreno com fidelidade geométrica dos alvos imageados, somado a seu subsistema de calibração, de modo que permite a observação em baixa resolução da superfície (NOVO, 2010; PARANHOS FILHO *et al.*, 2016).

**Quadro 3:** Características das imagens utilizadas do satélite LANDSAT 5.

Sensor/Satélite					
TM ( <i>Thematic Mapper</i> ) / LANDSAT 5					
Bandas Espectrais	Resolução				Área imageada
	Espectral	Espacial	Radiométrica	Temporal	
B2 Azul	0,45 – 0,52 $\mu\text{m}$	30 m	8 bits	16 dias	185 Km
B3 Verde	0,50 – 0,60 $\mu\text{m}$				
B4 Vermelho	0,63 – 0,69 $\mu\text{m}$				

**Fonte:** USGS (2019). Adaptado pelo autor (2019).

O Sistema MSI (*Multispectral Instrument*), constelação de satélite A e B do SENTINEL 2, foi lançado em 24 de julho de 2015 e 07 de março de 2017. Esse instrumento inclui órbita quase polar, heliossíncrona, inclinação 98,62 graus, com período de revisita de 5 dias e altitude de 786km (Quadro 4), com horário de passagem de 10h/11h. O sensor foi capaz de ampliar o serviço de monitoramento da superfície terrestre, aliado à avaliação de parâmetros biogeofísicos, e, com isso, oferece versatilidade e eficiência na detecção dos alvos imageados. O sensor MSI é característico por trabalhar coletando passivamente a energia solar a partir de dois conjuntos de plano focal (ESA, 2015; LACROIX *et al.*, 2018).

**Quadro 4:** Características das imagens utilizadas do satélite SENTINEL 2.

Sensor/Satélite					
MSI ( <i>Multispectral Instrument</i> ) / SENTINEL 2 A/B					
Bandas Espectrais	Resolução				Área imageada
	Espectral	Espacial	Radiométrica	Temporal	
B2 Azul	66 nm	10 m	12 bits	5 dias	290 Km
B3 Verde	36 nm				
B4 Vermelho	31 nm				
B8 Infravermelho	106 nm				

Fonte: ESA, 2019. Adaptado pelo autor (2019).

Os dados espaciais – tanto *shapefile*\* quanto *matricial*\* – foram organizados em um Banco de Dados Geográfico (BDG) no *software* Qgis®, versão 3.4 Madeira, com reprojeção no sistema de coordenadas planas UTM (Universal Transversa de Mercator), *Datum* SIRGAS 2000 (Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas – 2000), meridiano central 39, fuso 24, hemisfério Sul. O BDG foi empregado no tratamento das informações espaciais em ambiente SIG, segundo os procedimentos metodológicos da pesquisa.

#### 4.3. Classificação do Índice de Pressão Antrópica (IPA)

Inicialmente, foram executadas nas imagens do sensor TM (LADNSAT 5) e MSI (SENTINEL 2) as técnicas de Processamento Digital de Imagens (PDI), considerando o conjunto de tarefas necessárias no tratamento das equações matemáticas computacionais, respeitando-se as orientações de cada sensor. Posteriormente, realizou-se a delimitação da bacia hidráulica do reservatório, com base nas imagens espectrais do sensor TM<sup>2</sup>, referente ao ano de 2008 (13/maio). Logo após, aplicou-se na ferramenta *buffer* um *offset* de 1000m a partir da

<sup>2</sup> A utilização das bandas espectrais do sensor TM, satélite Landsat 5, deve-se à necessidade de vetorização do reservatório no último período de transbordamento.

bacia hidráulica, de modo que se obteve a delimitação da zona de amortecimento, utilizada no recorte da área pesquisada nas imagens espectrais do sensor MSI.

Dessa forma, na identificação do uso e cobertura da terra, foram utilizadas as imagens do sensor MSI, com base nos anos de 2015 (26/dez.), 2016 (30/dez.), 2017 (07/dez.), 2018 (27/dez.) e 2019 (16/dez.). No processo de classificação, empregou-se o método de classificação supervisionada “automática”, utilizando o algoritmo Máxima Verossimilhança (Equação 1), que calcula as distâncias e as probabilidades para as classes espectrais, por meio do Teorema de Baye’s (RICHARDS; JIA, 2006), e, ainda, assume as formas e padrões de modelos normais multivariados, permitindo o cálculo da matriz de covariância (JENSEN, 2011).

(Eq. 1)

$$gk(x) = \ln p(C_k) - \frac{1}{2} \ln |\Sigma_c| - \frac{1}{2} (x - y_k) t \Sigma_k^{-1} (x - y_k)$$

Em que,

- $C_k$  = Classe de cobertura da terra k;
- $x$  = Assinatura espectral vetorial;
- $P(C_k)$  = Probabilidade da classe correta ser  $C_k$ ;
- $|\Sigma_c|$  = Determinante da matriz de covariância dos dados na classe  $C_k$ ;
- $\Sigma_k^{-1}$  = Inverso da matriz de covariância;
- $Y_k$  = Assinatura espectral vetorial da classe.

A fim de auxiliar no arquivo de treinamento das classes temáticas, optou-se por usar a chave de interpretação de Novo (2010), Jensen (2011) e Florenzano (2013), bem como a determinação das classes que foram mapeadas, utilizando o nível II (subclasses) do sistema de classes do Manual Técnico de Uso da Terra (IBGE, 2013). Desta forma, foram facilitadas a vetorização e a classificação das classes de uso e cobertura da terra, a saber: Culturas temporárias, Área Florestal, Área Campestre, Águas Continentais, Área Descoberta e Nuvem<sup>3</sup>.

Assim, com as imagens espectrais classificadas, empregou-se a validação por estatística dos índices Exatidão Global (HELLDEN; STERN, 1980), Kappa (COHEN, 1960) e

---

<sup>3</sup> Efeitos atmosféricos registrados na passagem do satélite, e, no caso registrou-se menos de 3% de nebulosidade nas imagens espectrais.

Tau (KLECKA, 1980); logo, foi possível determinar a exatidão da classificação em relação à realidade, tanto virtual como terrestre. O desempenho global da matriz de confusão do índice Kappa foi comparado aos valores de Landis e Koch (1977) e de Congalton e Green (1999). Os coeficientes podem ser calculados conforme as três equações não computacionais apresentadas a seguir:

(Eq. 2)

$$G = \frac{\sum_{i=1}^m n_{ii}}{n}$$

Sendo,

- $G$  = Coeficiente de Exatidão Global;
- $m$  = Número de categorias informacionais na matriz de erros;
- $n_{ii}$  = Elementos da diagonal principal;  $n$  = Número total de amostras.

(Eq. 3)

$$K = \frac{P_o - P_c}{1 - P_c}$$

Em que,

- $K$  = Coeficiente Kappa;
- $P_o$  = Precisão geral;
- $P_c$  = Proporção de unidades que concordam por casualidade.

(Eq. 4)

$$T = 1/m \frac{P_o - P_r}{1 - P_r}$$

Em que,

- $T$  = Coeficiente Tau;

- $1/m$  = Número de classes;
- $P_O$  = Precisão geral;
- $P_r$  = Concordância esperada.

Após, foram adaptados os pesos do Índice de Pressão Antrópica (IPA), de acordo com a variabilidade ambiental das classificações multitemporais de uso e cobertura da terra. Para essa adaptação, utilizou-se a análise de multicritérios, considerando as características de impacto de cada classe, as quais estão relacionadas à sua distribuição espacial, como também à sua contribuição na alteração da paisagem, por exemplo. Em seguida, aplicou-se a matemática de média ponderada, gerando o valor real de cada classe temática, quanto maior o valor, mais alterada se apresenta a paisagem. Os valores dos pesos, foram distribuídos em: 10 = Cultura Temporária; 1 = Área Florestal; 5 = Área Campestre; 5 = Água Continental; 10 = Área Descoberta; 1 = Nuvem.

Posteriormente, empregou-se o IPA, visando avaliar as alterações na paisagem. Esse índice, segundo Santos e Gomide (2015), configura uma alternativa para quantificar a pressão antrópica no ambiente, o que permite conhecer o grau de antropização específico. Na determinação desse índice, aplicou-se o cálculo de álgebra de mapas, com base nas classificações multitemporais e em seus respectivos pesos, produzindo o mapa síntese, em formato matricial. Após, foi determinada a nomenclatura do índice, considerando os valores de *Natural Breaks* de Jenks (1977) para 4 parâmetros, que são: baixo (1-2,5); moderado (2,5-5); alto (5-7,5); e muito alto (7,5-10). Esse método de quebra, foi desenvolvido por Jenks (1977), a fim de estabelecer um novo método para ajustar os limites não normais e não uniformes. O índice é calculado segundo a equação 5 para fins computacionais:

(Eq. 5)

$$IPA = \sum (C_I * P_C + C_I * P_C) / N_C$$

Sendo,

- $IPA$  = Índice de Pressão Antrópica;
- $C_I$  = Classe identificada;
- $P_C$  = Peso da classe;
- $N_C$  = Número de classificação.

#### 4.4. Elaboração do zoneamento

O mapeamento fundamenta-se na delimitação de zonas, elaboradas a partir de agrupamentos de áreas, respeitando a configuração espacial do ambiente. O zoneamento, segundo Santos (2004), caracteriza-se, normalmente, como instrumento de integração entre o potencial de uso e pelos limites que o ambiente manifesta. Com isso, as feições cartográficas foram processadas com base nas classes multitemporal do uso e cobertura da terra e na técnica de análise múltipla e integradora, utilizando-se quadro zonas na elaboração do zoneamento (Quadro 5).

**Quadro 5:** Processo de delimitação das zonas de zoneamento.

Zonas	Sigla	Abrangência		Critérios
		ha	%	
Preservação Permanente	ZPP	ha	%	Área caracterizada, por terrenos de preservação permanente, que abarcam APP's no entorno do reservatório, de encostas superiores a 45° graus e de canais fluviais perenes ou intermitentes.
		266,71	21,29	
Conservação Ambiental	ZCA	ha	%	Área definida, na zona de amortecimento, pelos remanescentes de cobertura vegetal parcialmente preservada no sopé da serra do Panati e outras áreas nas proximidades.
		254,62	20,32	
Recuperação Ambiental	ZRA	ha	%	Área determinada por toda incongruência no uso da cobertura vegetal, onde prevalecem coberturas inalteradas ou em processo de regeneração. Somando a isso, têm-se área de pastagem nativa, além de cultura temporária.
		454,14	36,26	
Uso Sustentável	ZUS	ha	%	Área caracterizada com máxima incongruência dos usos múltiplos da terra, sobretudo o plantio de cultura temporária, de pastagem nativa não melhorada e de solo exposto. Além disso, apresentam adensamento desorganizado em expansão.
		277,31	22,13	

**Fonte:** Elaborado pelo autor (2020).

Após, utilizaram-se as zonas no recorte do Índice Pressão Antrópica (IPA), visando avaliar o nível de alteração em cada zona. Com base no recorte das zonas, calcula-se o ICA de cada uma e, em seguida, calcula-se o ICA médio da zona de amortecimento viabilizando, portanto, conhecer o grau de comprometimento ambiental. De acordo com Mattar Neto, Krüger e Dziedzic (2009), respectivo índice busca uma forma simples de mensurar o possível comprometimento, usando informação de modificação do ambiente.

Com isso, no cálculo das zonas, foram levados em consideração os níveis de pressão antrópica e, também, a quantificação de área, a fim de obter o ICA de cada zona, conhecido também por setor. Tal cálculo se dá pela equação 6:

(Eq. 6)

$$ICA_{setor} = \frac{\frac{Q_s}{A_s}}{\frac{Q_r}{A_r}}$$

Em que,

- $Q_s$  = Quantidade de degradação do setor;
- $A_s$  = Área do setor;
- $Q_r$  = Quantidade de degradação da região;
- $A_r$  = Área da região.

Logo depois, obteve-se o cálculo da zona de amortecimento, igualmente chamado de região, envolvendo o ICA de cada zona com seu respectivo potencial de degradação da região, que foi calculado por meio da matriz de valoração de Mudge; com isso, pode-se atribuir e calcular os valores da zona de amortecimento empregando a equação 7:

(Eq. 7)

$$ICA_{setor} = \sum_{i=1}^n ICA_{médio} * W_i$$

Sendo,

- $ICA_{médio}$  = ICA médio da região;
- $W_i$  = Potencial de degradação.

Após o cálculo da zona de amortecimento, obtém-se o ajuste do índice no intervalo de 0 (zero) a 1 (um), os quais representam, respectivamente, o menor e o maior comprometimento ambiental. Para conhecer a intensidade de comprometimento, utiliza-se a escala da metodologia. O ajuste é obtido por meio da equação 8:

(Eq. 8)

$$ICA_{região} = \frac{ICA_{geral} - ICA_{min}}{ICA_{máx} - ICA_{min}}$$

Na qual,

- $ICA_{região}$  = ICA da região;
- $ICA_{min}$  = Menor ICA da região;
- $ICA_{máx}$  = Maior ICA da região.

#### 4.5. Produção do material cartográfico

Com a classificação multitemporal de uso e cobertura da terra, aliada à aplicação do Índice de Pressão Antrópica (IPA) e à marcação das zonas de zoneamento ambiental já realizada, foram confeccionados no *layout* do SIG os mapeamentos temáticos, os quais contêm elementos e informações cartográficas necessárias para a espacialização dos dados. O conjunto de dados espaciais foi construído na escala cartográfica de 1:33.000, publicado no mapeamento temático 1:19.000.

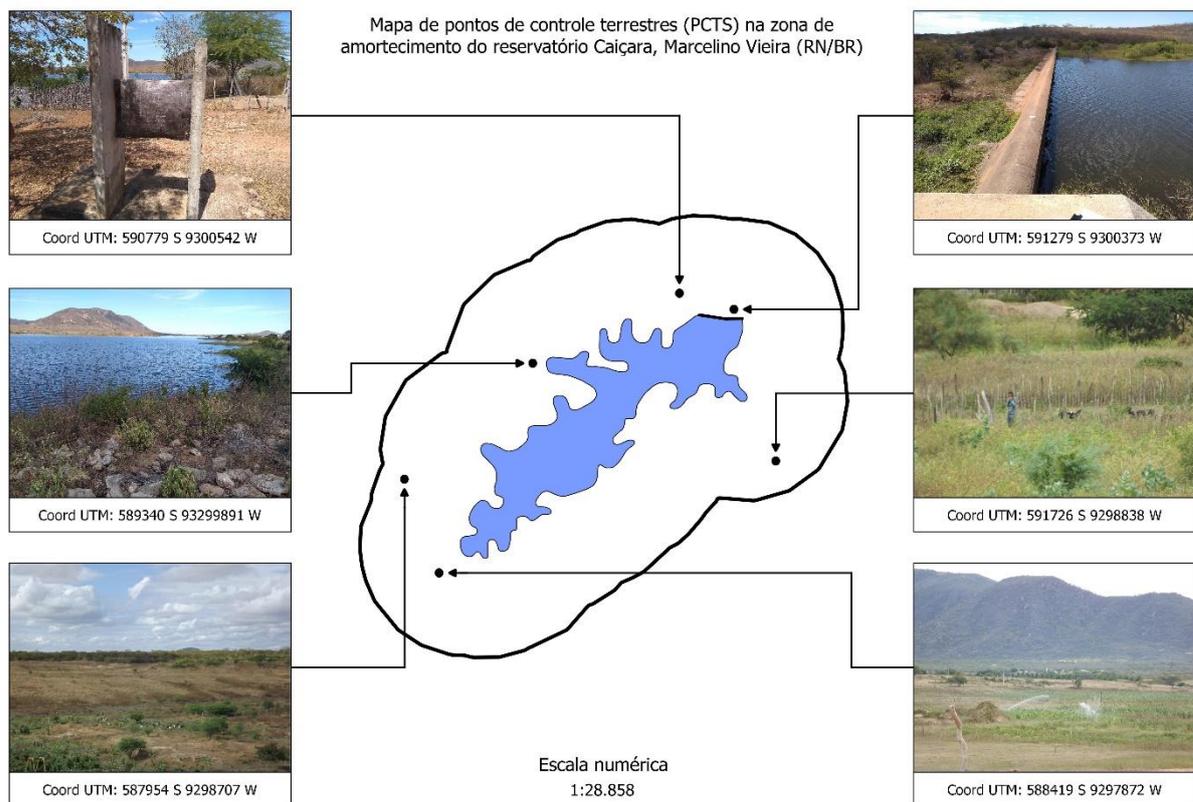
#### 4.6. Pesquisa de campo

Para proceder ao levantamento e reconhecimento de campo (Figura 15), optou-se por utilizar o método de amostragem por caminamento livre (CAVALCANTI, 2014), por meio do qual os pontos de observação e de marcação são interpretados pela variabilidade paisagística. Os trabalhos de campo se estruturam pelas várias etapas desenvolvidas na pesquisa. O início do campo foi realizado em julho de 2019, cujo objetivo era o reconhecimento da área pesquisada, além do aprofundamento inicial acerca das características naturais e antrópicas, em especial, o uso e cobertura da terra.

Em dezembro de 2019, foi realizada a segunda visita de campo. Oportunamente, foram observados na zona de amortecimento tanto as formas como os padrões geométricos de uso e cobertura da terra, além da confirmação sobre as classes processadas em SIG, por meio da coleta de Pontos de Controle Terrestres (PCTs) e fotografias, obtendo-se, dessa maneira, os materiais necessários para as comparações entre a realidade em campo e a virtual.

Posteriormente, em fevereiro de 2020, houve o campo que auxiliou no levantamento das atividades antrópicas nas zonas de zoneamento, permitindo-se, assim, a checagem dos dados cartográficos e, também, o auxílio nas informações delineadas. Após o trabalho de campo, foi possível realizar as verificações dos dados cartográficos executados, de modo a possibilitar os reajustes dos materiais temáticos e, portanto, viabilizar a análise dos dados, bem como a produção do texto.

**Figura 15:** Pontos de Controle Terrestres (PCTS) na zona de amortecimento do reservatório.



**Fonte:** Adaptado de Rocha (2011). Organizado pelo autor (2020).

## 5. REFERÊNCIAS

AB'SABER, A. N. **Zoneamento ecológico da Amazônia: questões de escala em método.** CEPAL/IPEA. Brasília: Mimeografado, 1987.

ALEXANDRIA. **Prefeitura municipal.** Disponível em: <https://www.alexandria.rn.gov.br/>. Acesso em: 02 de dez. 2019.

ALMEIDA, A. S.; VIEIRA, I. C. G. Transformações antrópicas da paisagem agrícola com palma de óleo no Pará. **Novos Cadernos NAEA.** Belém, v.22, n.2, p.9-22, 2019. Disponível em: <https://periodicos.ufpa.br/index.php/ncn/article/view/6535/5713>. Acesso em: 23 de mar. 2020.

BEZERRA JÚNIOR, A.; GUEDES, J. A. Caracterização e análise do uso e ocupação da terra no entorno do reservatório Santana, Rafael Fernandes/RN. **Revista Okara,** João Pessoa, v.10, n.3, p.517-530, 2016. Disponível em: [www.periodicos.ufpb.br/index.php/okara/article/download/28365/16852](http://www.periodicos.ufpb.br/index.php/okara/article/download/28365/16852). Acesso em: 26 de nov. 2019.

BRANCO, S. M. L.; ROCHA, A. A. **Poluição, proteção e usos múltiplos de represas.** São Paulo: Edgard Blucher, 1977.

BRASIL. Presidência da República – Casa Civil. **Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012 Código Florestal.** Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_Ato20112014/2012/Lei/L12651.ht](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato20112014/2012/Lei/L12651.ht). Acesso em: 27 de mar. 2020.

BRASIL. Presidência da República – Casa Civil. **Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997 (Lei da água) Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH).** Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/19433.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19433.htm). Acesso em: 03 de mar. 2020.

BUZAI, G. D.; BAXENDALE, C. A. Análisis socioespacial con sistemas de información geográfica marco conceptual basado em la teoria de la Geografía. **Revista Ciencias Espaciales.** Tegucigalpa, v.8, n.2, p.391-408, 2015. Disponível em: <https://www.lamjol.info/index.php/CE/article/view/2089>. Acesso em: 14 de mar. 2020.

CAERN. Companhia de Águas e Esgotos do Rio Grande do Norte. **Relatório da Qualidade da Água 2019.** Disponível em: <http://www.caern.rn.gov.br/Conteudo.asp?TRAN=ITEM&TARG=191033&ACT=&PAGE=0&PARAM=&LBL=>. Acesso em: 04 de dez. 2019.

CÂMARA, G.; MONTEIRO, A. M.; FUCKS, S. D.; CARVALHO, M. S. Análise espacial e geoprocessamento. In: DRUCK, S.; CARVALHO, M. S.; CÂMARA, G.; MONTEIRO, A. V. M (Org). **Análise espacial de dados geográficos.** Brasília: EMBRAPA, 2004. Cap.1, p.1-26.

CARVALHO, R. G.; KELTING, F. M. S.; SILVA, E. V. Indicadores socioeconômicos e gestão ambiental nos municípios da bacia hidrográficas do rio Apodi-Mossoró, RN. **Revista Sociedade & Natureza,** Uberlândia, v.23, n.1, p.143-159, 2011. Disponível em: <http://www.seer.ufu.br/index.php/sociedadennatureza/article/view/11259>. Acesso em: 10 de mai. 2019.

CAVALCANTI, L. C. S. **Cartografia de paisagens: fundamentos**. São Paulo: Oficina de Texto, 2014.

CHENG, K. S.; LEI, T. C. Reservoir trophic state evaluation Using Landsat TM imagens. **Journal of the American Water Resources Association**. Dallas, v.37, n.5, p.1321-1334, 2001. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1752-1688.2001.tb03642.x>. Acesso em: 22 de maio. 2020.

CHHABRA, A.; GEIST, H. J. Multiple impacts of land-use/cover change. In: LAMBIN, E. F.; GEIST, H. J. (Org). **Land-use and land-cover change**. Berlin: Springer, 2006. Cap.4, p.71-103.

CLARKE, K.C.; Advances in geographic information systems. **Computers, Environment and Urban Systems**. Amsterdã, v.10, n.3. p.175-184. 1986. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0198971586900062>. Acesso em: 14 de mar. 2020.

COHEN, J. A coefficient of agreement for nominal scales. **Educational and Psychological Measurement**, Durham, v.20, n.1, p.37-46, 1960. Disponível em: <https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1177/001316446002000104?journalCode=epma>. Acesso em: 29 de nov. 2019.

CONGALTON, R. G.; GREEN, K. **Assessing the accuracy of remotely sensed data: principles and practices**. New York: Lewis Publishers, 1999.

CPRM. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea. **Diagnóstico do município de Marcelino Vieira**. Recife: CPRM/PRODEEM, 2005. Disponível em: [http://rigeo.cprm.gov.br/xmlui/bitstream/handle/doc/17022/rel\\_marcelino\\_vieira.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://rigeo.cprm.gov.br/xmlui/bitstream/handle/doc/17022/rel_marcelino_vieira.pdf?sequence=1&isAllowed=y). Acesso em: 04 de dez. 2019.

CUNHA, S. B.; GUERRA, A. J. T. Degradação ambiental. In: CUNHA, S. B.; GUERRA, A. J. T. (Org). **Geomorfologia e meio ambiente**. 3. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2000. Cap.7, p.337-376.

DASSOLLER, T. F.; MIRANDA, M. R. S.; NEVES, S. M. A. S. Dinâmica espaço-temporal da paisagem de Mirassol d'Oeste/Mato Grosso, Brasil. **Revista Geosul**. Florianópolis, v.33, n.67, p.162-180, 2018. Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/geosul/article/view/2177-5230.2018v33n67p162>. Acesso em: 24 de mar. 2020.

DAVIS, C.; CÂMARA, G. Arquitetura de sistemas de informação geográfica. In: CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M. V. (Org). **Introdução a ciência da geoinformação**. São José dos Campos: INPE, 2001. Cap.3, p.42-76.

DNOCS. Departamento Nacional de Obras Contra as Secas. **Ficha técnica do açude de Marcelino Vieira**. Disponível em: [https://www.dnocs.gov.br/php/canais/recursos\\_hidricos/fic\\_tec\\_reservatorio.php?codigo\\_reservatorio=277&descricao\\_reservatorio=A%E7ude+Marcelino+Vieira](https://www.dnocs.gov.br/php/canais/recursos_hidricos/fic_tec_reservatorio.php?codigo_reservatorio=277&descricao_reservatorio=A%E7ude+Marcelino+Vieira). Acesso em: 28 de jun. 2019.

DREW, D. **Processos interativos homem-meio ambiente**. 4. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1998.

