



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA**  
**CURSO DE AGRONOMIA**

**VALÉRIA SEVERO DE NORONHA**

**ANÁLISE TEMPORAL DO ÍNDICE DE ESTADO TRÓFICO EM RESERVATÓRIO  
ARTIFICIAL NA REGIÃO SEMIÁRIDA DO NORDESTE BRASILEIRO**

**FORTALEZA**

**2022**

VALERIA SEVERO DE NORONHA

**ANÁLISE TEMPORAL DO ÍNDICE DE ESTADO TRÓFICO EM RESERVATÓRIO  
ARTIFICIAL NA REGIÃO SEMIÁRIDA DO NORDESTE BRASILEIRO**

Monografia apresentada ao Curso de Agronomia do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará, como um dos requisitos à obtenção do título de Engenheira Agrônoma.

Orientador: Prof. Dr. Fernando Bezerra Lopes  
Coorientadora: Eng<sup>a</sup> Agrônoma e Mestranda  
Julyanne Braga Cruz Amaral

**FORTALEZA**

**2022**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Ceará  
Sistema de Bibliotecas  
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

N769a Noronha, Valéria Severo de.  
Análise temporal do índice de estado trófico em reservatório artificial na região semiárida do nordeste brasileiro / Valéria Severo de Noronha. – 2022.  
47 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Curso de Agronomia, Fortaleza, 2022.  
Orientação: Prof. Dr. Fernando Bezerra Lopes.  
Coorientação: Profa. Ma. Julyanne Braga Cruz Amaral.

1. Manejo de Bacias. 2. Qualidade de água. 3. Sensoriamento Remoto. I. Título.

CDD 630

---

VALÉRIA SEVERO DE NORONHA

**AVALIAÇÃO TEMPORAL DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO EM ÁREAS DE  
PRESERVAÇÃO PERMANENTE DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RESERVATÓRIO  
GENERAL SAMPAIO**

Monografia apresentada ao Curso de Agronomia do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará, como um dos requisitos à obtenção do título de Engenheira Agrônoma.

Aprovada em: 03/02/2022.

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Dr. Fernando Bezerra Lopes (Orientador)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Eng<sup>a</sup> Agrônoma e Mestranda Julyanne Braga Cruz Amaral (Coorientadora)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Doutorando M. Sc. Francisco Josivan de Oliveira Lima (Conselheiro)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Ma. Fernanda Helena Oliveira da Silva (Conselheira)  
Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas (SEBRAE)

**A Deus,**

**Aos meus pais, Noronha e Vanelucia**

## AGRADECIMENTOS

A DEUS, pelo dom da vida, por me dar forças e conceder bençãos para trilhar minha jornada e superar os obstáculos;

Aos meus pais Noronha Alves e Vanelucia Carneiro, minhas irmãs Andreza e Vanessa, meus sobrinhos Davi Lucas e Maria Cecília por serem meu alicerce, me concedendo sempre amor, força e momentos de alegria. A minha tia Ana Célia pelo acolhimento e cuidado, ao meu primo Gabriel Batista pelo companheirismo ao longo dos anos. E aos demais familiares por todo apoio.

Ao meu namorado, Ronaldo Andrade por estar sempre ao meu lado em todos os momentos, pelo seu companheirismo, amor, cuidado e dedicação;

A minha amiga/irmã e companheira de curso Nicole Sarah, por ter compartilhado comigo todos esses anos de graduação, por todo crescimento e superação ao meu lado, pelos inúmeros momentos de alegria, sonhos compartilhados e risadas, agradeço por ter tornado essa jornada mais leve e feliz;

À Universidade Federal do Ceará por ser uma instituição de competência ímpar em formar excelentes profissionais;

Ao Departamento de Engenharia Agrícola por ter sido minha segunda casa durante todos os anos de graduação;

Ao meu orientador Professor Fernando Bezerra Lopes pela sua importante ajuda nesses cinco anos de orientação, pelos conhecimentos repassados, pela paciência e por todo compromisso;

A Julyanne Braga por toda força, ajuda e incentivo nessa etapa final, sou muito grata pela sua dedicação em contribuir para minha formação e pela amizade construída;

A Fernanda Helena pelas inúmeras vezes em que me ajudou no início da minha graduação, pelos conselhos e pela sua linda amizade.

Ao Josivan de Oliveira por aceitar participar da minha banca, pelas inúmeras contribuições e amizade formada ao longo do período de graduação.

Aos meus amigos de graduação que compartilharam comigo diversos momentos de alegria e também de aflição, agradeço por terem sido parceiros de jornada. Em especial as minhas queridas amigas Leticia, Ingrid, Joelma, Helen, Nicole e aos meus amigos Sávio Justino, Bruno Pereira e Icaro Melo.

A todos do Grupo de pesquisa e extensão Manejo de Água e Solo no Semiárido – MASSA;

Aos meus amigos que sempre torceram pelo meu sucesso profissional e pessoal:  
Andressa Oliveira, Amanda Witória, Letícia Aragão, Lucicleia Melo, Marcelo  
Angelim, Mayara Rocha, Paulo Victor e Robson Andrade.