- DUQUE, Jose Guimarães. **Solo e água do polígono das secas**. Fortaleza: Banco do Nordeste, 2004.
- EGLER, C. A. G.; CRUZ, C. B. M.; MADSEN, P. F. H.; COSTA, S. M.; SILVA, E. A. S. Proposta de Zoneamento Ambiental da Baía de Guanabara. **Anuário do Instituto de Geociências-UFRJ**. Rio de Janeiro. v.26, n.1, p.127-138, 2003. Disponível em: [http://www.anuario.igeo.ufrj.br/anuario\\_2003/anuario\\_igeo\\_2003\\_claudio.pdf](http://www.anuario.igeo.ufrj.br/anuario_2003/anuario_igeo_2003_claudio.pdf). Acesso em: 15 de jul. 2020.
- ESA, European Space Agency. **Sentinel-2 User Handbook**. Paris: Esa Standart Document, 2015. Disponível em: [https://sentinels.copernicus.eu/documents/247904/685211/Sentinel-2\\_User\\_Handbook](https://sentinels.copernicus.eu/documents/247904/685211/Sentinel-2_User_Handbook). Acesso em: 28 de fev. 2020.
- ESTEVES, F. A. História da limnologia brasileira e seus desafios nas primeiras décadas do século XX. In: **Fundamentos de Limnologia**. 3. ed. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 2011. Cap.2, p.25-61.
- FERREIRA, V. R.; RAFFO, J. G. O uso dos sistemas de informação geográfica (SIG) no estudo da acessibilidade física aos serviços de saúde pela população rural: revisão da literatura. **Revista Brasileira de Geografia Médica e da Saúde**. Belo Horizonte, v.8, n.15, p.177-189, 2012. Disponível em: <http://www.seer.ufu.br/index.php/hygeia/article/view/17743>. Acesso em: 14 de mar. 2020.
- FITZ, P. R. **Geoprocessamento sem complicação**. São Paulo: Oficina de textos, 2008.
- FLORENZANO, T. G. Sensoriamento Remoto para Geomorfologia. In: **Geomorfologia: conceito e tecnologias atuais**. 3. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2008. Cap. 2, p.36-65.
- GHEYI, H. R.; PAZ, V. P. S.; MEDEIROS, S. S.; GALVÃO, C. O. **Recursos hídricos em regiões semiáridas**. Campina Grande: INSA, 2012.
- HELLDE, U.; STERN, M. Evaluation of Landsat imagery and digital data for monitoring desertification indicators in Tunisia. In: **Anais... International Symposium on Remote Sensing of Environment**, 14 ed. San Jose, Costa Rica, 1980, p.1601-1610.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas. **Manual técnico de uso da terra**. 3. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2013.
- IDEMA. Instituto de Desenvolvimento Sustentável e Meio Ambiente do Rio Grande do Norte. **Perfil do seu Município – Marcelino Vieira**. Natal, v.10, p. 01-22, 2008. Disponível em: <http://adcon.rn.gov.br/ACERVO/idema/DOC/DOC00000000013965.PDF>. Acesso em: 26 de jun. 2019.
- IGARN. **Instituto de Gestão das Águas**. 2019. Disponível em: [http://www.igarn.rn.gov.br/?fbclid=IwAR1F4pDNw8WB50alhL5bghLu5D4OwObJ47YO\\_-nkPpQTFESGRiLPJpE3ePA](http://www.igarn.rn.gov.br/?fbclid=IwAR1F4pDNw8WB50alhL5bghLu5D4OwObJ47YO_-nkPpQTFESGRiLPJpE3ePA). Acesso em: 02 de dez. 2019.
- JENKS, G. F. **Optimal data classification for choropleth maps**: Occasional Paper. University Kansas: Lawrence, 1977.
- JENSEN, J. R. **Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. São José dos Campos: Parêntese, 2019.

JØRGENSEN, S. E.; VOLLENWEIDER, R. A.; VANNUCCI, D.; TUNDISI, J. G. **Diretrizes para o gerenciamento de lagos: princípios para o gerenciamento de lagos.** [S.l.: s.n.], 2000.

KLECKA, W. R. **Discriminant analysis.** Newbury Park: SAGE Publications, 1980.

LACROIX, P.; BIÉVRE, G.; PATHIER, E.; KNISS, U.; JONGMANS, D. Use of Sentinel-2 images for the detection of precursory motions before landslide failures. **Remote Sensing of Environment.** Amsterda, v.1, n.215, p.507-516, 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0034425718301433>. Acesso em 28 de fev. 2020.

LANDIS, J. R.; KOCH, G. G. The measurement of observer agrément for categorical data. **Biometrics**, Washington, v.33, n.1, p. 159-174, 1977. Disponível em: <https://www.jstor.org/stable/2529310?origin=JSTOR-pdf&seq=1>. Acesso em: 15 de dez. 2019.

LEITE, E. F.; ROSA, R. Análise do uso, ocupação e cobertura da terra na bacia hidrográfica do rio Formiga, Tocantins. **OBSERVATORIUM: Revista Eletrônica de Geografia**, Uberlândia, v.4, n.12, p.90-106, 2012. Disponível em: <http://www.observatorium.ig.ufu.br/pdfs/4edicao/n12/05.pdf>. Acesso em: 26 de nov. 2019.

LILLESAND, T. M.; JOHSON, W. L.; DEUELL, R. L.; LINDSTROM, O. M.; MEISNER, D. E. Use of Landsat data to predict the trophic state of Minnesota Lakes. **Journal Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, New York, v.49, n.2, p.219-229, 1983. Disponível em: [https://www.asprs.org/wpcontent/uploads/pers/1983journal/feb/1983\\_feb\\_219-229.pdf](https://www.asprs.org/wpcontent/uploads/pers/1983journal/feb/1983_feb_219-229.pdf). Acesso em: 22 de maio. 2020

LILLESAND, T. M.; KIEFER, R. W.; CHIPMAN, J. W. **Remote sensing and image interpret action.** Danvers: Wiles International Edition, 2008.

LIMA, E. C. **Planejamento ambiental como subsídio para gestão ambiental da bacia de drenagem do açude Paulo Sarasate Varjota-Ceará.** Tese (Doutorado em Geografia), Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, 2012. Disponível em: [http://www.repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/7817/1/2012\\_tese\\_eclima.pdf](http://www.repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/7817/1/2012_tese_eclima.pdf). Acesso em: 12 de dez. 2018.

LIMA, T. S.; CANDEIAS, A. L. B.; CUNHA, M. C. C. Bioindicadores e sensoriamento remoto como subsídios a gestão dos recursos hídricos no semiárido brasileiro. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.10, n.6, p. 1975-1994, 2017. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/view/234201>. Acesso em: 19 de nov. 2019.

LOEBMANN, D.G.S.W.; MACORANO, R.P.; SILVA, G.B.S.; VICENTE, L.E.; VICTORIA, D.C. **Interpretação de alvos a partir de imagens de satélite de média resolução espacial.** Campinas: EMBRAPA, 2012. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/85516/1/048-12.pdf>. Acesso em: 14 de mar. 2020.

LORENZZETTI, J. A. **Princípios físicos de Sensoriamento Remoto.** São Paulo: Blucher, 2015.

MA, Z.; REDMOND, R. L. Tau coefficients for accuracy assessment of classification of remote sensing data. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**. Missoula, v.61, n.4, p. 435-439, 1995. Disponível em: [https://www.asprs.org/wp-content/uploads/pers/1995journal/apr/1995\\_apr\\_435-439.pdf](https://www.asprs.org/wp-content/uploads/pers/1995journal/apr/1995_apr_435-439.pdf). Acesso em: 20 de mar. 2020.

MACHADO, P. J. O.; TORRES, F. T. P. Gestão de bacias e gerenciamento de recursos hídricos. In: **Introdução à hidrogeografia**. São Paulo: CENGAGE, 2017. Cap. 11, 161-169.

MAGALHÃES, I. A. L.; XAVIER, A. C. Caracterização e avaliação das respostas espectrais de alvo no município de Itapemirim, ES, por meio de Sensoriamento Remoto Orbital. **Revista Brasileira de Geografia Física**. Recife, v.11, n.3, p.1010-1025, 2018. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/view/234348>. Acesso em: 23 de mar. 2020.

MARÍN, O. A. H.; LEAL, A. C.; FERNANDES, E.; FERREIRA, E.; TROLES, A. L.; FERREIRA, S. M. Panorama da gestão dos recursos hídricos no estado do Rio Grande do Norte, Brasil. **Revista Formação**, Presidente prudente, v.1, n.23, p.248-273, 2016. Disponível em: <http://revista.fct.unesp.br/index.php/formacao/article/view/3577/3177>. Acesso em: 28 de nov. 2019.

MARQUES FILHO, O.; VIEIRA NETO, H. Filtragem, realce e suavização de imagens. In: **Processamento Digital de Imagens**. Rio de Janeiro: Brasport, 1999. Cap.4, p.86-138.

MATTAR NETO, J.; KRÜGER, C. M.; DZIEDZIC, M. Análise de indicadores ambientais no reservatório do Passaúna, **Revista de Engenharia sanitária e ambiental**, Rio de Janeiro, v.14, n.2, p.205-213, 2009. Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1413-41522009000200008&script=sci\\_abstract&tlng=pt](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1413-41522009000200008&script=sci_abstract&tlng=pt). Acesso em 01 de jun. 2019.

MENEGUZZO, I. S.; CHAICOUSKI, A. Reflexões acerca dos conceitos de degradação ambiental, impacto ambiental e conservação da natureza. **Revista de Geografia**. Londrina, v.19, n.1, p.181-185, 2010. Disponível em: <http://www.uel.br/revistas/uel/index.php/geografia/article/view/2593>. Acesso em: 23 de mar. 2020.

MENESES, P. R.; ALMEIDA, T. **Introdução ao processamento de imagens de Sensoriamento Remoto**. Brasília: UnB/CNPq, 2012.

MENESES, P. R.; ALMEIDA, T.; BAPTISTA, G. M. M. Do sensoriamento remoto multiespectral para o hiperespectral: o comportamento espectral dos materiais visto do espaço. In: **Reflectância dos materiais terrestres: análise e interpretação**. São Paulo: Oficina de Textos, 2019. Cap.8, p.249-266.

MOLLE, F. **Marcos históricos e reflexões sobre açudagem e seu aproveitamento**. Recife: SUDENE, 1994.

MOLLE, F.; CADIER, E. **Manual do pequeno açude**. Recife: SUDENE, 1992.

NOVO, E. M. L. M. **Sensoriamento remoto: princípios e aplicações**. 4. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 2010.

OLIVEIRA, A. M.; COSTA, D. F. S.; ARAÚJO, W. S.; SILVA, E. E. S. Análise dos serviços ecossistêmicos em reservatórios da Região Nordeste Semiárida do Brasil. **Revista REGNE**. Caicó, v.2, n.1, p.1447-1458, 2016. Disponível em: <https://periodicos.ufrn.br/revistadoregne/article/view/10611>. Acesso em: 10 de mar. 2020.

ORTEGA, D. J. P. **Avaliação dos efeitos das atividades antrópicas na bacia hidrográficas do córrego do Ipê, município de Ilha Solteira-SP**. Dissertação (Mestrado em Engenharia), Universidade Estadual Paulista. Ilha Solteira, 2011. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/98049> . Acesso em: 20 de mar. 2020.

PARANHOS FILHO, A. C.; MIOTO, C. L.; MARCATO JUNIOR, J.; CATALANI, T. G. T. **Geotecnologias em aplicações ambientais**. Campo Grande: UFMS, 2016.

PERIOTTO, N. A.; TUNDISI, J. G. Ecosystem Services of UHE Carlos Botelho (Lobo/Broa): a new approach for management and planning of dams multiple-uses. **Brazilian Journal of Biology**. São Carlos, v.73, n.3, p.471-482, 2013. Disponível em: [https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S1519-69842013000300471&lng=pt&nrm=iso&tlng=en](https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1519-69842013000300471&lng=pt&nrm=iso&tlng=en). Acesso em 8 de maio. 2020.

REBOUÇAS, A. C. Água na região Nordeste: desperdício e escassez. **Estudos Avançados**. São Paulo, v.11, n.29, p.127-154, 1997. Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0103-40141997000100007](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-40141997000100007). Acesso em: 28 de out. 2019.

REIS, M.S. **Deteção de mudanças de uso e cobertura da terra utilizando dados óticos e de micro-ondas em uma região da Amazônia Brasileira**. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto), Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. São José dos Campos, 2014. Disponível em: <http://mtc-m21b.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc-m21b/2014/06.30.19.09/doc/publicacao.pdf>. Acesso em: 12 de mar. 2020.

RIBEIRO, H. V.; GALVANIN, E. A. S.; PAIVA, M. M. Análise das pressões antrópicas na bacia Paraguai/Jauquara-Mato Grosso. **Revista Ciência e Natura**. Santa Maria, v.39, n.2, p.378-389, 2017. Disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/cienciaenatura/article/view/26090>. Acesso em: 23 de mar. 2020.

RICHARDS, J. A.; JIA, X. **Remote sensing digital image analysis**. 4. ed. Berlin: Springer, 2006.

RIO GRANDE DO NORTE. **Lei Estadual nº 272 de 2004. Política e o Sistema Estadual do Meio Ambiente**. Disponível em: <http://www.al.rn.leg.br/portal/ups/legislacao/2019/07/12/9e549d2e5f3ecdace24a5d37d934857a.pdf> . Acesso em: 03 de mar. 2020.

RIO GRANDE DO NORTE. **Lei Estadual nº 6.908 de 1996. Política Estadual de Recursos Hídricos**. Disponível em: <http://seirh.sema.pa.gov.br/index.php/biblioteca/94-rn-lei6908-1996-1.html?path>. Acesso em: 03 de mar. 2020.

ROCHA, A. B. **Análise multitemporal da dinâmica do uso e ocupação do baixo curso do rio Apodi-Mossoró-RN (1989-2009)**. Dissertação (Mestrado em Geografia), Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, 2011. Disponível em: <http://www.repositorio.ufc.br/handle/riufc/979>. Acesso em: 12 de nov. 2020.

ROSA, R. **Introdução ao Sensoriamento Remoto**. 7. ed. São Paulo: EDUFU, 2008.

ROSA, R. Metodologia para Zoneamento de Bacias Hidrográficas Utilizando Produtos de Sensoriamento Remoto e Integrados por Sistema de Informações Geográficas. 1996.

Salvador. **Anais...** Salvador, Brasil: INPE, 14-19 abril de 1996, p. 363-368. Disponível em: <http://marte.dpi.inpe.br/col/sid.inpe.br/deise/1999/02.03.08.55/doc/T46.pdf>. Acesso: 15 de jul. 2020.

SÁNCHEZ, L. E. **Avaliação de impacto ambiental: conceitos e métodos**. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2013.

SANTOS, A. M.; GOMIDE, M. L. C. A ocupação no entorno das terras indígenas em Rondônia, Brasil. **Revista Boletim Goiano de Geografia**, v.35, n.3, p.417-436, 2015. Disponível em: <https://www.revistas.ufg.br/bgg/article/view/38834>. Acesso em 01 de jun. 2019.

SANTOS, R. F. **Planejamento ambiental: teoria e prática**. São Paulo: Oficina de Textos, 2004.

SANTOS, S. A.; NUNES, F. G.; SANTOS, A. M. Intensidade dos processos antropogênicos no entorno do reservatório do Ribeirão João Leite, Goiás, Brasil. **Revista do Departamento de Geografia da USP**. São Paulo, n.36, p.63-76, 2018. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/rdg/article/view/142709>. Acesso em: 01 de jun. 2019.

SEMARH. Secretaria de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos. **Sistema de informações: Bacia Apodi-Mossoró**. 2019. Disponível em: <http://servicos.semarh.rn.gov.br/semarh/sistemadeinformacoes/consulta/cBaciaDetalhe.asp?CodigoEstadual=01>. Acesso em: 02 de dez. 2019.

SILVA, J. S. V.; SANTOS, R. F. Zoneamento para planejamento ambiental: vantagens e restrições de métodos e técnicas. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**. Brasília, v.21, n.2, p.221-263, 2004. Disponível em: <https://seer.sct.embrapa.br/index.php/cct/article/view/8710>. Acesso em: 15 de jul. 2020.

SINGH, A. Digital change detection techniques using remotely-sensed data. **International Journal of Remote Sensing**. Morgantown, v.10, n.6, p.989-1003, 1989. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/01431168908903939?needAccess=true>. Acesso em: 14 de mar. 2020.

STRAŠKRABA, M.; TUNDISI, J. G. **Gerenciamento da qualidade da água de represas**. 3. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2013.

SUDENE. **Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste**. Folha SB. 24-Z-AII. Pau dos Ferros. Brasília, 1967 (1982, 2º impressão). 1 carta topográfica. Escala 1:100.000.

TAVEIRA, B. D. A. Usos da água e gestão de recursos hídricos. In: **Hidrogeografia e gestão de bacias**. Curitiba: Intersaberes, 2018. Cap. 3, 115-148.

TUNDISI, J. G. **Água no século XXI: enfrentando a escassez**. São Carlos: RiMa, IEE, 2003.

TUNDISI, J. G. Gerenciamento integrado de bacias hidrográficas e reservatórios: estudos de casos e perspectivas. In: NOGUEIRA, M.G.; HENRY, R.; JORCIN, A (Org.). **Ecologia de reservatórios: impactos potenciais, ações de manejos e sistemas em cascata**. 2 ed. Botucatu: RiMa, 2006. Cap.1, p.1-21.

TUNDISI, J. G. Recurso hídricos no futuro: problemas e soluções. **Estudos Avançados**, v.22, n.63, p.7-16, 2008. Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1519-69842008000500020](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1519-69842008000500020). Acesso em: 12 de fev. 2019.

TUNDISI, J. G. Reservatórios como sistemas complexos: teoria, aplicações e perspectivas para usos múltiplos. In: HENRY, R. (Org.). **Ecologia de reservatórios: estrutura, função e aspectos sociais**. 2 ed. Botucatu: FUNDIBIO, 2007. Cap.1, p.19-38.

TUNDISI, J. G.; MATSUMURA-TUNDISI, T.; TUNDISI, J. E. M. Reservoirs and human well being: new challenges for evaluating impacts and benefits in the neotropics. **Brazilian Journal of Biology**, v.69, n.4, p.1133-1135, 2008. Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1519-69842008000500020](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1519-69842008000500020). Acesso em: 29 de nov. 2019.

TUNDISI, J. G.; MATSUMURA-TUNDISI, T. Planejamento e gestão dos recursos hídricos: novas abordagens e tecnologias. In: **Recursos hídricos no século XXI**. São Paulo: Oficina de Textos, 2011. Cap.7, p.151-188.

XAVIER-DA-SILVA, J.; ZAIDAN, R. T. **Geoprocessamento e análise ambiental: aplicações**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2013.

## **6. AVALIAÇÃO DO ÍNDICE DE PRESSÃO ANTRÓPICA NA ZONA DE AMORTECIMENTO DO RESERVATÓRIO CAIÇARA (MARCELINO VIEIRA/RN)**

### **6.1. INTRODUÇÃO**

A escassez do recurso água no semiárido – e mesmo sua má distribuição – implica na necessidade de se buscar soluções que garantam o desenvolvimento da região, as quais estão, comumente, associadas à construção de grandes, médios e pequenos reservatórios (MOLLE; CADIER, 1992; MOLLE, 1994). Embora essas infraestruturas possibilitem o abastecimento para os sertanejos e também viabilizem atividades econômicas (CIRILO, 2008), no decorrer do tempo, as pressões socioambientais modificaram as condições ecossistêmicas da bacia hidráulica e de seu entorno.

Assim, as condições no entorno dos reservatórios e suas características técnicas de construções funcionam sob circunstâncias instáveis e geralmente são determinadas por processos antropogênicos ou, até mesmo, por ações de gerenciamento e de gestão (ARAÚJO, 2012). Na perspectiva de Tundisi, Matsumura-Tundisi e Tundisi (2008), é essencial conhecer os usos múltiplos dos recursos ambientais, a fim de se determinar as complexas interações dessas reservas entre água e terra no âmbito do sistema hidrográfico, bem como sua adequada gestão e gerenciamento, para, então, saber qual a melhor forma de acesso e de uso do recurso (TUNDISI, 2007).

Para tanto, os desafios para se conservar e preservar o ecossistema dos recursos hídricos em reservatórios, especialmente no semiárido, envolvem efetivar planos e ações que desencadeiem em uma gestão e gerenciamento adequado dos recursos hídricos e suas áreas de influência. Essa prática espacial é regida pela Lei nº 9.433/97, que instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) e atualmente constitui a base legal para implantação dos Planos Estaduais de Recursos Hídricos (PERH), dispositivo jurídico que se coaduna com a Lei nº 12.651/12, ou seja, o Código Florestal, e também com as resoluções do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA (REBOUÇAS, 1997). Dispositivos estes que levam, assim, a direcionar as formas de gestão e de gerenciamento das reservas e de seus entornos.

O reservatório Caiçara, objeto da presente pesquisa, foi construído principalmente para o abastecimento humano a jusante e a montante, bem como para a dessedentação animal e para atividades agropecuárias extensivas (DNOCS, 2019; SEMARN, 2019). As transformações na área de amortecimento desse manancial evidenciam que é preciso analisar a pressão antrópica

de modo a considerar as formas de uso e a cobertura da terra que alteraram as condições ambientais e, muitas vezes, contribuíram efetivamente para o desequilíbrio ambiental.

Assim, há a necessidade de se identificar as pressões na zona de amortecimento e obter respostas, por exemplo, às seguintes indagações: Quais as principais formas de uso e cobertura da terra? Qual o nível de pressão antrópica? Tendo em vista estes questionamentos, este estudo poderá vir a contribuir para que haja a recuperação ambiental e, nesse sentido, definir a resistência do ambiente, bem como auxiliar no desenvolvimento sustentável do reservatório e também de seu entorno. Então, o índice de Pressão Antrópica (IPA) surge como uma possível forma de identificar, avaliar e monitorar as alterações no ambiente. Esse índice, segundo Santos e Gomide (2015), configura uma alternativa para quantificar a pressão antrópica, o que permite conhecer o grau de antropização específico.

Portanto, o objetivo da pesquisa é mapear o IPA na zona de amortecimento do reservatório, utilizando-se da sobreposição das classificações multitemporais do uso e cobertura da terra, no intuito de fornecer dados para uma melhor tomada de decisão e de possibilitar ações de gestão e gerenciamento.

#### 6.1.1. Contextualização teórica

Na atualidade, grande parte dos recursos hídricos acumulados no semiárido está associada aos reservatórios superficiais, que são corpos hídricos retidos por barramento transversal em canais fluviais (STRAŠKRABA; TUNDISI, 2013) e têm como principal objetivo a disponibilidade de água para o consumo primário e atividades socioeconômicas. Assim, esses reservatórios se destacam por serem um bem efetivo ao desenvolvimento sustentável da região, frente ao inter-relacionamento econômico, social e ambiental (MARÍN *et al.*, 2016; ARAÚJO, 2012). Desse modo, é essencial que haja a adequada gestão e gerenciamento de reservatório artificiais, a fim de atenderem aos usos múltiplos e à minimização dos impactos, tanto a jusante como a montante.

No que concerne ao entorno de mananciais, é necessário que sejam feitos, adequada e continuamente, o monitoramento e o gerenciamento do uso e cobertura da terra, de modo a fornecer subsídios para compreensão das ações antropogênicas que recaem sobre ele. Alterações e impactos na paisagem são reflexos das formas de uso dos recursos naturais, em razão de seu valor de uso e de troca (NASCIMENTO, 2006; BEZERRA JÚNIOR; GUEDES; COSTA, 2016).

As alterações no ambiente – sejam estas reversíveis ou não – transformam a paisagem natural, sendo expressas pela diminuição da capacidade de regeneração e/ou de recuperação do meio natural e, em particular, da vegetação. Rosa (2008) e Jensen (2011) ressaltam que a cobertura e uso da terra consistem das ações antropogênicas, sejam estas diretas ou indiretas, em face do quadro natural, com suas formas, padrões e intensidade de transformações.

Leite e Rosa (2012, p. 92) explicam que “O conhecimento e o monitoramento do uso, cobertura, ocupação da terra é primordial para a compreensão dos padrões de organização do espaço [...]”. É, portanto, essencial conhecer as ações de manejo para que seja possível caracterizar, diagnosticar e propor prognósticos dos padrões e das formas de uso e cobertura da terra (BEZERRA JÚNIOR; GUEDES, 2016; FREITAS; GUEDES, 2018).

As formas de uso e cobertura podem indicar a pressão antrópica no meio (SANTOS; GOMIDE, 2015); a distribuição e a atuação das forças antropogênicas no espaço têm condicionado padrões de impactos ambientais em algum componente da paisagem natural, atuando na transformação e/ou na reestruturação do ambiente (GOUVEIA; GALVANIN; NEVES, 2013). No que se refere a reservas hídricas, o espaço de modificação da paisagem constitui a zona de amortecimento, que geralmente são áreas de ações antropogênicas sobre esse recurso; isso significa que as formas e os padrões de uso da terra, aliados à qualidade e à quantidade de recursos naturais – especialmente o recurso água –, têm relações intrínsecas e, de tal modo, exercem modificações nas propriedades bióticas e abióticas das reservas e de seu sistema ambiental (SANTOS; NUNES; SANTOS, 2018).

A fim de conhecer e de mensurar a pressão antrópica, utilizam-se técnicas e métodos de Geoprocessamento e de Sensoriamento Remoto, aliados aos Sistemas de Informações Geográficas (SIGs), os quais podem identificar e espacializar as pressões antrópicas no meio, utilizando-se do Processamento Digital de Imagens (PDI), de forma tanto a viabilizar as tomadas de decisões quanto a auxiliar no planejamento e na gestão ambiental (PARANHOS FILHO *et al.*, 2016).

Em síntese, o processamento de dados em SIG integra dados primários e secundários, os quais possibilitam a coleta, o armazenamento, o processamento e a análise espacial, de modo a gerar informações georreferenciadas a partir da espacialização e de mapeamentos temáticos (RICHARDS; JIA, 2006; ROSA, 2008). De acordo com Bacani (2010), os dados em SIG viabilizam metodologias multi, intra e interdisciplinares, que associadas ao conhecimento e à experiência do usuário, produzem e modelam dados de forma rápida e confiável.

Para Xavier-da-Silva e Zaidan (2013), essa tecnologia de processamento de dados consiste, na atualidade, em instrumento necessário ao avanço técnico e metodológico de análise

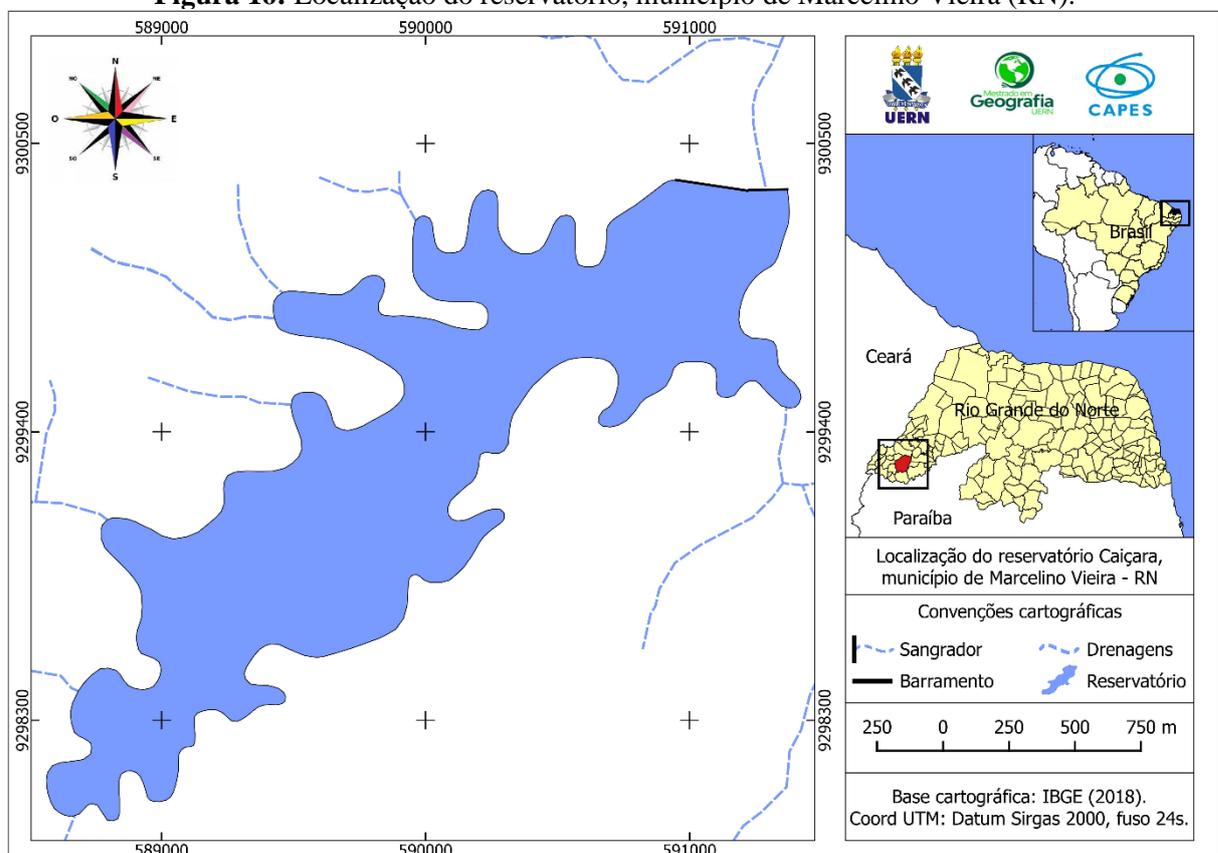
da geotopologia de um ambiente. Ao seguirem esse contexto, Rosa (2008) e Jensen (2011) apontam que a aplicação das técnicas de processamento de dados trazem as múltiplas informações da área em pesquisa e, por meio dessas informações, torna possível apontar as bases de sustentabilidade ou, nesse caso, aplicar a gestão e o gerenciamento, a fim de, por exemplo, facilitar a conservação do ecossistema em pesquisa (TUNDISI, 2007).

## 6.2. MATERIAIS E MÉTODOS

### 6.2.1. Caracterização da área de estudo

O reservatório Caiçara (Figura 16) encontra-se localizado no município de Marcelino Vieira, na porção Oeste do estado do Rio Grande do Norte (IDEMA, 2008), situado entre as coordenadas planas 588368 S / 9297702 W e 591756 S / 9297702 W. Possui capacidade máxima de 11.200.125,00m<sup>3</sup> de armazenamento de água, com volume morto de 1.086.625,00m<sup>3</sup> (SEMARH, 2019), ocupando área de 2,18km<sup>2</sup> e hectare de 218,34 do território municipal (DNOCS, 2019).

**Figura 16:** Localização do reservatório, município de Marcelino Vieira (RN).



Fonte: IBGE (2018). Elaborado pelo autor (2019).

Essa reserva hídrica foi construída em um convênio entre o Departamento Nacional de Obras Contra as Secas (DNOCS) e a Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE), em ação conjunta do Programa Recursos Hídricos, promovido pelo Governo Federal; atualmente, é administrado pela Secretaria Estadual de Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos (SEMARH). O início da construção se deu em 1978, com conclusão em 1981; em meio à seca ocorrida em 2012 na região, de 2015 a 2016 foi realizada manutenção da barragem principal, sob responsabilidade da Secretaria Municipal de Obras e Urbanismo (DNOCS, 2019). As características técnicas e hidráulicas (Tabela 1) estão relacionadas à sua finalidade de atendimentos usos múltiplos.

**Tabela 1:** Características hidráulica do reservatório Caiçara.

<b>Bacia hidráulica</b>	
Capacidade máxima (m <sup>3</sup> )	11.200.125,00
Volume morto (m <sup>3</sup> )	1.086.625,00
<b>Barragem principal</b>	
Tipo	Terra compactada
Altura máxima (m)	12,6
Extensão do coroamento (m)	360
Largura do coroamento (m)	5
<b>Tomada d'água</b>	
Tipo	Galeria tubular s/ Torre comando
Comprimento (m)	53
Descarga (m <sup>3</sup> /s)	0,2
<b>Sangrador</b>	
Tipo	Perfil CREAGER
Descarga (m <sup>3</sup> /s)	475
Cota de soleira (m)	0,2
Lâmina máxima (m)	2
Volume de corte (m <sup>3</sup> )	8.515,8

**Fonte:** SEMARH (2019). Elaborado pelo autor (2019).

No tocante ao sistema hidrográfico, a reserva é formada pelo represamento transversal dos riachos Albuquerque e Barro Preto, que são canais de regime intermitente e padrão de drenagem dendrítica, fazendo parte do alto e médio curso superior do Rio Apodi-Mossoró (CARVALHO; KELTING; SILVA, 2011). A capacidade atual do reservatório alcança 78,19% do volume útil da lâmina d'água, o que representa 8.757.300,00m<sup>3</sup> da capacidade total de armazenamento, referente ao período de 17 de julho de 2020 (SEMARH, 2019).

### 6.2.2. Procedimentos metodológicos

A metodologia foi fundamentada na classificação do uso e cobertura da terra (IBGE, 2013), para posterior aplicação do Índice de Pressão Antrópica (SANTOS; GOMIDE, 2015), que realiza a integração das classes de uso e cobertura prevendo a espacialização da pressão antrópica. Na etapa de análise e processamento de dados, foi utilizado o *software* Qgis®, versão 3.4 Madeira, apoiado em técnicas e em métodos de Geoprocessamento e de Sensoriamento Remoto.

As imagens de satélites obtidas foram: LANDSAT 5, órbita 216, ponto 64, sensor TM (*Thematic Mapper*), com resolução espacial de 30m, e SENTINEL 2, órbita 17967, ponto 95, sensor MSI (*Multispectral Instrument*), com resolução espacial de 10m, disponibilizadas pela USGS (*United States Geological Survey*) e ESA (*European Space Agency*), respectivamente. Para a escolha da imagem LANDSAT 5 TM, utilizou-se o critério de maior volume hídrico do reservatório, que corresponde ao ano de 2008 (13/maio)<sup>4</sup>; já as imagens multitemporais do SENTINEL 2 MSI, diz respeito aos anos de 2015 (26/dez.), 2016 (30/dez.), 2017 (07/dez.), 2018 (27/dez.) e 2019 (16/dez.); o critério utilizado foi a menor interferência atmosférica de nuvens.

Nas imagens foram aplicadas as técnicas de Processamento Digital de Imagens (PDI), executadas nas rotinas de pré-processamento, o que possibilitou diminuir as distorções geométricas, as calibrações radiométricas e as remoções de ruído das imagens (ROSA, 2008; NOVO, 2010; FLORENZANO, 2011; JENSEN, 2011). Posteriormente, realizou-se a composição colorida nas bandas RGB/234 do Sensor TM, LANDSAT 5, visando à delimitação da bacia hidráulica do reservatório. Para a determinação da zona de amortecimento, ancorou-se na ferramenta *Buffer* um *offset* de 1000m a partir da bacia hidráulica do reservatório, tendo sido utilizada no recorte da área pesquisada.

No processamento do uso e cobertura da terra, utilizou-se o método de classificação automática supervisionada no *plugin* SCP (*Semi-Automatic Classification Plugin*), por meio do classificador Máxima Verossimilhança (MaxVer), também conhecido como *Maximum Likelihood*, para qual o valor do limiar deve ser, no mínimo, 100. A fim de auxiliar na identificação das classes de treinamento, foi aplicada a técnica da chave de interpretação proposta por Novo (2010), Jensen (2011) e Florenzano (2013), a qual busca estabelecer critérios

---

<sup>4</sup> A utilização das bandas espectrais do sensor TM, satélite LANDSAT 5, deve-se à necessidade de vetorização do reservatório no período de maior volume hídrico.

para identificar as classes de uso e cobertura da terra. Os critérios empregados foram: a tonalidade/cor, textura, padrão, localização, forma, sombra e tamanho.

No que se refere à interpretação das classes, foram adotadas as composições falsa-cor RGB/324, RGB/348 e RGB/384 do sensor MSI, SENTINEL 2, tendo sido alternadas as composições para identificar e estabelecer os critérios executados. Na classificação das imagens multitemporais, optou-se por utilizar o sistema de classes proposto no Manual Técnico de Uso da Terra, do IBGE (2013), nível II (subclasses) – o qual sugere as seguintes classes: Culturas Temporárias, Área Florestal, Área Campestre, Águas Continentais, Área Descoberta e Nuvem, as quais foram observadas no reconhecimento de campo realizado em dezembro de 2019 –, aliado à coleta de Pontos de Controle Terrestres (PCTs), que auxiliou nas correções do pós-processamento.

No processo de validação, empregou-se a estatística de concordância dos índices Kappa (COHEN, 1960), Tau (KLECKA, 1980) e de Exatidão Global (HELLDEN; STERN, 1980), tendo sido aplicada em 500 amostras, utilizando-se o tamanho do *pixel* como referência na distribuição multinomial e considerando somente a área de 1000m da zona de amortecimento, com tipo de amostragem estratificada, de maneira que forneceu uma matriz de confusão com um mínimo de 50 amostras para cada grande classe (CONGALTON, 1991; CONGALTON; GREEN, 1999); em seguida, calculou-se a percentagem das classes por meio da calculadora de campo do SIG, também, aplicou-se cálculo de variação percentual.

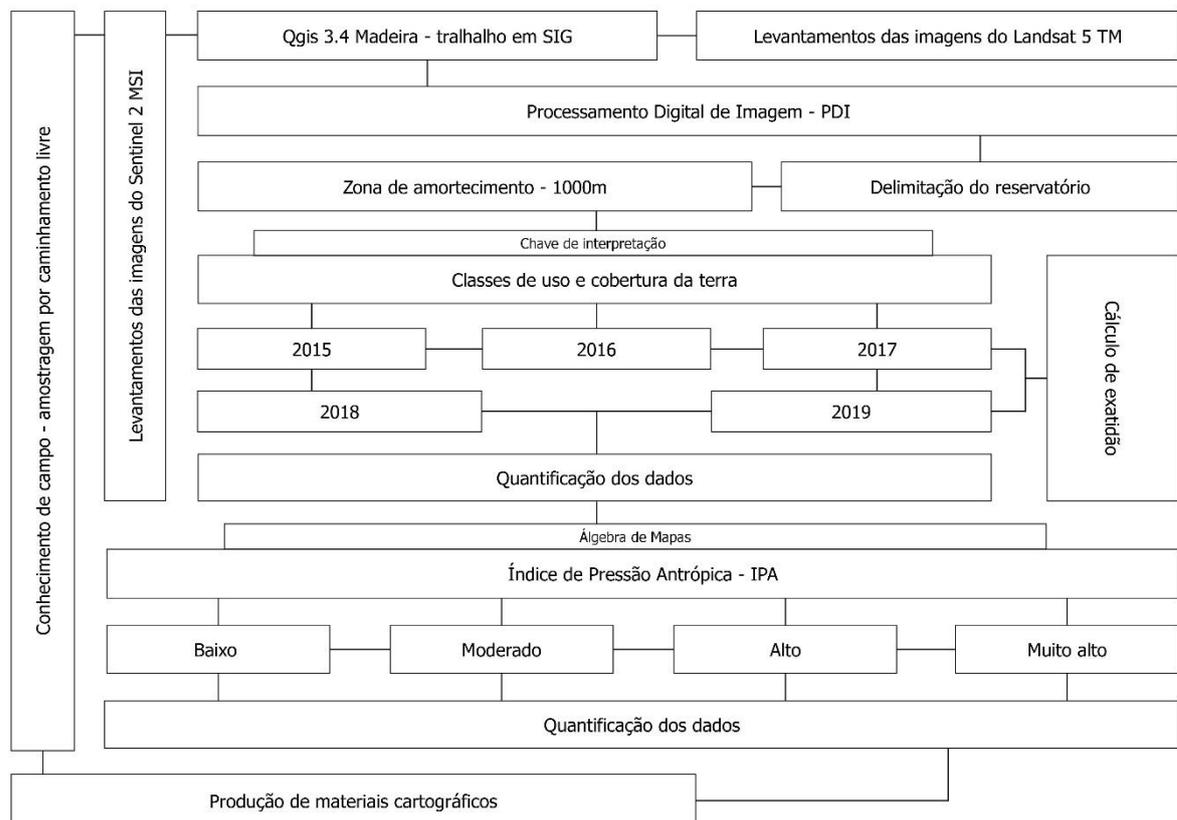
Posteriormente, foram adaptados os procedimentos metodológicos do IPA – os quais foram utilizados por Santos e Gomide (2015) e também por Santos, Nunes e Santos (2018), – visando classificar a pressão antrópica em função das modificações do uso e cobertura da terra. Para a realização do cálculo do IPA, é necessário atribuir pesos nas classificações, os quais foram estimados considerando-se a capacidade de impacto de cada classe. O estabelecimento dos pesos adequou-se à variabilidade do ambiente, de maneira que foram atribuídos valores 1 a 10, em que: 1 indica a menor pressão, e, 10, a maior. Os pesos das classes foram distribuídos da seguinte forma: 10 = Culturas Temporárias; 1 = Área Florestal; 5 = Área Campestre; 5 = Águas Continentais; 10 = Área Descoberta; e 1 = Nuvem.

Na operação da álgebra de mapas, aplicou-se a equação (1):  $IPA = \sum (Ci * Pc + Ci * Pc) / Nc$ . Em que: IPA é o Índice de Pressão Antrópica; Ci é a Classe identificada; Pc é o Peso da classe; e Nc é o Número de classe. A equação computada permitiu relacionar as classificações multitemporais do uso e cobertura da terra com seus respectivos pesos, realizando a integração dos dados e obtendo-se o mapa síntese. Procedeu-se, então, à nomenclatura do índice, considerando os valores de *Natural Breaks* de Jenks (1977) para 4 parâmetros, a saber: baixo

(1 – 2,5); moderado (2,5 – 5); alto (5 – 7,5); e muito alto (7,5 – 10). Esse método de quebra, foi desenvolvido por Jenks (1977), a fim de estabelecer um novo método para ajustar os limites não normais e não uniformes. Logo após, houve a quantificação dos parâmetros, depois aplicou-se o cálculo de variação percentual.

Todas as bases de dados, vetorial e matricial, foram registradas no sistema de projeção UTM (Universal Transversa de Mercator), no *Datum* SIRGAS 2000 (Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas – 2000), meridiano central 39, fuso 24, hemisfério Sul; os mapeamentos cartográficos foram confeccionados no compositor do *software*. Os processos realizados encontram-se esquematizados no fluxograma (Figura 17) como forma de nortear a organização do caminho metodológico trilhado.

**Figura 17:** Fluxograma metodológico do IPA.



**Fonte:** Elaborado pelo autor (2019).

## 6.3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 6.3.1. Caracterização e análise multitemporal do uso e cobertura da terra

Os dados de uso e cobertura da terra na zona de amortecimento do reservatório referente aos anos de 2015, 2016, 2017, 2018 e 2019 (Tabela 2) evidenciam que as

classificações obtiveram variações de uso no intervalo de tempo da pesquisa, fato relacionado às múltiplas acepções de uso da terra, o que faz da zona de amortecimento uma área potencial em impactos negativos.

**Tabela 2:** Evolução do uso e cobertura na zona de amortecimento do reservatório.

Classes de uso e cobertura	2015	2016	2017	2018	2019
	ha	ha	ha	ha	ha
Culturas Temporárias	7,86	25,02	9,36	36,50	54,54
Área Florestal	272,89	297,07	344,88	318,50	375,74
Área Campestre	491,12	510,29	446,12	366,83	345,15
Águas Continentais	1,43	0,00	0,00	5,78	7,03
Áreas Descobertas	475,06	420,40	446,96	525,17	470,32
Nuvem	4,42	0,00	5,46	0,00	0,00
<b>Total</b>	<b>1.252,78</b>	<b>1.252,78</b>	<b>1.252,78</b>	<b>1.252,78</b>	<b>1.252,78</b>

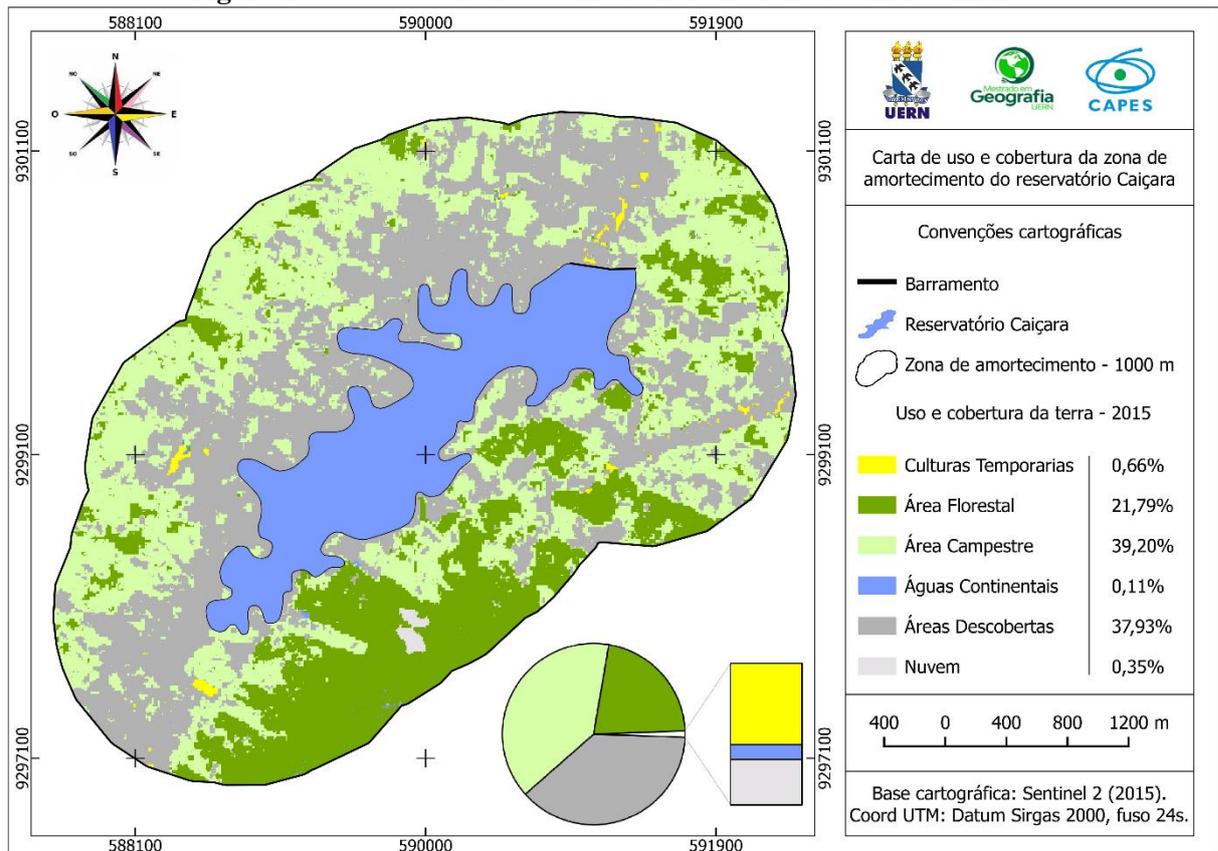
Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Verifica-se que, no período de 2015 (Figura 18), a classe Área Campestre ocupou 491,12 ha – o que representa 39,20% da zona de amortecimento; seguida pela Área Descoberta, com 475,06ha – o que corresponde a 37,93%; e Área Florestal representando 272,89ha – o que equivale a 21,79%. As classes Área Campestre e Área Descoberta ocorreram de norte a sul, representando parte das ações antrópicas no ambiente sob múltiplas acepções de uso e cobertura, corroborando, por exemplo, os estudos de Costa, Guedes e Rocha (2014) e também os de Brito e Guedes (2016) em reservatórios no semiárido potiguar. Por outro lado, a classe Área Florestal obteve maior frequência em sudeste, estando relacionada à alta declividade da Serra do Panati, que varia de fortemente ondulado a montanhoso, o que dificulta ações antrópicas, segundo Almeida e Alves (2014) apontam. Essa porção territorial é constituída, principalmente, por declividade superior a 45°; há, também, cota altimétrica de 600m.

As menores classes foram as Culturas Temporárias, com 7,86ha – que corresponde a 0,62%; acompanhada por Águas Continentais, com 1,43ha – que equivale a 0,11% da área pesquisada; e há ainda a classe Nuvem, que ocupa 0,35%, com 4,42ha. Essas classes correspondem ao total de 0,73%, fato relacionado às formas de uso da área, exceto a classe Nuvem, que representa a condição atmosférica registrada na passagem do satélite. De acordo com Salgado *et al.* (2019), a nebulosidade impacta diretamente na análise visual das classes, pois pode limitar as informações para algumas áreas.

Para a matriz de confusão em 2015, foram observados valores de concordância de 0,94 na Exatidão Global, em contrapartida, os índices Kappa e Tau obtiveram 0,91 e 0,89 em desempenho global. O Kappa apresentou excelente resultado na classificação de Landis e Koch (1977) e na de Congalton e Green (1999).