“Conhecimento não é aquilo que você sabe,maso  
quevocê faz com aquilo que você sabe.”

*Aldous Huxley*

## RESUMO

A região semiárida cearense é marcada por um clima de elevadas temperaturas durante o ano todo além de chuvas irregulares concentradas no primeiro semestre, devido a essas características peculiares o semiárido é considerado um clima frágil. O processo de eutrofização é um problema recorrente em reservatórios dessa região, o que influencia na qualidade da água que abastece a população e as atividades agrícolas. Assim, devido as condições climáticas da região, a tendência é a intensificação desse processo devido o aporte de cargas. O uso e ocupação do solo surgem como fatores primordiais para compreender os principais impactos desse fenômeno nessa região. Por tanto, objetivou-se avaliar e classificar o grau de trofia de um reservatório superficial artificial do semiárido utilizando o Índice de Estado Trófico (IET) e o uso e ocupação do solo. O estudo foi realizado no reservatório General Sampaio, pertencente a Bacia do Curu, Ceará. Os dados de transparência foram medidos *in situ* e os dados de clorofila-*a* (Cl-*a*) e fósforo total (PT) foram determinados em laboratório. Os dados são referentes aos disponíveis na página da Companhia da Gestão de Recursos Hídricos do Estado do Ceará – COGERH, junto aos dados de coletas realizadas em campo. As medidas *in situ* e as amostras de águas foram coletadas em um ponto (P01 – Tomada d'água) do reservatório, ponto no qual refere-se aos dados da COGERH. Para avaliar os diferentes comportamentos das variáveis limnológicas, os dados foram separados em período seco e chuvoso e realizaram-se descrições estatísticas, relacionando-os também com o volume hídrico do reservatório. Em seguida, foi calculado o índice do estado trófico médio. Por fim, foi realizada a correlação entre a presença dos atributos estudados e a precipitação para o dia da coleta como para 10 e 30 dias anteriores. Para a realização do estudo temporal utilizou-se imagens da coleção do MAPBIOMAS para os anos de 2009, 2014 e 2019. De modo geral, os atributos limnológicos clorofila-*a*, fósforo e nitrogênio em grande parte do período de estudo, apresentaram concentrações acima do limite adequado estabelecido pela CONAMA para abastecimento humano. As concentrações dos nutrientes avaliados, sofreram uma variação uniforme entre o período seco e chuvoso, a principal influência na variação ocorreu em decorrência do volume do reservatório. Observou-se que o volume reduzido contribuiu para a intensificação do índice trófico ao longo dos anos, apresentando boa correlação. As precipitações de 10 dias antes da data de coleta não apresentaram significância quanto a influência na presença dos atributos analisados. O uso e ocupação da bacia é bem homogêneo, necessitando apenas do controle das ações antrópicas para evitar o agravamento de fontes poluidoras dos corpos hídricos.

**Palavras-chave:** Manejo de Bacias. Qualidade de água. Sensoriamento Remoto.

## ABSTRACT

The semi-arid region of Ceará is marked by a climate of high temperatures throughout the year, in addition to irregular rains concentrated in the first semester, due to these peculiar characteristics the semi-arid is considered a fragile climate. The eutrophication process is a recurring problem in reservoirs in this region, which influences the quality of the water that supplies the population and agricultural activities. Due to the climatic conditions of the region, the tendency is to intensify this process due to the loading of loads. Land use and occupation are key factors in understanding the main impacts in a given region. Therefore, the objective was to evaluate and classify the degree of trophy of an artificial surface reservoir in the semiarid region using the Trophic State Index (TSI). The study was carried out in the General Sampaio reservoir, belonging to the Curu Basin, Ceará. Transparency data were measured in situ, chlorophyll-a (Cl-a) and total phosphorus (PT) were determined in the laboratory. The data refer to those available on the website of the Companhia da Gestão de Recursos Hídricos do Estado do Ceará – COGERH, together with data collected in the field. The in situ measurements and water samples were collected at one point (P01 – Water intake) of the reservoir, at which point COGERH data is used. To evaluate the different behaviors of the limnological variables during the dry and rainy season, the data were organized according to the period and statistical descriptions were made, also relating them to the water volume of the reservoir. Then, the average trophic state index was calculated. A correlation was made between the presence of the studied attributes and the precipitation for the day of collection and for the previous 10 and 30 days. To carry out the temporal study, images from the MAPBIOMAS collection were used for the years 2009, 2014 and 2019. In general, the limnological attributes chlorophyll-a, phosphorus and nitrogen in most of the study period presented concentrations above the limit established by CONAMA for human supply. The concentrations of the evaluated nutrients suffered little variation when compared to the seasonal, rainy and dry periods. It was observed that the reduced volume contributed to the intensification of the trophic index over the years, showing a good correlation. The rainfall of 10 days before the collection date did not show significance in terms of the influence on the presence of the analyzed attributes. The use and occupation of the basin is very homogeneous, requiring only the control of human actions to avoid the aggravation of polluting sources of water bodies.