**Figura 18:** Uso e cobertura da terra de 2015 na zona de amortecimento.



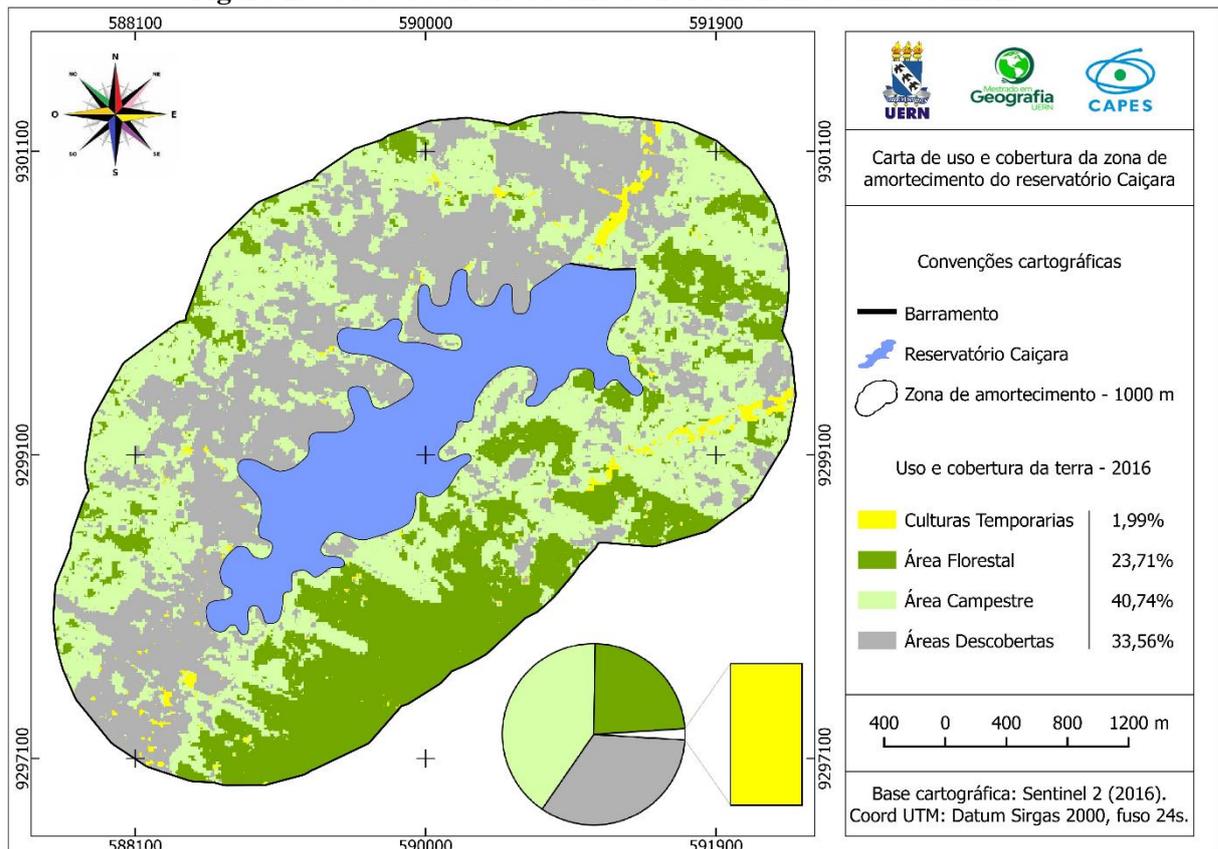
Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Referente a 2016 (Figura 19), as classes Área Campestre, Área Descoberta e Área Florestal apresentaram as maiores classificações, correspondendo a 98,01% e 1.227,76ha da área total; o valor individualizado das classes representou 510,29ha, ou seja, 40,74% da área, seguido de 420,40ha, atingindo 33,56%, e 297,07ha, o que equivale a 23,71% da zona de amortecimento. As classes supracitadas ocorreram em sentido de norte a sul, em especial, no sentido oeste para as classes Área Campestre e Área Descoberta. Essa dinâmica espacial das classes pode ser verificada, por exemplo, nos estudos apresentados por: Bezerra Júnior e Guedes (2016); Freitas e Guedes (2018); e Costa, Freitas e Guedes (2019). Nesse sentido, é possível afirmar que essas classes reproduzem as características comuns de uso da terra nas margens de reservatórios.

Em relação à classe Culturas Temporárias, esta obteve 25,02ha, o que compreende 1,99% da área total. Tal classe é caracterizada pela distribuição de norte a sul, principalmente, ao sul e leste, lugares dos tributários dos riachos Albuquerque e Barro Preto, o que representa as porções territoriais no cultivo de vazante, sendo estas áreas favoráveis ao plantio, seja para a alimentação animal, seja para a humana (ANTONINO; AUDRY, 2001; FREITAS; SILVA; GUEDES, 2020).

A concordância de 2016, por meio do cálculo da matriz de confusão, obteve 0,96 de valores na Exatidão Global; para o índice Kappa, o valor representou 0,94; já na classificação do índice Tau, apresentou 0,93. O desempenho do índice Kappa foi excelente para os níveis de classificação de Landis e Koch (1977) e de Congalton e Green (1999).

**Figura 19:** Uso e cobertura da terra de 2016 na zona de amortecimento.



Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

No tocante a 2017 (Figura 20), quando comparado a 2015 e 2016, dentre as classes observam-se variações na distribuição espacial, especialmente em relação às classes Florestal, Campestre e Área Descoberta, e, com menor proporção, à Cultura Temporária. A classe Florestal de 2017 obteve 344,88ha, o que representa 27,53%, se comparada aos anos de 2015 e 2016, quando apresentou incremento de 71,99ha e 47,81ha, teve variação de 20,87% e de 13,86%, respectivamente. Essa recomposição de área, conforme salientam Freitas, Guedes e Costa (2016), significa importante contribuição para a proteção das matas naturais, constituindo fato relevante para a qualidade ambiental.

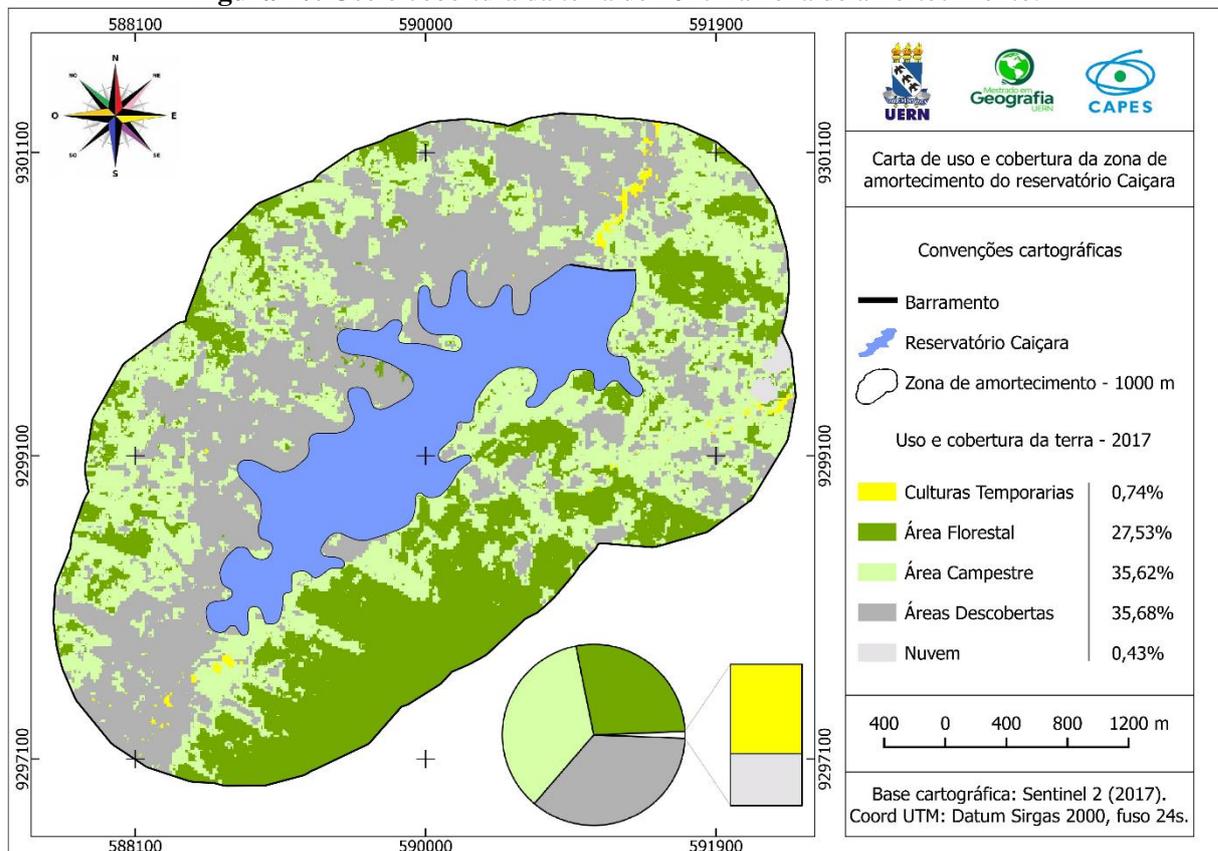
A classe Área Campestre, em 2017, alcançou 446,12ha (35,62% da área), com redução de 45ha e variação de 10,08% se comparada a 2015; já na comparação com o período de 2016, houve um decréscimo de 64,17ha, com variação de 14,38%. A Área Descoberta, referente ao

ano de 2017, corresponde a 446,96ha, atingindo 35,68% em área total; contudo, na comparação com 2015, houve diminuição de 28,1ha (6,28% em área) e acréscimo de 26,56ha, com 5,94%, no comparativo de 2016 e 2017. Na menor classe, pode-se afirmar que 2017 apresentou, na comparação com 2015, em relação à classe Culturas Temporárias, um aumento de 1,5ha, o que representa 16,02% da área total; por outro lado, na comparação de 2017 com o ano de 2016, houve uma redução de 15,66ha, o que corresponde a 167,30% de área total.

As classes supracitadas ocorreram no sentido de norte a sul nas maiores classificações e, em menor proporção, no sentido leste e norte para as Culturas Temporárias. Na ótica de Leite e Rosa (2012), as porções territoriais de ações antrópicas representam as múltiplas acepções do uso e cobertura da terra em seus aspectos negativos; é possível afirmar, então, que esses espaços são constantemente alterados pela dinâmica da área pesquisada.

O processo de concordância de Exatidão Global na classificação gerou desempenho de 0,93, superando os índices Kappa e Tau, de 0,90 e 0,91, respectivamente. Segundo Landis e Koch (1977), bem como Congalton e Green (1999), o índice Kappa, na classificação, obteve desempenho excelente no cálculo da matriz de confusão.

**Figura 20:** Uso e cobertura da terra de 2017 na zona de amortecimento.



**Fonte:** Elaborado pelo autor (2019).

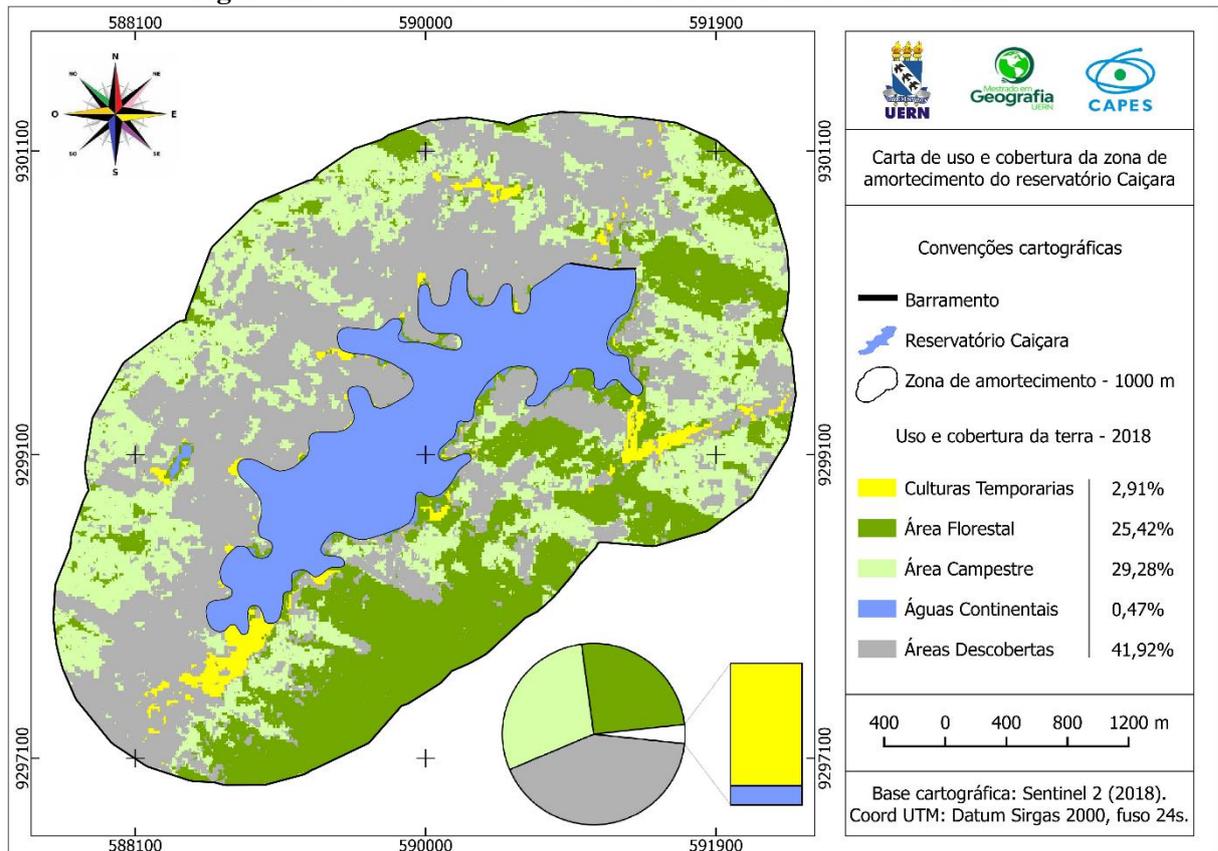
Referente a 2018 (Figura 21), a soma das menores classes representou 3,38% da área total, o que equivale a 42,28ha. As classes de Culturas Temporárias e Águas Continentais representam 2,91% e 0,47% da zona de amortecimento, configurando-se em uma área de 36,50ha e 5,78ha, respectivamente. Segundo Freitas e Guedes (2018), as Culturas Temporárias são caracterizadas pelo ciclo vegetativo de curta ou média maturação; geralmente, essas culturas encontram-se plenamente inseridas nos leitos fluviais, bem como no entorno das reservas hídricas. No entanto, as Águas Continentais reúnem toda cobertura aquática – natural ou artificial – que é empregada para os múltiplos usos.

Enquanto as maiores classes obtiveram 96,62% da zona de amortecimento – o que corresponde a 1.210,5ha, entre a soma das classes Área Florestal, Área Campestre e Área Descoberta –, a classe Área Florestal e Área Campestre apresentou, em área, 318,50ha e 366,83ha, o equivalente a 25,42% e 29,28%, contendo variação de 48,33ha, uma representação de 15,17% da área em pesquisa.

As diferenciações das classes foram determinadas pela densidade do dossel, ou sua dispersão. Conforme apontam Loebmann *et al.* (2012), a cobertura vegetal pode ser compreendida pelo grau de intervenção humana; desse modo, na Área Florestal predomina a cobertura inalterada ou em regeneração, já na classe Área Campestre predomina a cobertura herbáceo-arbustiva, sobre um tapete de gramínea.

A Área Descoberta é caracterizada por múltiplos usos da terra, somada a afloramentos rochosos, com 525,17ha (41,92% da ocupação total). Essa classe é distribuída principalmente nas margens ao oeste e, em menor proporção, ao leste; por sua vez, os afloramentos rochosos são encontrados em pequenas quantidades, de norte a sul, com destaque ao sopé da Serra do Panati. Consoante o apontado por Almeida e Alves (2014), pode-se afirmar que as estruturas geológicas e os movimentos neotectônicos da área em estudo atuaram no soerguimento dos afloramentos rochosos de intrusões magmáticas.

O desempenho de Exatidão Global, Kappa e Tau atingiu valores de 0,95, 0,92 e 0,93, respectivamente, tendo maior concordância a Exatidão Global. No cálculo da matriz de confusão para o índice Kappa, segundo Landis e Koch (1977) e Congalton e Green (1999), foi obtido valor excelente na classificação de desempenho.

**Figura 21:** Uso e cobertura da terra de 2018 na zona de amortecimento.

**Fonte:** Elaborado pelo autor (2019).

O período de 2019 (Figura 22), em comparação com o ano de 2015, mostrou incremento na alteração da paisagem entre as classes Culturas Temporárias, Área Florestal e Águas Continentais; por outro lado, as classes Área Campestre e Área Descoberta apresentaram redução, porém, com valores incipientes. Essa dinâmica das classes representa os múltiplos cenários de uso da terra, ponto comum aos estudos realizados, por exemplo, por: Brito e Guedes (2016); Bezerra Júnior, Guedes e Costa (2016); Freitas e Guedes (2018); e Costa, Freitas e Guedes (2019).

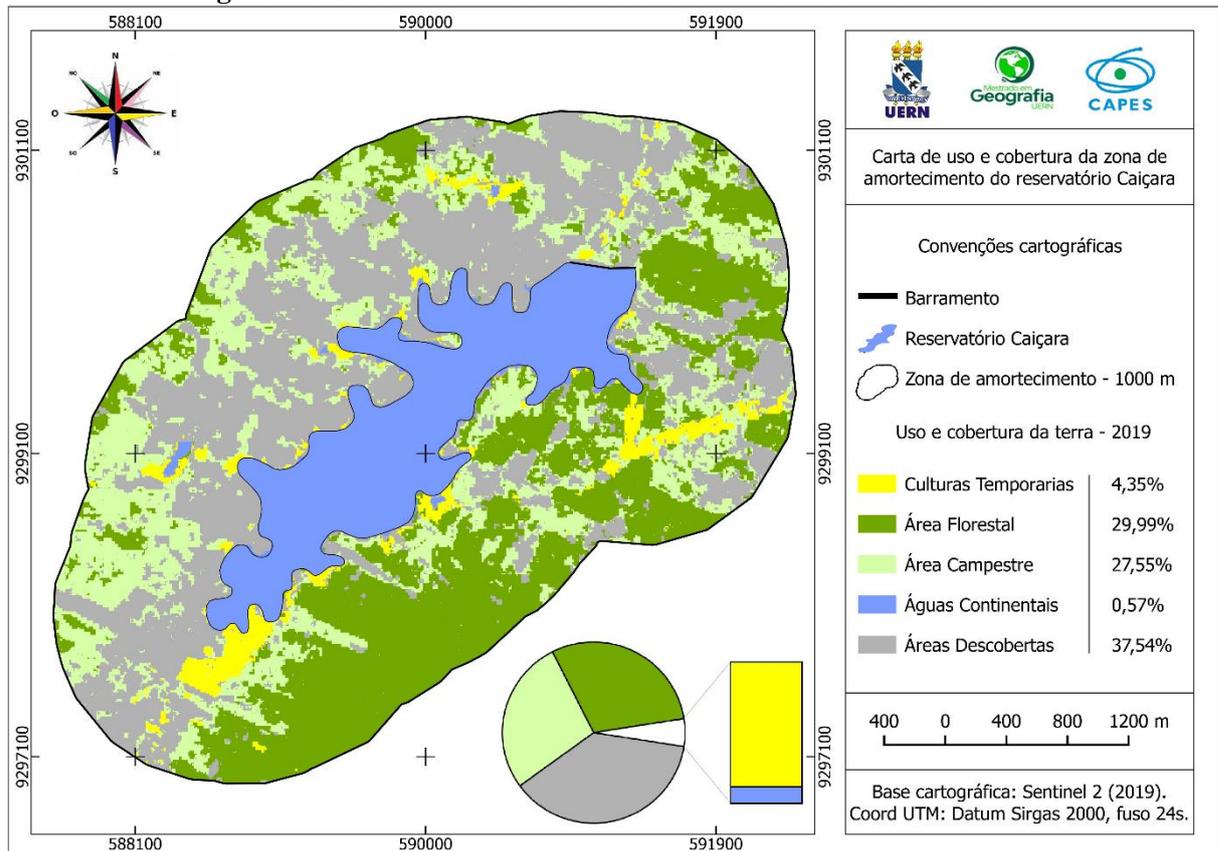
Para as classes temáticas que aumentaram, houve incremento de 35,47%, o que perfaz área de 155,13ha, em comparação entre 2019 e 2015. Em valor individualizado, as classes Culturas Temporárias e Águas Continentais obtiveram expansão de 85,58% e 79,65%, representando 46,68ha e 5,6ha, nessa ordem; por sua vez, o aumento da classe Área Florestal apresentou a maior taxa, correspondendo a 27,37%, com 102,85ha. O padrão de distribuição é caracterizado por toda zona de amortecimento, com destaque ao sentido leste e sul, especialmente no tocante à Área Florestal.

Nesse período, as classes Área Campestre e Área Descoberta apresentaram 27,55% e 37,54%, o que equivale a mais de 345,15ha e de 470,32ha, respectivamente. Na comparação

entre 2019 e 2015, foi possível observar, na classe Área Campestre, um decréscimo de 42,29%, compreendendo uma diminuição de 145,97ha; já a classe Área Descoberta obteve redução de 1,00%, o que resulta em 4,74ha de decréscimo; a distribuição das classes ocorreu no sentido oeste e sul, principalmente referente à classe Área Descoberta. Conforme ressaltam Freitas e Guedes (2018), essa classe reúne vários processos antrópicos, sobretudo a descaracterização total ou parcial do ambiente.

Os valores de concordância na Exatidão Global atingiram 0,95; em compensação, os valores de Kappa e de Tau apresentaram 0,93 e 0,93, nesta ordem. Na classificação de desempenho, de Landis e Koch (1977) e de Congalton e Green (1999), o índice Kappa obteve resultado excelente no desempenho da acurácia.

**Figura 22:** Uso e cobertura da terra de 2019 na zona de amortecimento.



Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

### 6.3.2. Análise do Índice de Pressão Antrópica (IPA)

A Tabela 3 e a Figura 23 mostram o processo de pressão antrópica no sistema ambiental, representado pelo estado medianamente degradado sob esse contexto, podendo afetar seriamente a dinâmica do sistema ambiental caso esse estado avance pela zona de

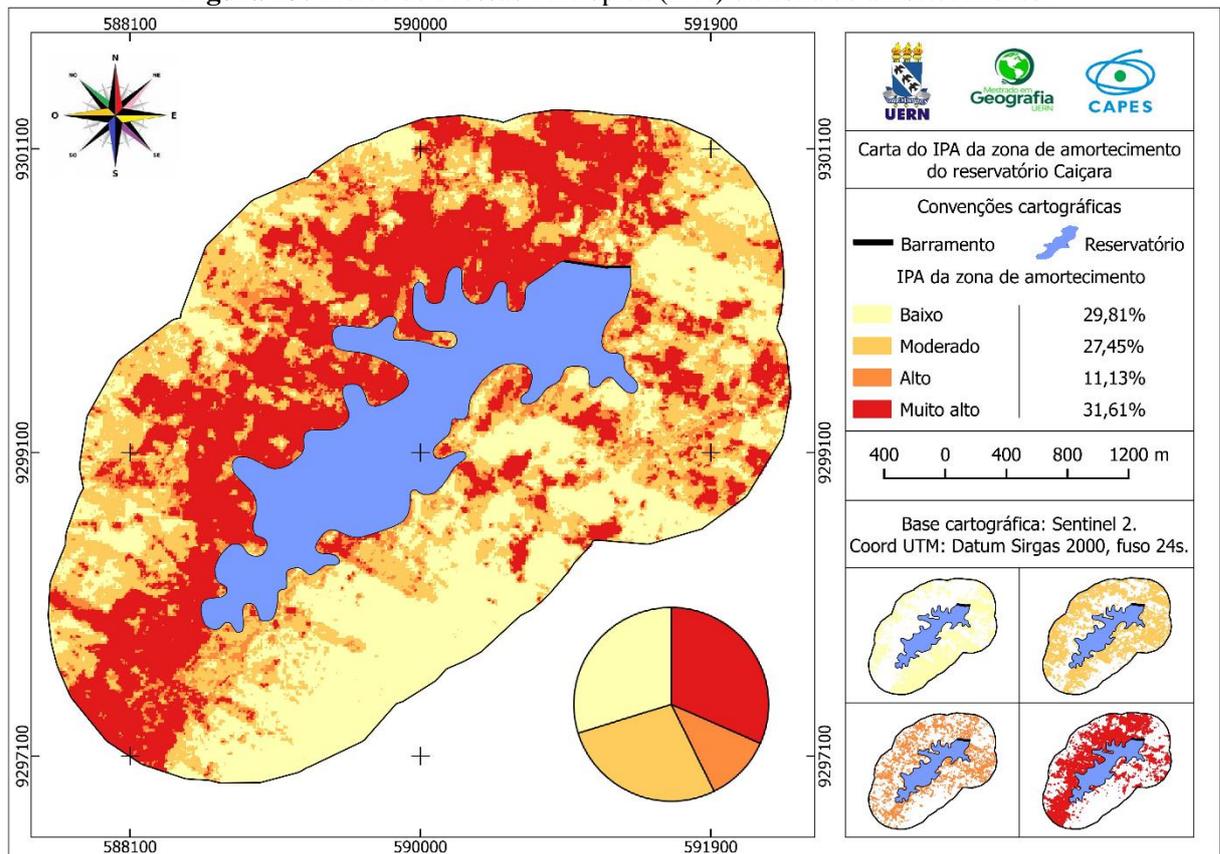
amortecimento. Logo, pode-se observar, nos parâmetros baixo e moderado, valores de 373,47ha e 343,89ha, o que representa 29,81% e 27,45%, respectivamente, totalizando 57,26% em área, ao passo que os parâmetros alto e muito alto ocupam 139,38ha e 396,04ha, o que corresponde a 11,13% e 31,61%, o que evidencia, portanto, 42,74% em área total.

**Tabela 2:** Dados do Índice de Pressão Antrópica (IPA).

Parâmetros	Índice de Pressão Antrópica – IPA	
	Hectare (ha)	Porcentagem (%)
Baixo	373,47	29,81
Moderado	343,89	27,45
Alto	139,38	11,13
Muito alto	396,04	31,61
<b>Total</b>	<b>1.252,78</b>	<b>100</b>

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

**Figura 23:** Índice de Pressão Antrópica (IPA) da zona de amortecimento.



Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Na análise dos parâmetros baixo e moderado, constatou-se, no sentido leste, a maior área de manutenção, que preserva a cobertura natural em razão do acentuado declive na Serra do Panati; a esse respeito, Almeida e Alves (2014) afirmam que a Serra do Panati se encontra em uma declividade superior a 45°, com baixo uso da área. Por outro lado, o sentido oeste

indicou a menor área de cobertura natural. O parâmetro baixo representa a vegetação florestal, com forma e padrão naturais, agregando várias fisionomias de porte arbóreo; já o parâmetro moderado é caracterizado pela cobertura campestre, o que significa fisionomias esparsas de porte subarbustivo e arbustivo, como também os corpos d'água e suas margens de cobertura secundária.

Conforme salientam Ribeiro, Galvanin e Paiva (2017), torna-se fundamental manter a cobertura natural, visando ao equilíbrio do sistema ambiental e, nesse sentido, amenizar os efeitos negativos dos múltiplos impactos de origem antrópica. Portanto, faz-se necessário manter a cobertura natural, em especial, as áreas que apresentam maior vulnerabilidade às ações antrópicas, como por exemplo, as do entorno dos reservatórios e de seus canais hidrográficos, haja vista que são sistemas que desempenham funções vitais tanto para o funcionamento quanto para o desenvolvimento da vida natural e humana.

Na comparação entre o baixo e moderado, houve variação percentual de 29,58ha, equivalendo a 7,92% de decréscimo entre os respectivos parâmetros, o que significa a recomposição da cobertura natural, que normalmente está associada às espécies de rápida germinação e maturação. A proteção da cobertura natural no entorno de recursos hídricos representa a manutenção da qualidade ambiental interna e externa das reservas, de forma a preservar suas margens e o controle no fluxo de energia, aliado, também, ao volume de água, o que exerce, desse modo, papel fundamental no sistema ambiental (FREITAS; GUEDES, 2018; SANTOS; NUNES; SANTOS, 2018).

Ao considerar a soma dos parâmetros de menor pressão antrópica, concentra-se a área de cobertura natural, que é, geralmente, de baixa intervenção antrópica; trata-se, portanto, de vegetação com características de espécies arbóreas, aliada a espécies subarbustivas e arbustivas, em agrupamentos esparsos, com exceção das porções territoriais que se encontram ao sopé da Serra do Panati. O resultado da comparação mostrou que o processo de classificação utilizou sobretudo a cobertura natural, especialmente as espécies arbóreas inalteradas ou em processo de regeneração.

No caso dos parâmetros alto e muito alto, estes reúnem as áreas de intensa pressão antrópica. O parâmetro alto é constituído, principalmente, de área descoberta, associada às porções de pasto manejado, incluindo as irregularidades das espécies herbáceas; acerca desse aspecto, Loebmann *et al.* (2012) afirmam que os fragmentos das herbáceas em pastos manejados, em alguns casos, possuem espécies sem caules, apresentando, também, dispersão aleatória entre seus fragmentados. Para o parâmetro muito alto, têm-se áreas de cultivo temporário, que surgem no uso diverso, e, em maior proporção, há áreas sem cobertura vegetal,

as quais foram manejadas em múltiplos usos da terra de maior ou menor grau, geralmente utilizadas na obtenção de produtos florestais e/ou limpeza de áreas para o cultivo temporário, assim como há, também, os afloramentos rochosos em soerguimento, que estar relacionados as rápidas alterações na superfície e, ainda, as edificações de moradias. A localização espacial dos parâmetros pode ser observada no sentido norte e sul, em especial, a oeste.

Segundo Almeida e Vieira (2019), a constante perda da cobertura nativa para múltiplos usos da terra traz consequências diretas à diversidade do sistema ambiental, logo, compromete, com efeito, os serviços ecossistêmicos prestados, tanto no sistema terrestre quanto no aquático. Também é possível afirmar que a perda contínua gera danos irreparáveis, afetando seriamente a restauração do sistema ambiental, nesse caso, as margens dos reservatórios e seus canais hidrográficos, fundamentais para a vida útil dos reservatórios.

Para a variação percentual dos parâmetros alto e muito alto, têm-se 256,66ha, o que corresponde a acréscimo de 184,14% entre os dois. Esse elevado acréscimo é caracterizado pelas atividades de pressão no entorno da reserva, as quais contribuem – seja em maior ou em menor grau – para a perturbação antrópica. A intensa pressão, intercalada a formas e padrões irregulares de uso da terra, representa as transformações dos agentes exógenos ao ambiente e, como consequência, há a alteração da qualidade ambiental das reservas – em especial, na qualidade da água sob fontes pontuais e/ou dispersas – e, também, a possibilidade de diminuição da capacidade da bacia hidráulica a partir da eutrofização da reserva (COSTA; GUEDES; ROCHA, 2014; GUEDES; COSTA, 2017).

As identificações, os mapeamentos e as interpretações visuais das informações temáticas – que representaram a pressão antrópica no ambiente – possibilitaram as comparações dos parâmetros alto ou muito alto. As alterações da área natural tiveram como base as múltiplas atividades antrópicas, as quais transformaram o sistema ambiental, e, por conseguinte, ampliaram os processos de perturbações, causando tanto pressão no ambiente, bem como gerando irreparáveis danos em cadeia.

#### **6.4. CONSIDERAÇÕES FINAIS**

O reconhecimento, a identificação e a interpretação de objeto por meio de imagens de satélite, com média resolução espacial e série multitemporal, tornaram possível a classificação do uso e cobertura na zona de amortecimento do reservatório Caiçara, além de também terem permitido a representação e a determinação das classes na área geográfica.

Para uso e cobertura da terra, foi possível perceber as classes Área Campestre e Área Descoberta, que representaram as de maior potencial dos impactos negativos, haja vista a grande extensão de uso nas classificações. Os impactos nessas classes incluem, além de derrubada recente de vegetação e da abertura de clareiras, o destocamento do solo para múltiplos usos. Já a classe Cultura Temporária apresentou variações no processo de uso, em detrimento da escassez hídrica na reserva e também do baixo escoamento dos recursos hídricos nos canais fluviais no período chuvoso; por outro lado, a classe Área Florestal obteve considerável manutenção de remanescentes florestais, bem como apresentou área em processo de regeneração.

O emprego do índice possibilitou agrupar as classificações de uso e cobertura, o que pôde auxiliar no diagnóstico dos níveis de perturbação humana na zona de amortecimento, possibilitando, assim, indicar medidas mitigadoras no processo de uso da área, de modo a facilitar ações de gestão e gerenciamento ambiental da reserva e de seu entorno, e, por conseguinte, permitir uma ampliação do estado de preservação e de conservação do sistema ambiental.

As pressões na área geográfica são fragmentadas, especialmente no que se refere aos parâmetros de menor impacto, o que representa formato desfavorável na discriminação dos objetos e, muitas vezes, dificulta o monitoramento das condições ambientais. De outro lado, os parâmetros de maior impacto são caracterizados pelo potencial de discriminação dos objetos, considerando-se a área geográfica sem fragmentação, conseguindo, assim, um bom contraste de visualização.

Por todo exposto, considera-se que a pressão no estado medianamente degradado só é possível por meio do equilíbrio no uso do ambiente; então, faz-se necessário o desenvolvimento de plano de manejo sustentável, no intuito de ampliar o estado de recuperação, preservação e conservação ambiental, utilizando-se de técnicas e métodos de tratamento de dados em ambiente SIG.

## **6.5. AGRADECIMENTOS**

O presente trabalho foi desenvolvido com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) – sob Código de Financiamento 001.

## 6.6. REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, A. S.; VIEIRA, I. C. G. Transformações antrópicas da paisagem agrícola com palma de óleo no Pará. **Revista Novos Cadernos NAEA**. Belém, v.22, n.2, p.9-26, 2019. Disponível em: <https://periodicos.ufpa.br/index.php/ncn/article/view/6535>. 28 de jul. 2020
- ALMEIDA, J. E.; ALVES, A. M. **Zoneamento ecológico-econômico do Alto Oeste Potiguar: microrregiões de Pau dos Ferros, São Miguel e Umarizal**. Mossoró: Queimabucha, 2014.
- ANTONINO, A. C. D.; AUDRY, P. **Utilização de água no cultivo de vazante no semi-árido do Nordeste Brasileir**. Recife: Ed. UFPE; IRD, 2001.
- ARAÚJO, J. C. Recursos hídricos em regiões semiáridas. In: GHEYI, H. R.; PAZ, V. P. S.; MEDEIROS, S. S.; GALVÃO (Org.). **Recursos hídricos em regiões semiáridas: teorias e aplicações**. Campina Grande: INSA, 2012. Cap.2, p.30-39.
- BACANI, V. M. **Geotecnologias aplicadas ao ordenamento físico-territorial da bacia do alto rio coxim, MS**. Tese (Doutorado em Geografia Física) – Universidade de São Paulo, São Paulo – SP, 2010. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/8/8135/tde-10012011-131655/pt-br.php>. Acesso em: 27 de nov. 2019.
- BEZERRA JÚNIOR, A.; GUEDES, J. A.; COSTA, L. B. **Análise do uso e ocupação da terra no reservatório público de Água Nova-RN**. In: ALVES, L. S. F.; CARNEIRO, R. N. (Org.). XXII Encontro Estadual de Geografia do Rio Grande do Norte: desafios da gestão dos recursos hídricos no estado do Rio Grande do Norte. Natal: CCHLA, 2016, p.227-237. Disponível em: <http://egeorn2016pdf.blogspot.com/2016/>. Acesso em: 26 de nov. 2019.
- BEZERRA JÚNIOR, A.; GUEDES, J. A. Caracterização e análise do uso e ocupação da terra no entorno do reservatório Santana, Rafael Fernandes/RN. **Revista Okara**, João Pessoa, v.10, n.3, p.517-530, 2016. Disponível em: [www.periodicos.ufpb.br/index.php/okara/article/download/28365/16852](http://www.periodicos.ufpb.br/index.php/okara/article/download/28365/16852). Acesso em: 26 de nov. 2019.
- BRITO, R. H. L.; GUEDES, J. A. Uso e ocupação das terras no entorno do reservatório Maretas, Rafael Fernandes, RN. In: Congresso Brasileiro de Educação Ambiental e Aplicada, 5. 2016. **Anais...** Fortaleza, 2016. p.11-16.
- CARVALHO, R. G.; KELTING, F. M. S.; SILVA, E. V. Indicadores socioeconômicos e gestão ambiental nos municípios da bacia hidrográficas do rio Apodi-Mossoró, RN. **Revista Sociedade & Natureza**, Uberlândia, v.23, n.1, p.143-159, 2011. Disponível em: <http://www.seer.ufu.br/index.php/sociedadennatureza/article/view/11259>. Acesso em: 10 de mai. 2019.
- CIRILO, J. A. Políticas públicas de recursos hídricos para o semiárido. **Estudos Avançados**. São Paulo, v.22, n.63, p.61-83, 2008. Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0103-40142008000200005](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-40142008000200005). Acesso em: 28 de out. 2019.
- COHEN, J. A. Coefficient of agreement for nominam scales. **Educational and Psychological Measurement**, Durham, v.20, n.1, p.37-46, 1960. Disponível em:

<https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1177/001316446002000104?journalCode=epma>. Acesso em: 29 de nov. 2019.

CONGALTON, R. G. A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data. **Remote Sensing of Environment**, v.49, n.12, p.1671-1678, 1991. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/003442579190048B>. Acesso: em 20 de out. 2019.

CONGALTON, R. G.; GREEN, K. **Assessing the accuracy of remotely sensed data: principles and practices**. New York: Lewis Publishers, 1999.

COSTA, D. F. S.; GUEDES, J. C. F.; ROCHA, R. M. Estratégia de zoneamento ambiental aplicada à gestão das margens de reservatórios. **Revista Geosul**, Florianópolis, v.29, n.58, p. 145-159, 2019. Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/geosul/article/view/31683>. Acesso em: 28 de nov. 2019.

COSTA, G. S.; FREITAS, F. W. S.; GUEDES, J. A. Uso e ocupação no entorno do reservatório Beldroega (Paraíba/RN). **Revista GeoInterações**, Assú, v.3, n.1, p.86-100, 2019. Disponível em: <http://periodicos.uern.br/index.php/geointeracoes/article/view/4103/2068>. Acesso em: 28 de nov. 2019.

DINIZ, M. T. M.; PEREIRA, V. H. C.; Climatologia do Estado do Rio Grande do Norte, Brasil: sistemas atmosféricos atuantes e mapeamento de tipos de clima. **Boletim Goiano de Geografia**, Goiânia, v.35, n.3, p.488-506, 2015. Disponível em: <https://www.revistas.ufg.br/bgg/article/view/38839>. Acesso em: 15 de set. 2019.

DNOCS. Departamento Nacional de Obras Contra as Secas. **Ficha técnica do açude de Marcelino Vieira**. Disponível em: [https://www.dnocs.gov.br/php/canais/recursos\\_hidricos/fic\\_tec\\_reservatorio.php?codigo\\_reservatorio=277&descricao\\_reservatorio=A%E7ude+Marcelino+Vieira](https://www.dnocs.gov.br/php/canais/recursos_hidricos/fic_tec_reservatorio.php?codigo_reservatorio=277&descricao_reservatorio=A%E7ude+Marcelino+Vieira). Acesso em: 28 de jun. 2019.

FLORENZANO, T. G. Sensoriamento Remoto para Geomorfologia. In: **Geomorfologia: Conceito e tecnologias atuais**. 3. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2008. Cap. 2, p.36-65.

FREITAS, F. W. S.; GUEDES, J. A.; COSTA, F. R. Análise socioambiental do reservatório público do município de Riacho da Cruz (RN). **Revista Geotemas**, Pau dos Ferros, v.6, n.1, p.03-18, 2016. Disponível em: <http://www2.uern.br/index.php/geotemas/article/view/1742>. Acesso em: 25 de jul. 2020.

FREITAS, F. W. S.; SILVA, M. R. F.; GUEDES, J. A. Gestão de recursos hídricos: a percepção de atores sociais acerca do reservatório Passagem. **Revista Geopauta**, Vitória da Conquista, v.4, n.2. p.71-90, 2020. Disponível em: <http://periodicos2.uesb.br/index.php/geo/article/view/6369>. Acesso em: 25 de jul. 2020.

FREITAS, F. W. S.; GUEDES, J. A. Uso e ocupação do entorno do reservatório público do município de Riacho da Cruz (RN). **Revista Plural**, Ponta Grossa, v.12, n.1, p.77-90, 2018. Disponível em: <https://www.revistas2.uepg.br/index.php/tp/article/view/10329/209209210129>. Acesso em: 26 de nov. 2019.

GHEYI, H. R.; PAZ, V. P. S.; MEDEIROS, S. S.; GALVÃO, C. O. **Recursos hídricos em regiões semiáridas**. Campina Grande: INSA, 2012.

GOUVEIA, R. G. L.; GALVANIN, E. A. S.; NEVES, S. M. A. S. Aplicação do índice de transformação antrópica na análise multitemporal da bacia do córrego do bezerro vermelho em Tangará da Serra – MT. **Revista Árvore**, Viçosa, v.37, n.6, p.1045-1054, 2013.

Disponível em:

[http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S010067622013000600006&script=sci\\_abstract&tlng=pt](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S010067622013000600006&script=sci_abstract&tlng=pt).

Acesso em: 27 de nov. 2019.

GUEDES, J. A; COSTA, F. R. Qualidade ambiental de dois reservatórios públicos na região do Alto Oeste Potiguar (RN/Brasil). **Revista GeoInterações**, Assú, v.1, n.1, p.03-16, 2017.

Disponível em: <http://ojs.uern.br/index.php/geointeracoes/article/view/2177>. Acesso em: 26 de nov. 2019.

HELLDE, U.; STERN, M. **Evaluation of Landsat imagery and digital data for monitoring desertification indicators in Tunisia**. In: International Symposium on Remote Sensing of Environment, 14 ed. San Jose, Costa Rica, 1980, p.1601-1610.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas. **Manual técnico de uso da terra**. 3. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2013.

IDEMA. Instituto de Desenvolvimento Sustentável e Meio Ambiente do Rio Grande do Norte. **Perfil do seu Município – Marcelino Vieira**. Natal, v.10, p. 01-22, 2008. Disponível em: <http://adcon.rn.gov.br/ACERVO/idema/DOC/DOC00000000013965.PDF>. Acesso em: 26 de jun. 2019.

JENKS, G. F. **Optimal data classification for choropleth maps**: Occasional Paper. University Kansas: Lawrence, 1977.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento remoto do ambiente**: uma perspectiva em recursos terrestres. São José dos Campos: Parêntese, 2019.

KLECKA, W. R. **Discriminant analysis**. Newbury Park: SAGE Publications, 1980.

LANDIS, J. R.; KOCH, G. G. The measurement of observer agreement for categorical data. **Biometrics**, Washington, v.33, n.1, p. 159-174, 1977. Disponível em:

<https://www.jstor.org/stable/2529310?origin=JSTOR-pdf&seq=1>. Acesso em: 15 de dez. 2019.

LEITE, E. F.; ROSA, R. Análise do uso, ocupação e cobertura da terra na bacia hidrográfica do rio Formiga, Tocantins. **OBSERVATORIUM**: Revista Eletrônica de Geografia, Uberlândia, v.4, n.12, p.90-106, 2012. Disponível em:

<http://www.observatorium.ig.ufu.br/pdfs/4edicao/n12/05.pdf>. Acesso em: 26 de nov. 2019.

LOEBMANN, D.G.S.W.; MACORANO, R.P.; SILVA, G.B.S.; VICENTE, L.E.; VICTORIA, D.C. **Interpretação de alvos a partir de imagens de satélite de média resolução espacial**. Campinas: EMBRAPA, 2012. Disponível em:

<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/85516/1/048-12.pdf>. Acesso em: 14 de mar. 2020.

MARÍN, O. A. H.; LEAL, A. C.; FERNANDES, E.; FERREIRA, E.; TROLES, A. L.; FERREIRA, S. M. Panorama da gestão dos recursos hídricos no estado do Rio Grande do Norte, Brasil. **Revista Formação**, Presidente Prudente, v.1, n.23, p.248-273, 2016.

Disponível em: <http://revista.fct.unesp.br/index.php/formacao/article/view/3577/3177>. Acesso em: 28 de nov. 2019.

MOLLE, F. **Marcos históricos e reflexões sobre a açudagem e seu aproveitamento**. Recife: SUDENE, 1994.

MOLLE, F.; CADIER, E. **Manual do pequeno açude**. Recife: SUDENE, 1992.

NASCIMENTO, F. R. **Degradação ambiental e desertificação no Nordeste brasileiro: o contexto da bacia do Rio Acaraú – Ceará**. Tese (Doutorado em Geografia), Universidade Federal Fluminense. Niterói – RJ, 2006. Disponível em: [http://www.dominiopublico.gov.br/pesquisa/DetalheObraForm.do?select\\_action=&co\\_obra=59969](http://www.dominiopublico.gov.br/pesquisa/DetalheObraForm.do?select_action=&co_obra=59969). Acesso em: 27 de nov. 2019.

NOVO, E. M. L. M. **Sensoriamento remoto: princípios e aplicações**. 4. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 2010.

PARANHOS FILHO, A. C.; MIOTO, C. L.; MARCATO JUNIOR, J.; CATALANI, T. G. T. **Geotecnologias em aplicações ambientais**. Campo Grande: UFMS, 2016.

REBOUÇAS, A. C. Água na região Nordeste: desperdício e escassez. **Estudos Avançados**. São Paulo, v.11, n.29, p.127-154, 1997. Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0103-40141997000100007](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-40141997000100007). Acesso em: 28 de out. 2019.

RIBEIRO, H. V.; GALVANIN, E. A. S.; PAIVA, M. M. Análise das pressões antrópicas na bacia Paraguai/Jauquara-Mato Grosso. **Revista Ciência e Natura**. Santa Maria, v.39, n.2, p.378-389, 2017. Disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/cienciaenatura/article/view/26090>. Acesso em: 23 de mar. 2020.

RICHARDS, J. A.; JIA, X. **Remote sensing digital image analysis**. 4. ed. Berlin: Springer, 2006.

ROSA, R. **Introdução ao sensoriamento remoto**. 7 ed. São Paulo: EDUFU, 2008.

ROSS, J. L. S. **EcoGeografia do Brasil: subsídios para planejamento ambiental**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009.

SALGADO, C. B.; CARVALHO JÚNIOR, O. A.; GOMES, R. A. T.; GUIMARÃES, R. F. Análise da interferência de nuvens na classificação de séries temporais MODIS-NDVI na região da Amazônia, município de Capixaba, Acre. **Revista Sociedade e Natureza**, Uberlândia, v.31, n.2, p.1-20, 2019. Disponível em: <http://www.seer.ufu.br/index.php/sociedadennatureza/article/view/47062>. Acesso em: 25 de jul. 2020.

SANTOS, A. M.; GOMIDES, M. L. C. A. A ocupação no entorno das terras indígenas em Rondônia, Brasil. **Boletim Goiano de Geografia**, Goiânia, v.35, n.3, p.417-436, 2015. Disponível em: <https://www.revistas.ufg.br/bgg/article/view/38834>. Acesso em 01 de jun. 2019.

SANTOS, S. A.; NUNES, F. G.; SANTOS, A. M. Intensidade dos processos antropogênicos no entorno do reservatório do Ribeirão João Leite, Goiás, Brasil. **Revista do Departamento**

**de Geografia da USP.** São Paulo, n.36, p.63-76, 2018. Disponível em:  
<https://www.revistas.usp.br/rdg/article/view/142709>. Acesso em 01 de jun. 2019.

SEMARN. Secretaria de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos. **Ficha técnica do reservatório de Marcelino Vieira.** Disponível em:  
<http://servicos.searh.rn.gov.br/semarh/sistemadeinformacoes/consulta/cResFichaTecnica.asp?IdReservatorio=7>. Acesso em: 28 de jun. 2019.

STRAŠKRABA, M.; TUNDISI, J. G. **Gerenciamento da qualidade da água de represas.** 3. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2013.

TUNDISI, J. G. Reservatórios como sistemas complexos: teoria, aplicações e perspectivas para usos múltiplos. In: HENRY, R. **Ecologia de reservatórios:** estrutura, função e aspectos sociais. Botucatu: FUNDIBIO, 2007. Cap.1, p.19-38.

TUNDISI, J. G.; MATSUMURA-TUNDISI, T.; TUNDISI, J. E. M. Reservoirs and human well being: new challenges for evaluating impacts and benefits in the neotropics. **Brazilian Journal of Biology**, São Carlos, v.69, n.4, p.1133-1135, 2008. Disponível em:  
[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1519-69842008000500020](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1519-69842008000500020). Acesso em: 29 de nov. 2019.

XAVIER-DA-SILVA, J.; ZAIDAN, R. T. **Geoprocessamento e análise ambiental:** aplicações. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2013.

## **7. ZONEAMENTO DA ZONA DE AMORTECIMENTO DO RESERVATÓRIO CAIÇARA (MARCELINO VIEIRA/RN) ENQUANTO SUBSÍDIO A GESTÃO E AO GERENCIAMENTO**

### **7.1. INTRODUÇÃO**

Os reservatórios na região Nordeste representam grande parte da solução hidráulica (ASSUNÇÃO; LIVINGSTONE, 1993), particularmente na região semiárida, pois sua construção viabilizava o atendimento às necessidades básicas de armazenamento e de abastecimento. Seguindo esse cenário, o INOCS (Inspetoria de Obras Contra a Seca), atual DNOCS (Departamento Nacional de Obras Contra a Seca), estabeleceu os reservatórios de diferentes portes como fundamentais ao desenvolvimento socioeconômico (MOLLE, 1994).

Para Molle e Cadier (1992), os reservatórios no semiárido são, também, um mitigador dos efeitos das secas. Segundo Molle (1994, p. 14), “[...] esses corpos hídricos são o único meio de suprir a falta de rios perenes e de lagos ou lagoas permanentes [...]”, principalmente em sua parte do embasamento cristalino. Em linhas gerais, a construção de reservatórios pode ser considerada como elemento vital ao enfrentamento das adversidades climáticas e hidrológicas, representando, em parte, um dos meios de estabilização da vida.

Os reservatórios, entretanto, estão submetidos a transformações antrópicas, que são determinadas pelos usos múltiplos da terra, bem como suas características de operação e funcionamento (TUNDISI, 2006). Deve-se, ainda, levar em consideração a pressão antrópica, em cascata, no sistema, a qual agrava os efeitos biofísicos que afetam o equilíbrio do sistema natural e, assim, impossibilita a gestão e o gerenciamento com base na sustentabilidade (PERIOTTO; TUNDISI, 2013).

Para o presente estudo de caso, realizado no reservatório Caiçara, no município de Marcelino Vieira (RN), é possível observar, acerca dos usos múltiplos da terra, um considerável nível de pressão antrópica, uma vez que as atividades econômicas relacionadas à pecuária e à agricultura estão comprometendo os sistemas ecológicos, particularmente, as margens de montante e jusante, promovendo, desse modo, as alterações no sistema ambiental.

Assim, equacionar as necessidades dos recursos hídricos e as atividades econômico-produtivas nas áreas sob a influência do reservatório tem se constituído um desafio no que concerne tanto à utilização dos recursos naturais como à manutenção de suas reservas. Isso porque as formas produtivas de aproveitamento das margens são meios de sustentação econômica de várias famílias, porém, quando não são bem orientadas e planejadas, podem

resultar muito negativamente na qualidade ambiental do reservatório, em razão de comprometer a dinâmica ambiental.

O presente estudo teve como objetivo elaborar um zoneamento na zona de amortecimento do reservatório Caiçara, a fim de avaliar os níveis de pressão antrópica, e, também, classificar o Índice de Comprometimento Ambiental (ICA), no intuito de indicar ações necessárias à conservação, preservação e recuperação do sistema ambiental, visando, desse modo, contribuir na gestão e no gerenciamento da área pesquisada.

#### 7.1.1. Contextualização teórica

A construção de reservatórios, segundo Tundisi (2006, p. 2), promoveu “[...] consideráveis alterações no regime hidrológico e na dinâmica de rios e bacias hidrográficas [...]”. Neste contexto, os reservatórios de estruturas artificiais tornaram-se um sistema dinâmico e complexo, promovendo uma permanente reestruturação do sistema ambiental e das relações socioeconômicas (JØRGENSEN *et al.*, 2000).

Essa reestruturação, na atualidade, inter-relacionou várias características fundamentais no sistema dos corpos hídricos, formando, com isso, complexas interações, seja na estrutura e funcionamento, seja no ambiente físico, químico e biológico (TUNDISI, 2006; TUNDISI, 2007). Assim, os sistemas complexos de reservatórios certamente têm contribuído para novas perspectivas na gestão e gerenciamento, o que os insere na reorganização espaço-temporal dos sistemas ambientais e humanos.

Tundisi (2007, p. 23) salienta que “os reservatórios são parte de uma bacia hidrográfica e, como tal, detectam todos os efeitos das atividades antropogênicas nessas bacias”. Considerando as múltiplas ações antrópicas, é possível notar que os reservatórios são sistemas híbridos entre rios e lagos, acerca dos quais a sociedade manipula e explora suas condições ambientais e, assim, produz constantemente transformações nos ecossistemas, tanto aquático como terrestre (JØRGENSEN *et al.*, 2000).

Seguindo esse cenário, as pesquisas ambientais em corpos hídricos devem levar em consideração as interferências rápidas e objetivas das ações antropogênicas (STRAŠKRABA; TUNDISI, 2013), tendo em conta que as transformações antropogênicas estão produzindo várias formas e padrões de pressão no ambiente e, conseqüentemente, ampliando os processos de impactos ambientais, comprometendo, assim, a vida útil dos corpos hídricos (JØRGENSEN *et al.*, 2000; PERIOTTO; TUNDISI, 2013).

Os efeitos da pressão antrópica alteram o sistema complexo dos corpos hídricos e produzem novas inter-relações no funcionamento do sistema (TUNDISI; MATSUMURA-TUNDISI; TUNDISI, 2008); essas novas inter-relações produzem as pressões no ambiente e, na maior parte, são responsáveis por quebrar a dinâmica ambiental.

Segundo Ortega (2011), as pressões antrópicas consistem, principalmente, na perturbação imposta aos sistemas naturais, na maioria das vezes, associada à exploração dos recursos terrestres, em especial, da flora. Moreira (1992 *apud* SANCHES, 2013, p. 28) entende que “qualquer alteração no meio ambiente em um ou mais de seus componentes provocada por uma ação humana” gera variados tipos de alterações ambientais, com diferentes dimensões.

As alterações são, portanto, pressão antrópica em suas múltiplas manifestações. Essas pressões no ambiente são, via de regra, os impactos negativos nos sistemas ambientais, representados pela perturbação de causa humana (CUNHA; GUERRA, 2000; SILVA, FELIZMINO; OLIVEIRA, 2015). Frente a esse cenário, sabe-se que as várias formas e padrões de perturbação do ambiente, segundo Sanches (2013), alteram a capacidade da natureza de prover os serviços e as funções essenciais à vida.

Ciente de que os sistemas ambientais são, portanto, essenciais à vida, faz-se necessário ordenar e/ou reordenar a inter-relação do sistema ambiental e humano, estabelecendo, dessa forma, as bases de sustentabilidade, lançando mão dos princípios de zoneamento (EGLER *et al.*, 2003; SILVA; SANTOS, 2004). Nesse sentido, o suporte do zoneamento busca estabelecer diagnóstico, prognóstico e proposta que, ao menos, possibilitem o melhor uso dos recursos ambientais.

Para Rosa (1996) e Santos (2004), o zoneamento é um processo que estabelece um conjunto de normas e visa conhecer e explicar o funcionamento e a organização do ambiente, no intuito de restaurar o ambiente após uma perturbação humana. No desenvolvimento de zoneamento, utilizam-se os SIGs (Sistemas de Informação Geográfica), os quais criaram e também reformularam as metodologias aplicadas aos diferentes modelos de zoneamento (LANG; BLASCHKE, 2009).

Assim, as ferramentas dos SIGs possibilitaram novas tomadas de decisões, além de terem fornecido novas compreensões acerca da organização espacial da superfície terrestre, o que permitiu determinar e/ou acompanhar ações de zoneamentos sustentáveis aos sistemas ambientais. Segundo Xavier-da-Silva e Zaidan (2013), as aplicações de processamentos de dados envolvem os mais altos procedimentos na manipulação de dados e análise ambiental, a fim de identificar e classificar as transformações dos espaços ambientais e artificiais, de acordo

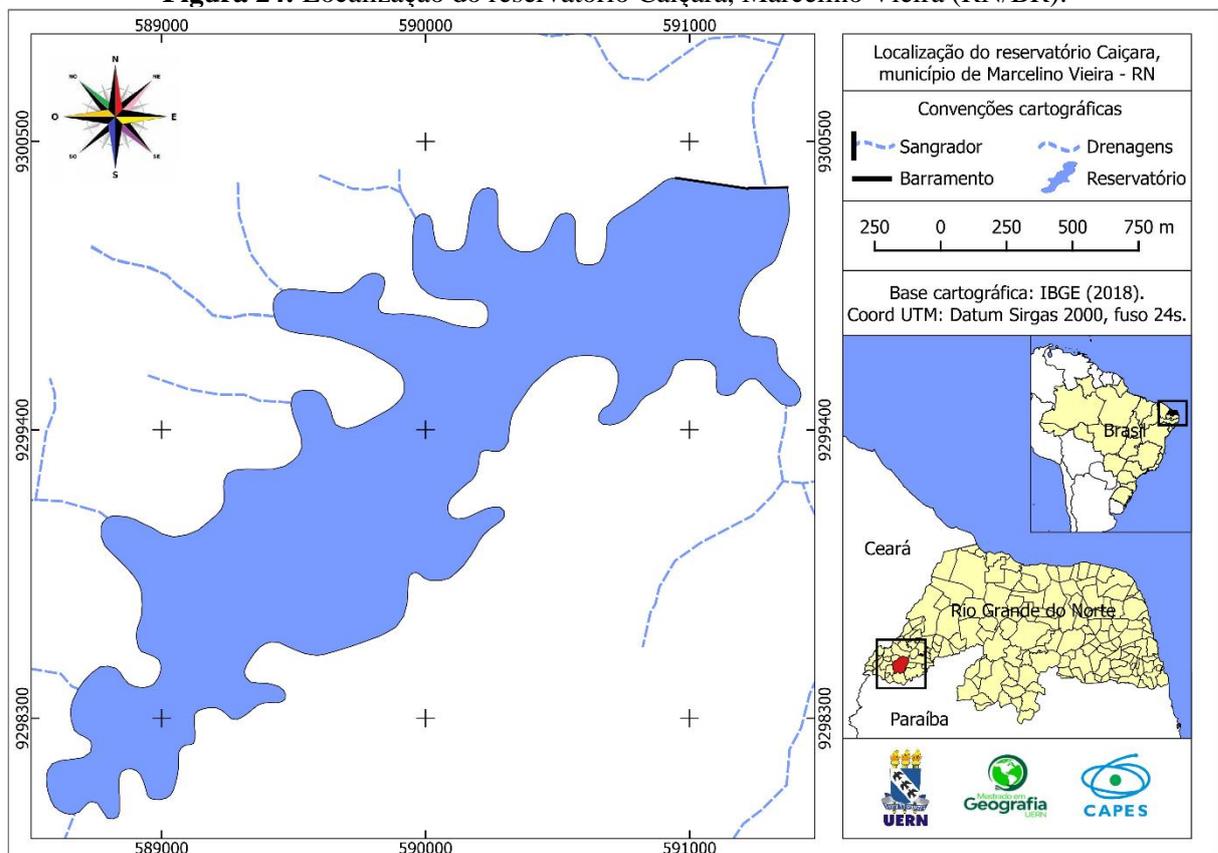
com as funções e operações de Geoprocessamento e de Sensoriamento Remoto (LANG; BLASCHKE, 2009; BUZAI; BAXENDALE, 2015).

## 7.2. MATERIAIS E MÉTODOS

### 7.2.1. Caracterização da área de estudo

A área de pesquisa é o reservatório Caiçara (Figura 24), localizado no município de Marcelino Vieira, Oeste do estado do Rio Grande do Norte, Brasil (IDEMA, 2008), entre as coordenadas planas 588368 S / 9297702 W e 591756 S / 9297702 W. A bacia hidráulica tem capacidade de 11.200.125,00m<sup>3</sup> de armazenamento, o que corresponde à área de 2,18km<sup>2</sup> do território municipal (DNOCS, 2019; SEMARH, 2019). Em termos hidrográficos, a bacia hidráulica localiza-se no alto e médio curso superior do rio Apodi-Mossoró (CARVALHO; KELTING; SILVA, 2011), tendo os riachos Albuquerque e Barro Preto como principais tributários, com regime efêmero e essencialmente intermitente, com padrão de drenagem dendrítica.

**Figura 24:** Localização do reservatório Caiçara, Marcelino Vieira (RN/BR).



Fonte: IBGE (2018). Elaborado pelo autor (2019).

O volume útil do reservatório alcança 78,19%, o que representa 8.757.300,00m<sup>3</sup> da capacidade total de armazenamento, referente ao período de 17 de julho de 2020 (SEMARH, 2020). Esse reservatório, é administrado pelo Instituto de Gestão das Águas do Rio Grande do Norte (IGARN), juntamente com a Secretaria do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos (SEMARH) (DNOCS, 2020).

### 7.2.2. Procedimentos metodológicos

Na primeira etapa da pesquisa foram realizados os levantamentos bibliográficos acerca dos teóricos que abordam a temática de zoneamento. Para os procedimentos metodológicos, utilizou-se a adaptação da proposta de zoneamento (LIMA, 2012) que emprega as técnicas e os métodos de Geoprocessamento e de Sensoriamento Remoto em SIG, aliada ao cálculo do Índice de Comprometimento Ambiental (ICA) (MATTAR NETO; KRÜGER; DZIEDZIC, 2009), no intuito de indicar o nível de comprometimento no sistema ambiental.

Durante a segunda etapa, houve o levantamento das imagens do satélite LANDSAT 5 (órbita ponto – 216/64), sensor TM (*Thematic Mapper*), com resolução espacial de 30 metros, correspondendo a 29 de julho de 2008, disponibilizado gratuitamente pela USGS (*United States Geological Survey*). Logo após, aplicou-se o Processamento Digital de Imagens (PDI) no *software* Qgis®, versão 3.4 Madeira, visando corrigir os erros de ruídos, radiométricos e geométricos (NOVO, 2010; JENSEN, 2011).

Na terceira etapa, efetuou-se a composição no sistema de cores RGB (*Red-Green-Blue*), considerando as bandas espectrais do vermelho (R), verde (G) e azul (B), sensor TM, objetivando a delimitação do reservatório<sup>5</sup>; foi registrado no sistema de projeção UTM (Universal Transversa de Mercator), no *Datum* SIRGAS 2000, meridiano central 39, fuso 24, hemisfério sul. Em seguida, tendo em conta a lâmina d'água do reservatório, utilizou-se a ferramenta *Buffer* para delimitar um *offset* de 1000m, cujo objetivo era determinar a zona de amortecimento.

Para a quarta e quinta etapas, procedeu-se ao levantamento da pressão antrópica na zona de amortecimento, a partir de materiais pré-existentes, considerando como referência o Banco de Dados Geográfico (BDG) do Índice de Pressão Antrópica (IPA). Esses dados espaciais do índice – tanto *shapefile*\* quanto *matricial*\* – incluem, além das informações do índice e das classificações multitemporais do uso e cobertura da terra, as percentagens de área.

---

<sup>5</sup> A utilização das bandas espectrais do sensor TM, satélite LANDSAT 5, deve-se à necessidade de vetorização do reservatório no período de maior volume hídrico.

Por meio das informações obtidas, gerou-se a proposta de zoneamento, tendo como suporte o Código Florestal Brasileiro – Lei nº 12.651/12 –, apoiado na Lei complementar nº 12.727/12 (BRASIL, 2012). Também, optou-se por utilizar as técnicas de agrupamentos de áreas, considerando quatro zonas de análise (Tabela 4).

**Tabela 4:** Critérios de delimitação das zonas de zoneamento.

Zonas	Siglas	Critérios
Preservação Permanente	ZPP	Área caracterizada, por terrenos de preservação permanente, que abarcam APP's no entorno do reservatório, de encostas superiores a 45° graus e de canais fluviais perenes ou intermitentes.
Conservação Ambiental	ZCA	Área definida, na zona de amortecimento, pelos remanescentes de cobertura vegetal parcialmente preservada no sopé da serra do Panati e outras áreas nas proximidades.
Recuperação Ambiental	ZRA	Área determinada por toda incongruência no uso da cobertura vegetal, onde prevalecem coberturas inalteradas ou em processo de regeneração. Somando a isso, têm-se área de pastagem nativa, além de cultura temporária.
Uso Sustentável	ZUS	Área caracterizada com máxima incongruência dos usos múltiplos da terra, sobretudo o plantio de cultura temporária, de pastagem nativa não melhorada e de solo exposto. Além disso, apresentam adensamento desorganizado em expansão.

**Fonte:** Elaborado pelo autor (2020).

Depois, realizou-se a sexta etapa, que representou propriamente a pesquisa de campo, visando ao reconhecimento das zonas pesquisadas e ao aprofundamento das pressões antrópicas *in loco*, com registro de fotografias da realidade em campo, as quais auxiliaram nos reajustes dos materiais cartográficos. Essa etapa foi efetuada no dia 10 de fevereiro de 2020, a partir do método de amostragem por caminhar livre (CAVALCANTI, 2014).

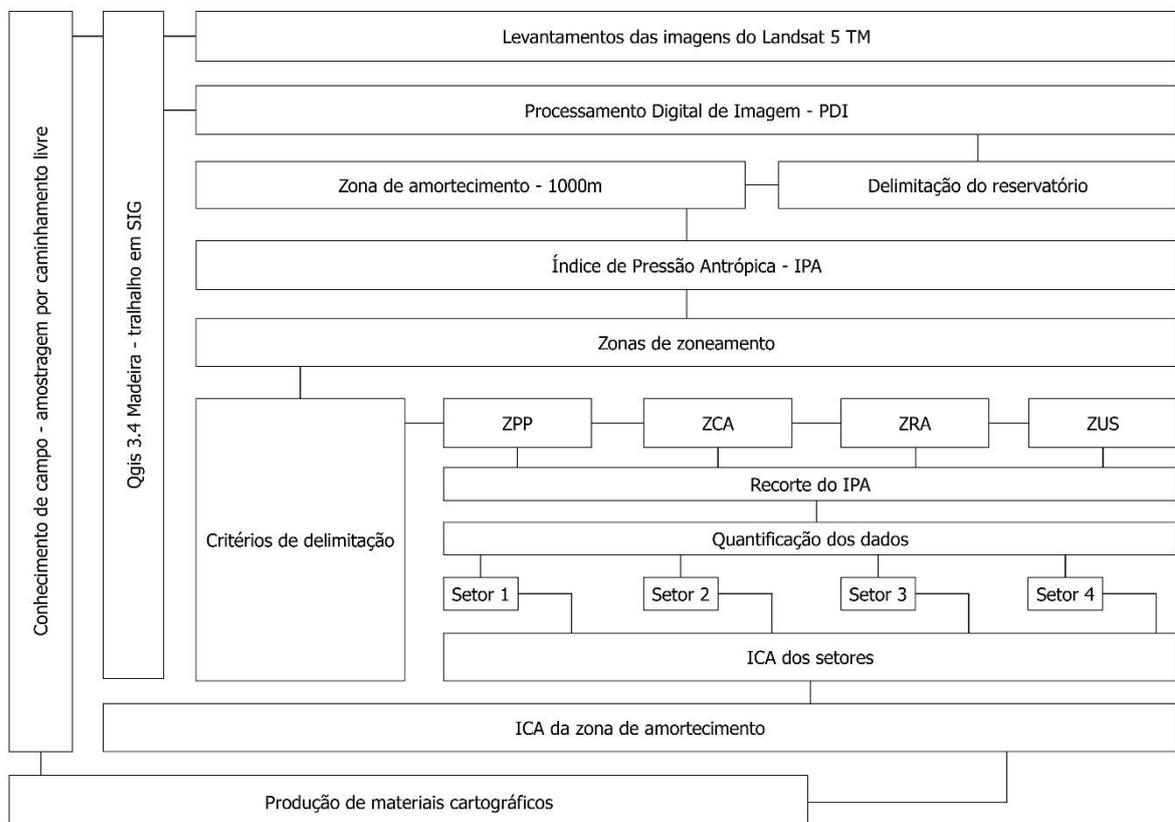
Na sétima etapa, foram utilizadas as quatro zonas no recorte do Índice de Pressão Antrópica (IPA), visando classificar as nomenclaturas do índice para cada zona, considerando os valores de *Natural Breaks* de Jenks (1977) para 4 parâmetros, a saber: baixo (1 - 1,5); moderado (2,5 - 5); alto (5 - 7,5); e muito alto (7,5 - 10). Esse método de quebra, foi desenvolvido por Jenks (1977), a fim de estabelecer um novo método para ajustar os limites não normais e não uniformes. Também, usou-se técnica de estatística básica, principalmente quando se trata de percentagem e variação percentual. Procedeu-se, então, à adaptação da terminologia das zonas de zoneamento, tal como a zona de amortecimento, levando-se em consideração que a terminologia setor e região, respectivamente, ajustam-se às equações matemáticas da metodologia do ICA.

Após obtidos os dados, iniciou-se a oitava etapa, com a realização do cálculo do ICA. Para tal, foi necessário utilizar os dados de área, bem como os níveis de degradação, tanto dos

setores como da região. Com base nos dados dos setores, calculou-se o ICA de cada setor, conforme a equação (1):  $ICA_{\text{setor}} = Q_s/A_s/Q_r/A_r$ . Em que:  $ICA_{\text{setor}}$  é o ICA para o setor;  $Q_s$  é a Quantidade de degradação do setor;  $A_s$  é a Área do setor;  $Q_r$  é a Quantidade de degradação da região; e  $A_r$  é a área da região.

Feito isto, iniciou-se o cálculo da região, envolvendo o ICA de cada setor e o respectivo potencial de degradação da região, que foi calculado na matriz de valoração de Mudge. Assim, pode-se calcular a equação (2):  $ICA_{\text{região}} = \sum_{i=1}^n (ICA_{\text{médio}} * W_i)$ . Na qual:  $ICA_{\text{região}}$  é o ICA para a região;  $ICA_{\text{médio}}$  é o ICA médio da região; e  $W_i$  é o potencial de degradação. Logo depois, obtém-se o ajuste do índice, utilizando a equação (3):  $ICA_{\text{região}} = (ICA_{\text{geral}} - ICA_{\text{min}}) / (ICA_{\text{máx}} - ICA_{\text{min}})$ . Em que:  $ICA_{\text{região}}$  é o ICA da região;  $ICA_{\text{min}}$  é o menor ICA da região; e  $ICA_{\text{máx}}$  é o maior ICA da região. Esse ajuste indica o intervalo de 0 a 1, que representa o menor e o maior comprometimento ambiental, respectivamente. Para saber a intensidade de comprometimento, utiliza-se a escala da metodologia; as equações aplicadas são, essencialmente, sem fins computacionais. As etapas metodológicas são apresentadas no fluxograma (Figura 25).

**Figura 25:** Fluxograma metodológico do zoneamento.

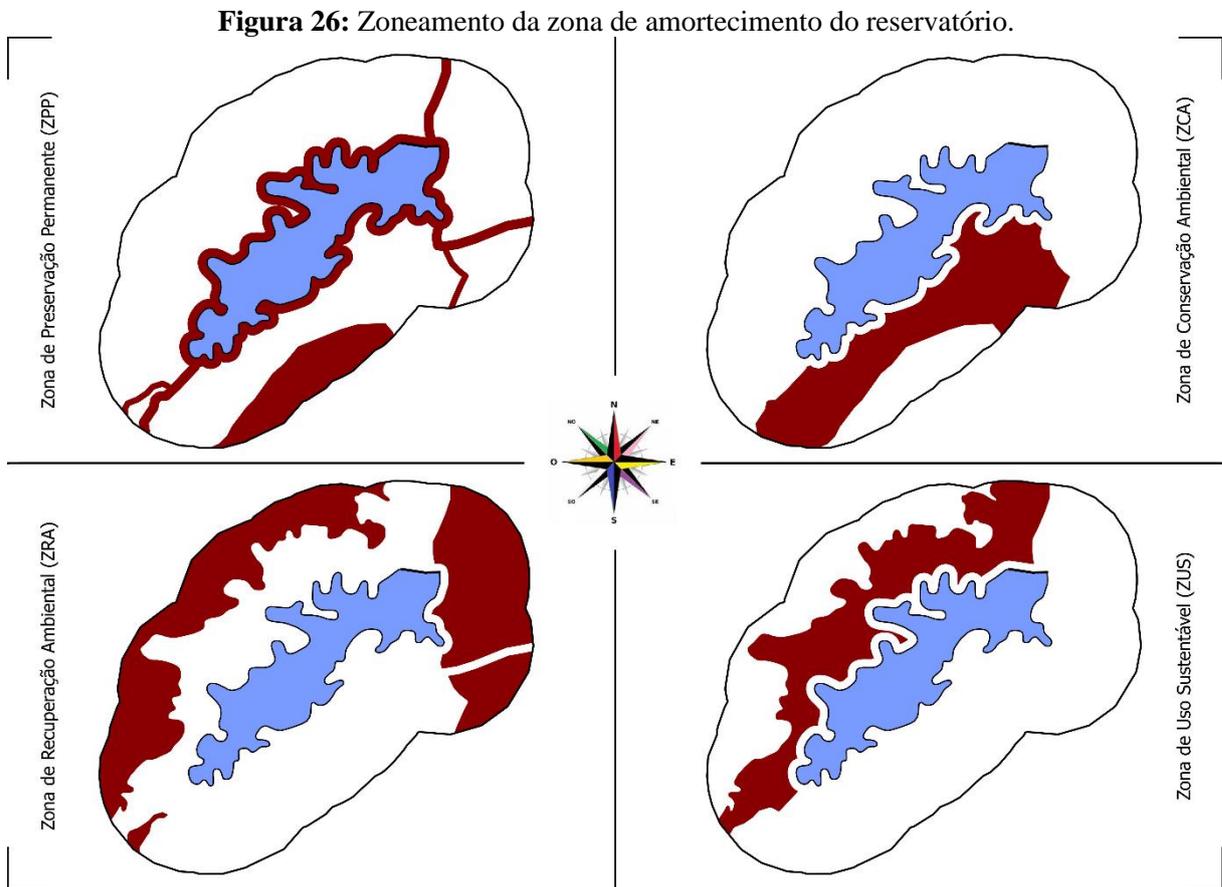


**Fonte:** Elaborado pelo autor (2020).

### 7.3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

#### 7.3.1. Sobre o zoneamento na zona de amortecimento

O zoneamento na zona de amortecimento (Figura 26) refere-se a uma orientação na política de gestão e gerenciamento do reservatório. Essa proposta é fundamentada, em grande parte, na organização dos usos da terra de múltiplas acepções, respeitando a capacidade de auto-organização do sistema ambiental. Na ótica de Silva e Santos (2004), o zoneamento, em geral, fornece uma orientação descentralizada, que se volta ao controle tanto do sistema ambiental como o sistema humano, de maneira a viabilizar as áreas prioritárias na conservação, preservação e recuperação ambiental.



**Fonte:** Elaborado pelo autor (2020).

#### 7.3.2. Zona de Preservação Permanente (ZPP)

Na região da ZPP (Tabela 5 e Figura 27), verificou-se um elevado grau de ação humana, que, por sua vez, representa 43,55% (116,18ha) de área nos parâmetros alto e muito alto, correspondendo, em valor individualizado, a 13,79% (36,80ha) e a 29,76 (79,38ha),

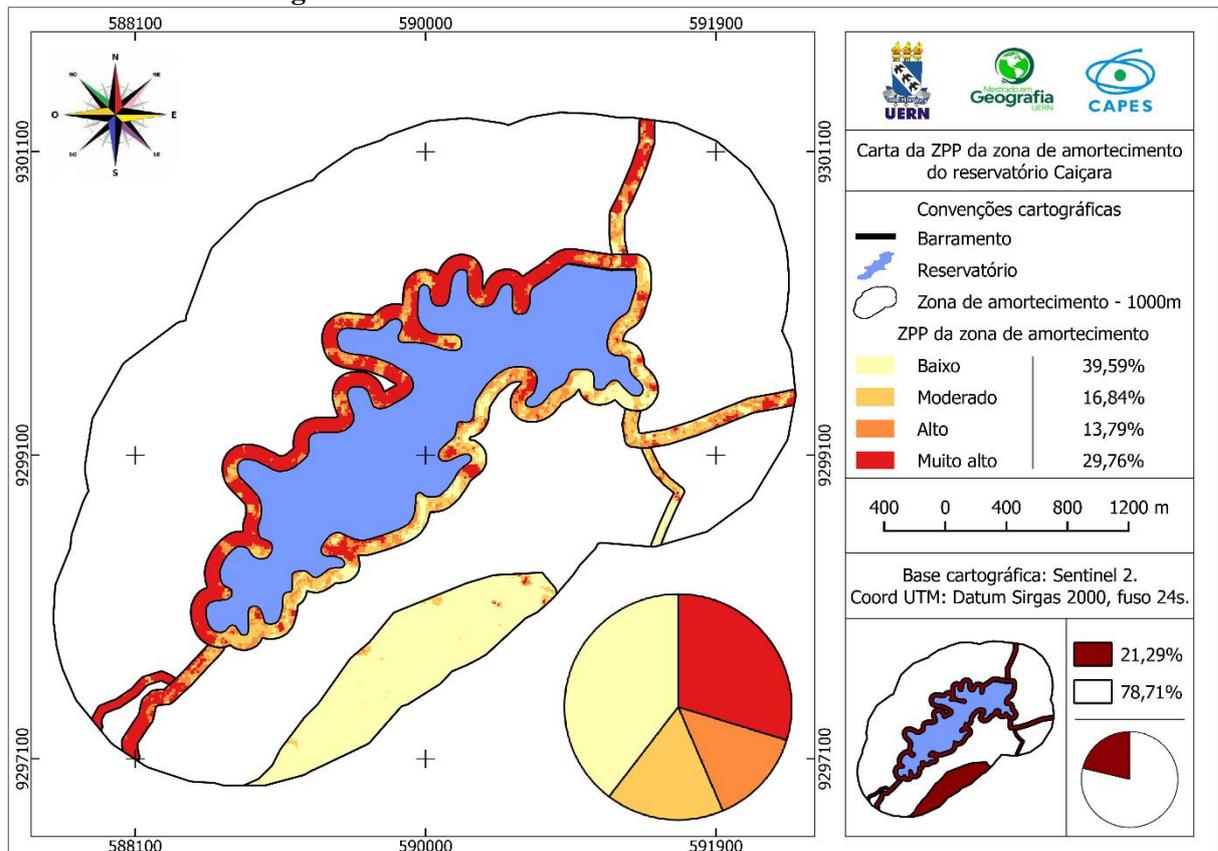
respectivamente; por outro lado, a soma dos parâmetros baixo e moderado corresponde a 56,43% (150,53ha) da área total, com valor individualizado de 39,59% (105,60ha) e 16,84% (44,93ha), nessa ordem.

**Tabela 5:** ZPP da zona de amortecimento do reservatório.

Parâmetros	ha	Total (ha)	%	Total (%)
Baixo	105,60	266,71	39,59	100
Moderado	44,93		16,84	
Alto	36,80		13,79	
Muito alto	79,38		29,76	

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

**Figura 27:** ZPP da zona de amortecimento do reservatório.

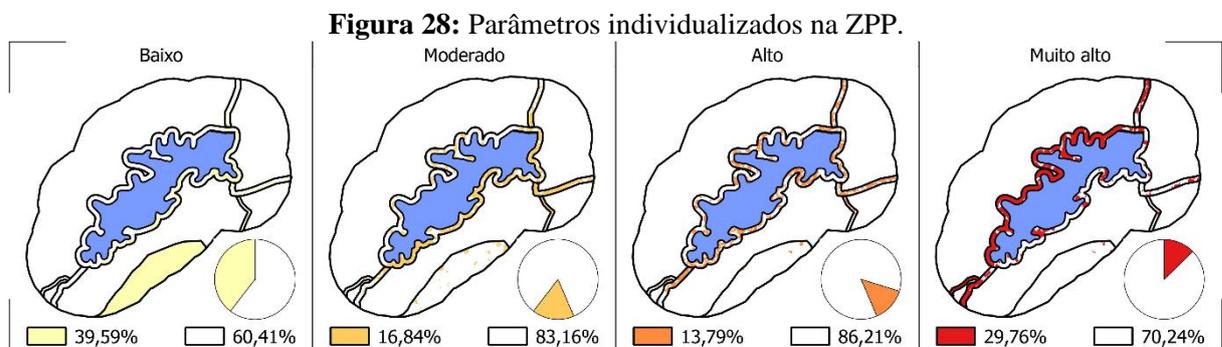


Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Os padrões espaciais (Figura 28) observados no ambiente mostraram a intensidade das transformações, que representaram múltiplas ações antrópica, em especial, no sentido norte/oeste. Nessa zona, há área de adensamento populacional, representada pela comunidade Caiçara e Caiçara de Fora; em razão disso, são áreas de alto grau de consolidação da população tradicional, que também apresentam ocupação em expansão, de forma desorganizada. Sob essa ótica, Ananias e Guedes (2017) entendem que os reservatórios apresentam em seu entorno

comunidades tradicionais que, em muitos casos, vivem dos recursos produzidos no sistema ambiental.

Por sua vez, práticas de uso da terra são constituídas, principalmente, pela derrubada recente da flora local, com objetivo de abertura de clareira para a cultura temporária de rápida germinação e maturação, voltada tanto à subsistência do núcleo familiar, bem como à pastagem nativa não melhorada das gramíneas, que compõem a alimentação animal. Já no sentido de leste/sul, consta a área de menor transformação da paisagem, haja vista a estrutura da Serra do Panati e também os afloramentos rochosos de dimensões variadas. Segundo Almeida e Alves (2014), a estrutura da serra do Panati varia de fortemente ondulado a montanhoso, com declividade superior a 45°.



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

O grau de comprometimento nesta área obteve 0,60, o qual, segundo a classificação proposta por Mattar Neto, Krüger e Dziedzic (2009), apresenta intensidade forte de sustentabilidade, o que assinala razoável transformação antrópica no sistema ambiental e, nesse caso, a necessidade de uma resposta rápida para que sejam contornadas as múltiplas perturbações na zona, possibilitando, dessa forma, o uso da terra sustentáveis.

Para as medidas de restauração ambiental, opta-se pelo replantio de cobertura nativa, sobretudo nas margens dos canais fluviais e nas áreas com ocupação antrópica, principalmente no sentido norte/oeste das margens do reservatório. Busca-se, assim, estabilizar a troca de energia e matéria, por meio da reabilitação do sistema ambiental, conforme as normativas da legislação ambiental para, dessa forma, funcionar como sistema de contenção aos múltiplos uso da terra; essas medidas podem ser verificadas, por exemplos, nos estudos de Lima (2012) e de Costa (2015).

### 7.3.3. Zona de Conservação Ambiental (ZCA)

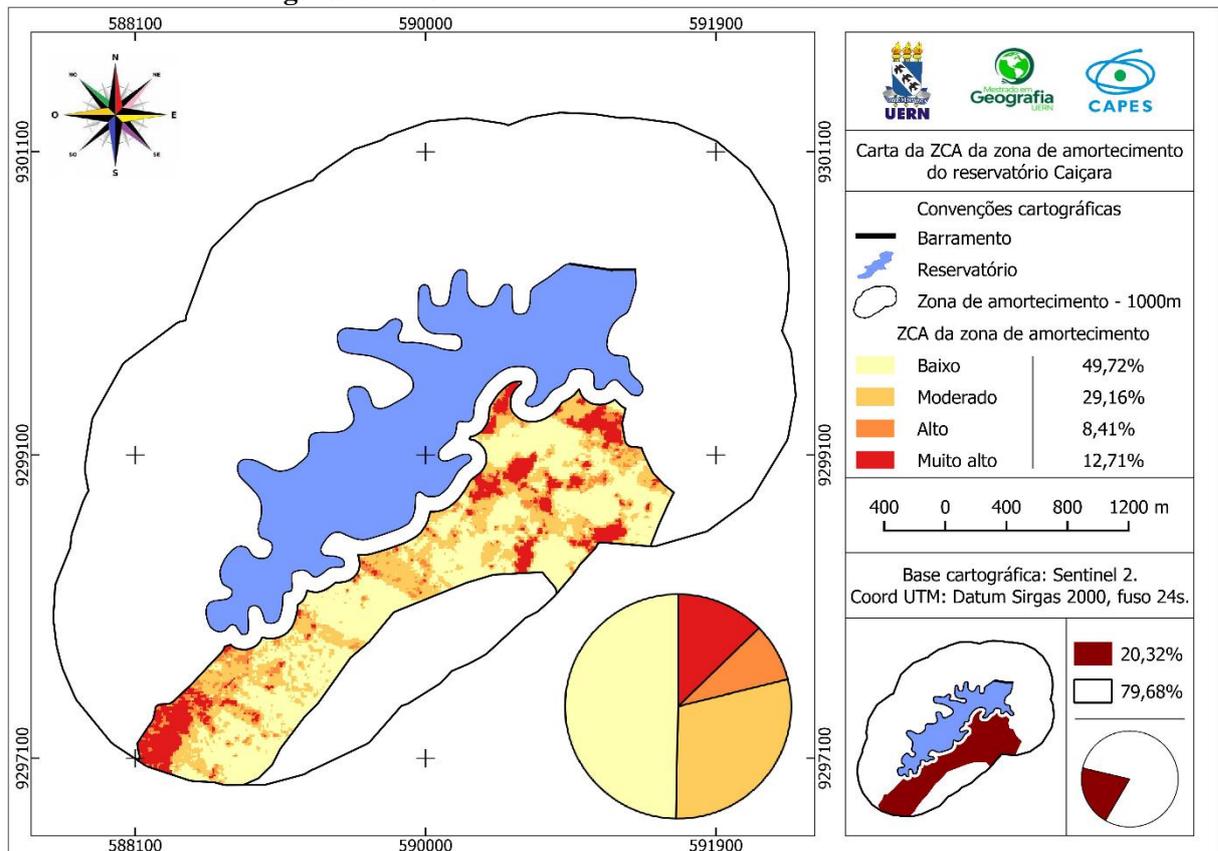
Em análise da ZCA (Tabela 6 e Figura 29), verificou-se o estágio inicial de uma tendência de supressão da cobertura natural, principalmente na abertura de clareiras para o plantio de culturas temporárias. Esta região obteve 49,72% (126,61ha) no parâmetro baixo e 29,16% (74,26ha) no moderado, correspondendo a 78,88% (200,87ha) da área total. Em contrapartida, somando os parâmetros alto e muito, estes equivalem a 21,12% (53,75ha), com valor individualizado de 8,41% (21,42ha) e 12,71% (32,33ha), respectivamente.

**Tabela 6:** ZCA da zona de amortecimento do reservatório.

Parâmetros	ha	Total (ha)	%	Total (%)
Baixo	126,61	254,62	49,72	100
Moderado	74,26		29,16	
Alto	21,42	53,75	8,41	
Muito alto	32,33		12,71	

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

**Figura 29:** ZCA da zona de amortecimento do reservatório.

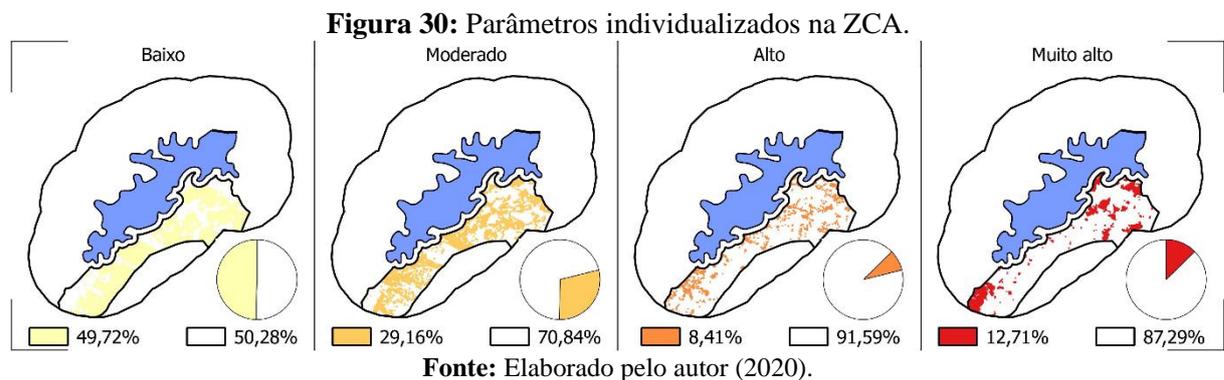


Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Esse ambiente (Figura 30) encontra-se no sentido leste/sul, que corresponde a uma região a ser protegida por gestão, em razão da alta conservação e preservação da cobertura

nativa; conforme salientam Freitas, Guedes e Costa (2016), a proteção da cobertura nativa se torna fundamental para a qualidade ambiental dos reservatórios. Apesar disso, diagnosticou-se que esse ambiente passa atualmente por um estágio inicial de transformação antrópica, formando, dessa maneira, os padrões de usos múltiplos. Essa perturbação antrópica é responsável tanto pela regressão da cobertura nativa como pela perda da capacidade de resiliência do sistema ambiental. Esta mesma constatação foi identificada em pesquisas de Lima (2012), Costa (2015), Souza e Nascimento (2015) e de Chaves (2019).

A perturbação imposta representa áreas de impacto ambiental, sendo, na maioria das vezes, associada às fragmentações do ambiente, sobre às diversas formas de uso da terra. Em razão disso, verifica-se a manifestação de abertura de clareiras, tanto já consolidada quanto ainda em consolidação, com fins de cultura temporária de rápido ciclo vegetativo, estando, geralmente, associada à cultura de subsistência. A esse respeito, Freitas, Silva e Guedes (2020) afirmam que as áreas de cultivo, em geral, são as áreas que podem garantir o plantio, frente a disponibilidade do recurso água, bem como o preparo do solo.



No que concerne ao índice de comprometimento, conforme a classificação de Mattar Neto, Krüger e Dziedzic (2009), demonstrou intensidade forte, considerando a informação numérica de 0,73. Tal fato só foi possível em razão da estabilidade do sistema ambiental, por causa da baixa incidência de uso da terra, possibilitando, nesse caso, um elevado índice de manutenção do sistema ambiental, para que haja a conservação deste sistema.

Sobre as medidas a serem adotadas, recomenda-se a manutenção da cobertura vegetal, principalmente das áreas com baixa intervenção antrópica local, em que predomina a vegetação de cobertura inalterada ou em regeneração, assim como a recuperação das áreas de maior fragilidades, como por exemplo, as que apresentam considerável declive, buscando com isso, o bom funcionamento do ambiente. Mais informações que corroboram essas medidas podem ser obtidas em estudos de Abdala (2005), Thomas (2012) e Costa (2015).

### 7.3.4. Zona de Recuperação Ambiental (ZRA)

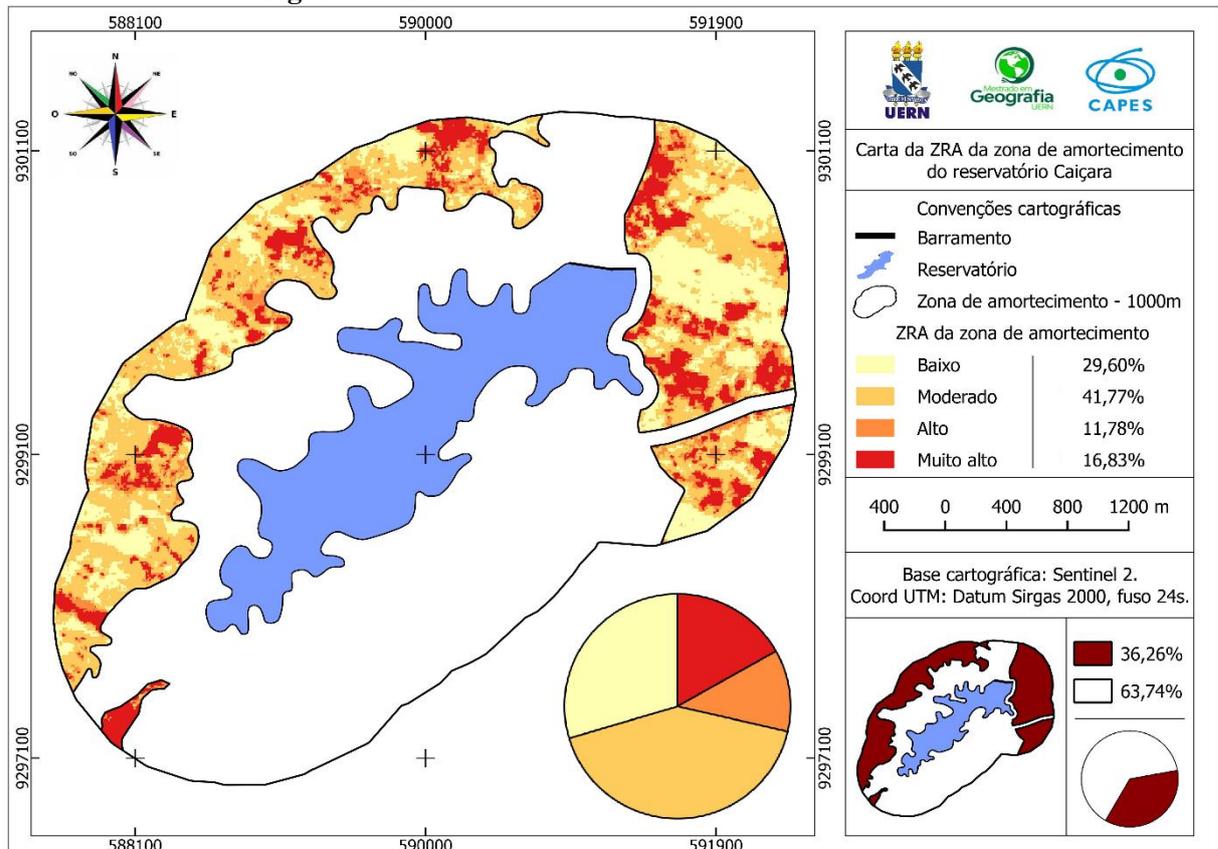
Para essa região da ZRA (Tabela 7 e Figura 31), há um predomínio da cobertura natural, seja inalterada ou em processo de regeneração, representado pelos parâmetros baixo e moderado, que, somados, constituem 71,37% (324,16ha) de área total, com valor individualizado de 29,60% (134,43ha) e 41,77% (189,73ha), respectivamente. Ao passo que a soma dos parâmetros alto e muito alto equivale a 28,61% (129,98ha) de área, dispondo, em área com valor individualizado, de 11,78% (53,54ha) e 16,83% (76,44ha), nessa ordem.

**Tabela 7:** ZRA da zona de amortecimento do reservatório.

Parâmetros	ha	Total (ha)	%	Total (%)
Baixo	134,43	454,14	29,60	100
Moderado	189,73		41,77	
Alto	53,54		11,78	
Muito alto	76,44		16,83	

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

**Figura 31:** ZRA da zona de amortecimento do reservatório.

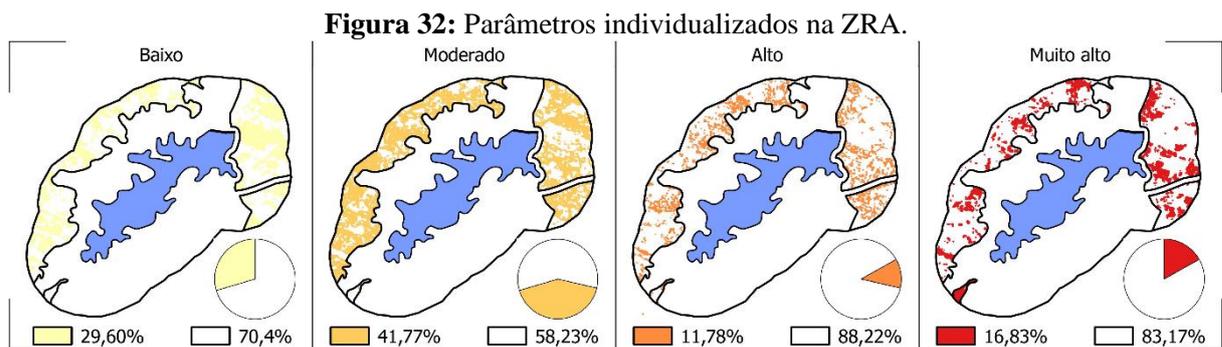


Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

É uma área (Figura 32) que atualmente vem passando por uma baixa intensidade de uso do meio natural, especialmente no sentido norte/oeste. As perturbações humanas são, em

geral, as múltiplas formas de exploração, oriundas de distintas técnicas e métodos de transformação da paisagem, seja em maior ou menor grau de área utilizada; tal temática pode ser encontrada em pesquisas de Costa (2015) e Chaves (2019). Ainda, em estudos de Souza e Nascimento (2015) pode-se verificar que a transformação sem controle do ambiente gera severos danos em suas múltiplas acepções, principalmente sobre as áreas dos canais fluviais.

A área alterada diz respeito, portanto, a todo tipo de uso, em especial, o plantio de cultura temporária, bem como pastagem nativa não melhorada. De forma geral, as perturbações humanas neste ambiente representam a substituição da cobertura natural em função das necessidades econômicas de subsistência que, de algum modo, determinam a configuração do sistema ambiental. Na perspectiva de Lima (2012) e Chaves (2019), as transformações dessas áreas acarretam grandes impactos negativos, fato este que altera a dinâmica da recomposição da cobertura vegetal, trazendo, assim, consequências para a biodiversidade deste sistema.



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

O desempenho do comprometimento ambiental obteve valor de 0,79, o qual, segundo a classificação de Mattar Neto, Krüger e Dzedzic (2009), corresponde à intensidade muito forte de sustentabilidade. As transformações nesta área necessitam, portanto, de um controle no que se refere às múltiplas acepções da área que está sendo utilizada, de maneira a fornecer subsídios ao desenvolvimento sustentável, para que seja possível proteger o conjunto de sistema ambiental, principalmente quando se trata do corpo hídrico e seu entorno.

Como medidas a serem tomadas no tocante a esse ambiente, faz-se necessário proteger a cobertura nativa, seguindo as práticas de sustentabilidade, assim como também se recomenda o reflorestamento de espécies nativas, nesse caso, espécies que sejam de rápido crescimento, visando tornar estável o funcionamento do ambiente; essas recomendações são descritas em estudos realizados por Abdala (2005), Thomas (2012) e também em Rodrigues e Leite (2018). Ademais, torna-se necessário incluir áreas de uso da terra, desde que as atividades não

impliquem em grandes impactos, pois, segundo Lima (2012), essas áreas são fundamentais para a subsistência da população tradicional.

### 7.3.5. Zona de Uso Sustentável (ZUS)

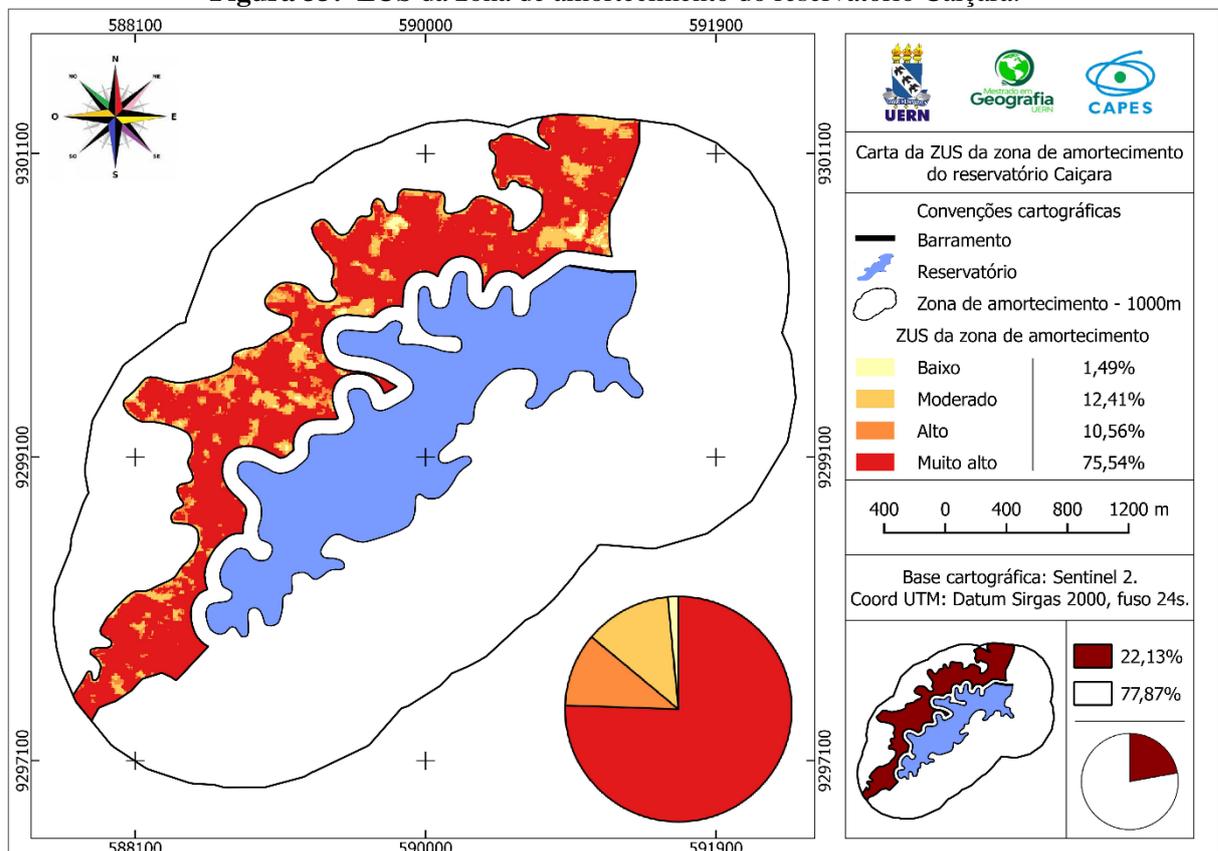
A região da ZUS (Tabela 8 e Figura 33) diz respeito à área que reúne padrões espaciais de múltiplos usos da terra, que, por sua vez, é manejada em maior ou em menor grau pela ação antrópica. Os dados dos parâmetros moderado e alto representaram 10,56% (29,27ha) e 75,54% (209,50ha), respectivamente, o que corresponde a 86,10% (238,77ha) de área total; no entanto, os parâmetros baixo e moderado apresentaram 1,49% (4,11ha) e 12,41% (34,43ha), nessa ordem, totalizando 13,90% (38,54ha) de área.

**Tabela 8:** ZUS da zona de amortecimento do reservatório.

Parâmetros	ha	Total (ha)	%	Total (%)
Baixo	4,11	277,31	1,49	100
Moderado	34,43		12,41	
Alto	29,27		10,56	
Muito alto	209,50		75,54	

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

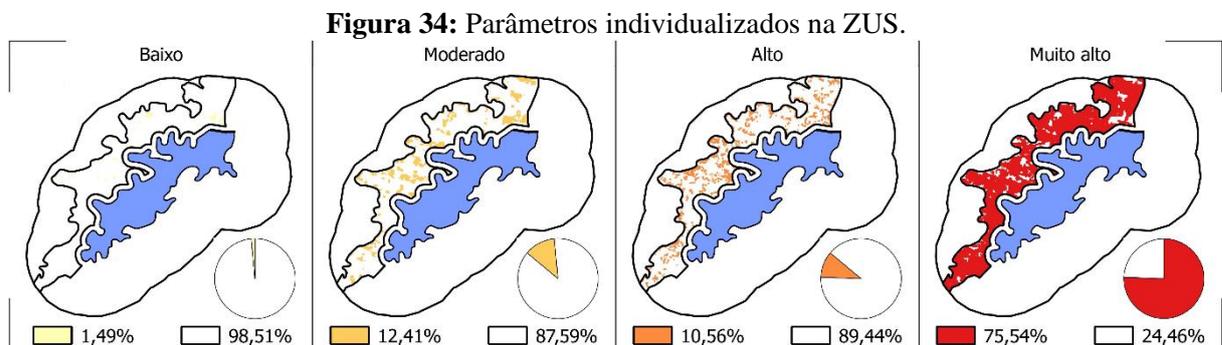
**Figura 33:** ZUS da zona de amortecimento do reservatório Caiçara.



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Os valores encontrados representam as transformações antrópicas (Figura 34) em função das múltiplas configurações de uso da terra no reservatório. De acordo com Costa (2015) e Chaves (2019), as áreas de grande magnitude de impactos negativos levam, muitas vezes, a severos danos ambientais. O ambiente em questão apresenta uma alta densidade de população, representada pelas comunidades Caiçara, Caiçara de Fora, Juazeiro e Junco, as quais, nesse caso, encontram-se com alto grau de consolidação, bem como apresentam adensamento desorganizado em expansão.

Também é possível afirmar que o local se caracteriza por vários tipos de exploração, dentre os quais é possível encontrar a derrubada recente da cobertura natural e o destocamento do solo realizado por meio de equipamentos roçais tradicionais utilizados para o cultivo temporário; por outro lado, é possível visualizar a prática de pecuária extensiva em locais de pastagem nativa não melhorada, levando ao máximo aproveitamento das pastagens. Essas práticas, conforme apontam Bezerra Júnior e Guedes (2016), são comuns nas zonas de amortecimento de reservatórios, tendo levado a uma relação de uso da terra de cunho exploratório e devastador do sistema ambiental.



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Para o comprometimento ambiental, de acordo com a classificação de Mattar Neto, Krüger e Dziedzic (2009), foi encontrado o valor 0,21, que corresponde à intensidade fraca, portanto, entende-se que as múltiplas ações no ambiente necessitam ser controladas para, a partir de então, ser possível desenvolver formas adequadas de uso, de modo a respeitar, assim, os limites do sistema ambiental com base na sustentabilidade.

Como medidas, propõe-se tanto a criação de áreas de replantio da cobertura natural com espécies nativas, bem como a manutenção dos resquícios de cobertura existente. Será necessária, nesse caso, a criação de um plano específico de uso e manejo, a fim de disciplinar os limites de suporte do ambiente, com vistas a diminuir os impactos negativos. Essas medidas

gerenciais podem ser encontradas nas pesquisas de Abdala (2005), Lima (2012), Costa (2015) e Chaves (2019), as quais disciplinam as formas de uso da terra para o controle ambiental.

#### 7.3.6. ICA sobre a zona de amortecimento

O comprometimento ambiental da zona de amortecimento é considerado forte, com valor de 0,59, de acordo com a escala de intensidade de Mattar Neto, Krüger e Dziedzic (2009). Isso só foi possível porque, em algumas zonas, conseguiu-se um valor elevado de comprometimento, o qual, por sua vez, foi significativo para a zona de amortecimento. Todavia, faz-se necessário o monitoramento das múltiplas acepções de uso em razão do aumento gradativo dos impactos em áreas de alta conservação ambiental. Por isso, é usual que sejam aplicadas medidas de gerenciamento e gestão deste ambiente, visando superar os impactos que possam afetar ou que estejam afetando a estabilidade da zona de amortecimento.

### 7.4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O zoneamento em questão contribuiu no conhecimento da área em pesquisa e, a partir disso, foi possível desenvolver caminhos necessários a gestão e ao gerenciamento. Esses caminhos partem da compreensão de que o sistema ambiental, nesse caso, tem suportado considerável pressão antrópica em decorrência das múltiplas áreas que são utilizadas, que são, em geral, degradantes. Por esse motivo, o zoneamento deve preparar medidas que visem atenuar significativamente as ações antrópicas, em especial, seus problemas potenciais.

Considerando a situação ambiental, optou-se pela elaboração das zonas buscando, com isso, entender as particularidades de área, haja vista os vários cenários de uso da terra que compõem a área em análise na presente pesquisa. Nesta, por sua vez, procurou-se conhecer o grau de pressão antrópica e, conseqüentemente, definir o valor de comprometimento ambiental. Desta forma, isto é, levando as medidas gerenciais em cada zona – no intuito de alcançar sua preservação, conservação e recuperação ambiental, respeitando o sistema antrópico –, foram sugeridas medidas de recuperação, principalmente no tocante à manutenção e à recuperação de áreas vegetais degradadas.

Esse zoneamento, apoiado no cálculo do Índice de Comprometimento Ambiental (ICA), configura-se como proposta inicial que pode, no entanto, ser reavaliada, baseando-se no processo dinâmico em que se encontra a área em pesquisa. Contribui-se, dessa maneira, para a discussão inicial sobre as múltiplas pressões antrópicas; ademais, espera-se que esta pesquisa

aponte caminhos para ambientes estáveis, oportunizando, assim, um futuro sustentável para o reservatório e sua zona de amortecimento, viabilizando, para a atual e as futuras gerações, os serviços ecossistêmicos prestados para a sociedade local.

## 7.5. AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - sob Código de Financiamento 001.

## 7.6. REFERÊNCIAS

AB'SABER, A. N. **Zoneamento ecológico da Amazônia**: questões de escala em método. CEPAL/IPEA. Brasília: Mimeografado, 1987.

ABDALA, V. L. **Zoneamento Ambiental da Bacia do Alto Curso do Rio Uberaba-MG como Subsídio para a Gestão do Recurso Hídrico Superficial**. Dissertação (Mestrado em Análise, Planejamento e Gestão Ambiental). Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia, 2005. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/16099>. Acesso em: 27 de ago. 2020.

ALMEIDA, J. E.; ALVES, A. M. **Zoneamento ecológico-econômico do Alto Oeste Potiguar**: microrregiões de Pau dos Ferros, São Miguel e Umarizal. Mossoró: Queimabucha, 2014.

ANANIAS, F. A.; GUEDES, J. A. Percepção ambiental de comunidades rurais do semiárido do Nordeste: o caso das comunidades do entorno do reservatório de Pilões/RN. **InterEspaço – Revista de Geografia e Interdisciplinaridade**, Grajaú, v.3, n.9, p.158-174, 2017. Disponível em: <http://www.periodicoseletronicos.ufma.br/index.php/interespaco/article/view/6321>. Acesso em: 25 de ago. 2020.

ASSUNÇÃO, L. M.; LIVINGSTONE, I. Desenvolvimento inadequado: construção de açudes e secas. **Revista Brasileira de Economia**. Rio de Janeiro, v.47, n.3, p.425-448. Disponível em: <http://bibliotecadigital.fgv.br/ojs/index.php/rbe/article/view/582>. Acesso em: 08 de abr. 2020.

BEZERRA JÚNIOR, A.; GUEDES, J. A. Caracterização e análise do uso e ocupação da terra no entorno do reservatório Santana, Rafael Fernandes/RN. **Revista Okara**, João Pessoa, v.10, n.3, p.517-530, 2016. Disponível em: [www.periodicos.ufpb.br/index.php/okara/article/download/28365/16852](http://www.periodicos.ufpb.br/index.php/okara/article/download/28365/16852). Acesso em: 26 de nov. 2019.

BRASIL, Presidência da República – Casa Civil. **Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012 Código Florestal**. Brasília. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_Ato20112014/2012/Lei/L12651.ht](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato20112014/2012/Lei/L12651.ht). Acesso em: 27 de mar. 2020.

BRASIL, Presidência da República – Casa Civil. **Lei nº 12.727, de 17 de outubro de 2012.** Brasília. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/ato2011-2014/2012/lei/L12727.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/ato2011-2014/2012/lei/L12727.htm). Acesso em: 27 de mar. 2020.

BUZAI, G. D.; BAXENDALE, C. A. Análisis socioespacial con sistemas de información geográfica marco conceptual basado em la teoria de la Geografía. **Revista Ciencias Espaciales.** Tegucigalpa, v.8, n.2, p.391-408, 2015. Disponível em: <https://www.lamjol.info/index.php/CE/article/view/2089>. Acesso em: 14 de mar. 2020.

CARVALHO, R. G.; KELTING, F. M. S.; SILVA, E. V. Indicadores socioeconômicos e gestão ambiental nos municípios da bacia hidrográficas do rio Apodi-Mossoró, RN. **Revista Sociedade & Natureza,** Uberlândia, v.23, n.1, p.143-159, 2011. Disponível em: <http://www.seer.ufu.br/index.php/sociedadennatureza/article/view/11259>. Acesso em: 10 de mai. 2019.

CAVALCANTI, L. C. S. **Cartografia de paisagens: fundamentos.** São Paulo: Oficina de Texto, 2014.

CHAVES, J. I. **Análise geoambiental como subsídio ao planejamento territorial da sub-bacia hidrográfica do Riacho Encanto, RN.** Dissertação (Mestrando em Planejamento e Dinâmicas Territoriais no Semiárido). Universidade do Estado do Rio Grande do Norte. Pau dos Ferros, 2019. Disponível em: <https://sucupira.capes.gov.br/sucupira/public/consultas/coleta/trabalhoConclusao>. Acesso em: 26 de ago. 2020.

COSTA, L. B. **Análise e proposta de zoneamento geoambiental da sub-bacia hidrográfica do Riacho Santana, Sudoeste do Rio Grande do Norte.** Dissertação (Mestrado em Geografia). Universidade Estadual Vale do Acaraú. Sobral, 2015. Disponível em: <http://www.uvanet.br/mag/documentos/dissertacao.pdf>. Acesso em: 26 de ago. 2020.

CUNHA, S. B.; GUERRA, A. J. T. Degradação ambiental. In: CUNHA, S. B.; GUERRA, A. J. T. (Org). **Geomorfologia e meio ambiente.** 3. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2000. Cap.7, p.337-376.

DNOCS. Departamento Nacional de Obras Contra as Secas. **Ficha técnica do açude de Marcelino Vieira.** Disponível em: [https://www.dnocs.gov.br/php/canais/recursos\\_hidricos/fic\\_tec\\_reservatorio.php?codigo\\_reservatorio=277&descricao\\_reservatorio=A%E7ude+Marcelino+Vieira](https://www.dnocs.gov.br/php/canais/recursos_hidricos/fic_tec_reservatorio.php?codigo_reservatorio=277&descricao_reservatorio=A%E7ude+Marcelino+Vieira). Acesso em: 28 de jun. 2019.

EGLER, C. A. G.; CRUZ, C. B. M.; MADSEN, P. F. H.; COSTA, S. M.; SILVA, E. A. S. Proposta de zoneamento ambiental da Baía de Guanabara. **Anuário do Instituto de Geociências-UFRJ.** Rio de Janeiro. v.26, n.1, p.127-138, 2003. Disponível em: [http://www.anuario.igeo.ufrj.br/anuario\\_2003/anuario\\_igeo\\_2003\\_claudio.pdf](http://www.anuario.igeo.ufrj.br/anuario_2003/anuario_igeo_2003_claudio.pdf). Acesso em: 15 de jul. 2020.

FREITAS, F. W. S.; GUEDES, J. A.; COSTA, F. R. Análise socioambiental do reservatório público do município de Riacho da Cruz (RN). **Revista Geotemas,** Pau dos Ferros, v.6, n.1, p.03-18, 2016. Disponível em: <http://www2.uern.br/index.php/geotemas/article/view/1742>. Acesso em: 25 de jul. 2020.

FREITAS, F. W. S.; SILVA, M. R. F.; GUEDES, J. A. Gestão de recursos hídricos: a percepção de atores sociais acerca do reservatório Passagem. **Revista Geopauta,** Vitória da

Conquista, v.4, n.2, p.71-90, 2020. Disponível em:

<http://periodicos2.uesb.br/index.php/geo/article/view/6369>. Acesso em: 25 de jul. 2020.

IDEMA. Instituto de Desenvolvimento Sustentável e Meio Ambiente do Rio Grande do Norte. **Perfil do seu Município – Marcelino Vieira**. Natal, v.10, p. 01-22, 2008. Disponível em: <http://adcon.rn.gov.br/ACERVO/idema/DOC/DOC00000000013965.PDF>. Acesso em: 26 de jun. 2019.

JENKS, G. F. **Optimal data classification for choropleth maps**: Occasional Paper. University Kansas: Lawrence, 1977.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento remoto do ambiente**: uma perspectiva em recursos terrestres. São José dos Campos: Parêntese, 2019.

JØRGENSEN, S. E.; VOLLENWEIDER, R. A.; VANNUCCI, D.; TUNDISI, J. G. **Diretrizes para o gerenciamento de lagos**: princípios para o gerenciamento de lagos. [S.l.: s.n.], 2000.

LANG, S.; BLASCHKE, T. **Análise da paisagem com SIG**. São Paulo: Oficina de Texto, 2009.

LIMA, E. C. **Planejamento ambiental como subsídio para gestão ambiental da bacia de drenagem do açude Paulo Sarasate Varjota-Ceará**. Tese (Doutorado em Geografia), Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, 2012. Disponível em: [http://www.repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/7817/1/2012\\_tese\\_eclima.pdf](http://www.repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/7817/1/2012_tese_eclima.pdf). Acesso em: 12 de dez. 2018.

MATTAR NETO, J.; KRÜGER, C. M.; DZIEDZIC, M. Análise de indicadores ambientais no reservatório do Passaúna, **Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v.14, n.2, p.205-213, 2009. Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1413-41522009000200008&script=sci\\_abstract&tlng=pt](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1413-41522009000200008&script=sci_abstract&tlng=pt). Acesso em 01 de jun. 2019.

MOLLE, F. **Marcos históricos e reflexões sobre a açudagem e seu aproveitamento**. Recife: SUDENE, 1994.

MOLLE, F.; CADIER, E. **Manual do pequeno açude**. Recife: SUDENE, 1992.

NASCIMENTO, F. R.; CARVALHO, O. Gerenciamento ambiental em unidade de conservação: bacia hidrográfica como estudo de caso. **Revista Geografia**, Londrina, v.12, n.2, p.111-130, 2003. Disponível em: <http://www.uel.br/revistas/uel/index.php/geografia/article/view/6676>. Acesso em: 26 de agosto. 2020.

NOVO, E. M. L. M. **Sensoriamento remoto**: princípios e aplicações. 4. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 2010.

ORTEGA, D. J. P. **Avaliação dos efeitos das atividades antrópicas na bacia hidrográficas do córrego do Ipê, município de Ilha Solteira-SP**. Dissertação (Mestrado em Engenharia), Universidade Estadual Paulista. Ilha Solteira, 2011. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/98049>. Acesso em: 20 de mar. 2020.

PERIOTTO, N. A.; TUNDISI, J. G. Ecosystem Services of UHE Carlos Botelho (Lobo/Broa): a new approach for management and planning of dams multiple-uses. **Brazilian Journal of Biology**. São Carlos, v.73, n. 3, p.471-482, 2013. Disponível em: [https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S1519-69842013000300471&lng=pt&nrm=iso&tlng=en](https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1519-69842013000300471&lng=pt&nrm=iso&tlng=en). Acesso em 8 de maio. 2020.

RODRIGUES, L. P.; LEITE, E. F. Zoneamento ambiental da bacia hidrográfica do Córrego Acôgo (MS). **Revista Geoambiente-Online**, Jataí, v.1, n.31, p.212-234, 2020. Disponível em: <https://revistas.ufg.br/geoambiente/article/view/52542>. Acesso em: 26 de ago. 2020.

ROSA, R. Metodologia para Zoneamento de Bacias Hidrográficas Utilizando Produtos de Sensoriamento Remoto e Integrados por Sistema de Informações Geográficas. 1996. Salvador. **Anais...** Salvador, Brasil: INPE, 14-19 abril de 1996, p. 363-368. Disponível em: <http://marte.dpi.inpe.br/col/sid.inpe.br/deise/1999/02.03.08.55/doc/T46.pdf>. Acesso: 15 de jul. 2020.

SÁNCHEZ, L. E. **Avaliação de impacto ambiental: conceitos e métodos**. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2013.

SANTOS, R. F. **Planejamento ambiental: teoria e prática**. São Paulo: Oficina de Textos, 2004.

SEMARN. Secretaria de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos. **Ficha técnica do reservatório de Marcelino Vieira**. Disponível em: <http://servicos.searh.rn.gov.br/semarh/sistemadeinformacoes/consulta/cResFichaTecnica.asp?IdReservatorio=7>. Acesso em: 28 de jun. 2019.

SILVA, D. D. E.; FELIZMINO, F. T. A.; OLIVEIRA, M. G. Avaliação da degradação ambiental a partir da prática da cultura do feijão no município de Tavares-PB. **Revista Holos**, Natal, v.8, n.1, p.148-165, 2015. Disponível em: <http://www2.ifrn.edu.br/ojs/index.php/HOLOS/article/view/2063>. Acesso em: 12 de maio. 2020.

SILVA, J. S. V.; SANTOS, R. F. Zoneamento para planejamento ambiental: vantagens e restrições de métodos e técnicas. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**. Brasília, v.21, n.2, p.221-263, 2004. Disponível em: <https://seer.sct.embrapa.br/index.php/cct/article/view/8710>. Acesso em: 15 de jul. 2020.

SOUSA, M. L. M.; NASCIMENTO, F. R. Estudos geoambientais de bacias hidrográficas em áreas suscetíveis à desertificação no Nordeste do Brasil. **Revista Colombiana de Geografia**, Bogotá, v.24, n.1, p.13-27, 2015. Disponível em: <http://www.scielo.org.co/pdf/rcdg/v24n1/v24n1a2.pdf>. Acesso em: 25 de ago. 2020.

STRAŠKRABA, M.; TUNDISI, J. G. **Gerenciamento da qualidade da água de represas**. 3. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2013.

THOMAS, B. L. Proposta de zoneamento ambiental para o município de Arroio do Meio – RS. **Revista RAEGA**, Curitiba, v.24, n.1, p.199-226, 2012. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/raega/article/view/26215>. Acesso em: 26 de ago. 2020.

TUNDISI, J. G. Gerenciamento integrado de bacias hidrográficas e reservatórios: estudos de casos e perspectivas. In: NOGUEIRA, M.G.; HENRY, R.; JORCIN, A (Org.). **Ecologia de reservatórios: impactos potenciais, ações de manejos e sistemas em cascata**. 2 ed. Botucatu: RiMa, 2006. Cap.1, p.1-21.

TUNDISI, J. G. Reservatórios como sistemas complexos: teoria, aplicações e perspectivas para usos múltiplos. In: HENRY, R. (Org.). **Ecologia de reservatórios: estrutura, função e aspectos sociais**. 2 ed. Botucatu: FUNDIBIO, 2007. Cap.1, p.19-38.

TUNDISI, J. G.; MATSUMURA-TUNDISI, T.; TUNDISI, J. E. M. Reservoirs and human well being: new challenges for evaluating impacts and benefits in the neotropics. **Brazilian Journal of Biology**, v.69, n.4, p.1133-1135, 2008. Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1519-69842008000500020](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1519-69842008000500020). Acesso em: 29 de nov. 2019.

XAVIER-DA-SILVA, J.; ZAIDAN, R. T. **Geoprocessamento e análise ambiental: aplicações**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2013.

## 8. CONCLUSÃO GERAL

O reservatório Caiçara é um sistema complexo, dinâmico, multicompartimental e de usos múltiplos, o que torna, portanto, fundamental a discussão sobre o funcionamento dessa reserva hídrica no que se refere ao seu entorno, a fim de se determinar as suas complexas interações ambientais e artificiais e, então, possibilitar ações de uso da terra de forma adequada e ordenada, com a intenção de pleno funcionamento e exercendo as funções de armazenamento e abastecimento.

Assim, o reservatório objeto desta pesquisa encontra-se sob um processo de rápida transformação ambiental e, por vezes, degradante. Essas transformações são fruto das múltiplas acepções do uso e cobertura da terra na zona de amortecimento deste corpo hídrico, causadas pela utilização irracional do ambiente. O reservatório, portanto, fica submetido às forças antropogênicas e, nesse caso, estas determinam as características de funcionamento de seu sistema ambiental.

Por conseguinte, observou-se o estado do uso da terra na zona de amortecimento. Sobre este, identificou-se uma variação de área das classes no recorte multitemporal, tendo se comprovado que o sistema de cobertura superficial passa por forte processo de transformação antropogênica, em função dos múltiplos usos que comprometem as funções ambientais, em especial os serviços ecossistêmicos prestados.

As classes de forte pressão são caracterizadas pela Cultura Temporária e Área Descoberta. Essas classes apresentaram variação em suas áreas, exibindo uma maior intensidade de uso e cobertura, sobretudo a abertura de clareiras para o destocamento do solo; por outro lado, as classes de baixa pressão foram caracterizadas por Área Florestal e Área Campestre, em que esta obteve considerável variação no recorte multitemporal, com predominância de cobertura herbáceo-arbustiva sobre um tapete de gramínea.

O emprego do índice, que espacializou os parâmetros de pressão antrópica na zona de amortecimento, tornou possível conhecer as áreas de maior e de menor pressão. De uma maneira geral, as características dessas áreas são marcadas por transformações antrópicas e, por essa razão, trazem uma nova dinâmica na configuração da área em pesquisa.

Seguindo esse contexto, os parâmetros muito alto e alto, em geral, são caracterizados por pressão antrópica sem controle, fator este que necessita de ações para limitar as diversas formas de impactos negativos. Em contrapartida, os parâmetros moderado e baixo são representados por áreas de cobertura inalterada ou em processo de regeneração, o que torna

necessária tanto a manutenção de proteção das áreas que não sofreram considerável transformação, bem como a recuperação das áreas de remanescentes de cobertura florestal.

Levando em consideração a situação do ambiente, realizou-se um zoneamento para, a partir de então, ser possível organizar os caminhos de uso sustentável e com qualidade ambiental e, assim, contribuir para minimizar os impactos existentes. Nesse sentido, para cada zona houve a inclusão de preposições de organização dessas áreas, de forma ordenada e racional, de modo a garantir áreas ecologicamente equilibradas. É necessário salientar também que as zonas podem ser reavaliadas, haja vista que não devem ser consideradas imutáveis, ou seja, é preciso fazer as adaptações necessárias no transcorrer do tempo.

Sobre o comprometimento ambiental, pode-se afirmar que as variações de numéricas encontradas entre cada zona confirmam os parâmetros de pressão antrópica, mostrando, dessa forma, a necessidade de desenvolvimento sustentável, a fim de proteger o conjunto do sistema ambiental, mas observando-se as particularidades de cada zona. Também, faz-se necessário apontar que o comprometimento na união de cada zona conseguiu obter considerável estabilidade na zona de amortecimento; isto aconteceu porque, na união de algumas zonas, atingiu-se aceitável comprometimento.

Finalmente, é possível afirmar que para cada zona de amortecimento há a necessidade de disciplinar os usos múltiplos da terra. Esse disciplinamento torna-se importante instrumento de manejo do sistema ambiental, atendendo às necessidades do ambiente, principalmente quando se trata dos serviços sistêmicos prestados. Nesse sentido, são necessárias novas investigações científicas direcionadas à avaliação da qualidade ambiental do sistema água para, a partir de então, ser possível oportunizar um ambiente estável e equilibrado, contribuindo, dessa forma, para o desenvolvimento da área em pesquisa.