**Keywords:**Basin Management. Water quality. Remote sensing.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Localização da Bacia Hidrográfica do Reservatório General Sampaio, Ceará, Brasil. .....	24
Figura 2 Mapa da distribuição de solos da Bacia Hidrográfica do Reservatório General Sampaio .....	25
Figura 3 Precipitação diária, acumulada e o volume para os anos de 2009 a 2019, no reservatório General Sampaio .....	30
Figura 4 - Classificação do uso e ocupação da Bacia Hidrográfica do Reservatório General Sampaio para o ano de 2009.....	31
Figura 5- Classificação do uso e ocupação da Bacia Hidrográfica do Reservatório General Sampaio para o ano de 2014.....	33
Figura 6 - Classificação do uso e ocupação da Bacia Hidrográfica do Reservatório General Sampaio para o ano de 2019.....	33
Figura 7 - Variação dos valores de fósforo (A), clorofila-a (B), nitrogênio (C) e transparência (D) relacionados ao volume do reservatório General Sampaio.....	34
Figura 8- Distribuição sazonal das variáveis limnológicas: fósforo (A), clorofila (B), nitrogênio (C) e transparência (D).....	36
Figura 9 - Índice de estado trófico médio relacionado ao volume para o reservatório General Sampaio .....	41

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Datas dos dados de coleta do grupo MASSA.....	26
Tabela 2 - Classificação dos níveis tróficos adaptada por Lamparelli (2004).....	28
Tabela 3 - Classe de Cobertura e uso de terra usada no MapBiomias.....	29
Tabela 4 - Quantificação das áreas identificadas para os anos de 2009, 2014 e 2019. ...	32
Tabela 5 - Correlação entre os atributos Limnológicos e a precipitação, relacionado ao período chuvoso.....	38
Tabela 6 - Correlação entre os atributos Limnológicos e a precipitação, relacionado ao período de estiagem.....	39
Tabela 7 - Classificação do reservatório General Sampaio por meio dos índices do estado trófico de Lamparelli (2004) utilizando valores médios para o período chuvoso e seco para os anos de 2009 a 2019.....	42

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>15</b>
<b>2 REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>18</b>
<b>2.1 SEMIÁRIDO BRASILEIRO .....</b>	<b>18</b>
<b>2.2 QUALIDADE DA ÁGUA.....</b>	<b>19</b>
<b>2.3 EUTROFIZAÇÃO .....</b>	<b>20</b>
<b>2.4 USO E OCUPAÇÃO DO SOLO .....</b>	<b>21</b>
<b>2.5 MONITORAMENTO E USO DO SENSORIAMENTO REMOTO .....</b>	<b>22</b>
<b>3. MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>24</b>
<b>3.1 ÁREA DE ESTUDO .....</b>	<b>24</b>
<b>3.2 COLETAS E OBTENÇÃO DE DADOS .....</b>	<b>26</b>
<b>3.3 ÍNDICE DE ESTADO TRÓFICO .....</b>	<b>27</b>
<b>3.4 USO E OCUPAÇÃO DO SOLO .....</b>	<b>28</b>
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>30</b>
<b>4.1 ANÁLISE DO USO E OCUPAÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA .....</b>	<b>30</b>
<b>4.2 ANÁLISE DOS DADOS LIMNOLÓGICOS .....</b>	<b>34</b>
<b>5. CONCLUSÕES.....</b>	<b>43</b>
<b>6. REFERÊNCIAS .....</b>	<b>44</b>

## **LISTA DE SIGLAS**

BHRGS – Bacia Hidrográfica do Reservatório General Sampaio

CONAMA- Conselho Nacional do Meio Ambiente

COGERH- Companhia da Gestão de Recursos Hídricos do Estado do Ceará

IET- Índice de Estado Trófico

MDE- Modelo Digital de Elevação

SR- Sensoriamento Remoto

SUDENE- Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste

## 1 INTRODUÇÃO

O clima semiárido é predominante na maior parte do território cearense, esse clima é caracterizado pela irregularidade pluviométrica, pelas elevadas taxas de evaporação e pelo reduzido volume de chuvas, inferiores a 800 mm por ano, além disso a região semiárida apresenta solos pouco desenvolvidos (PEREIRA *et al.*, 2021). Os aspectos mencionados são os principais fatores que afetam diretamente a disponibilidade da água para a população. Além disso, a má administração hídrica e a elevação dos impactos ocasionados pelo homem, sobre os ecossistemas aquáticos aceleram a eutrofização da água dos lagos e dos reservatórios, comprometendo a sua qualidade e distribuição (BEZERRA *et al.*, 2014).

Quando ocorrem precipitações, o escoamento superficial transporta os poluentes até os reservatórios, promovendo o enriquecimento de nutrientes, fósforo e nitrogênio. A ausência de coberturas vegetais, como matas ciliares e serrapilheiras, favorece o transporte desses elementos. Ademais, essa ausência auxilia no carreamento de sedimentos, no qual estão presentes nutrientes que tendem a influenciar qualitativamente a água para o abastecimento humano. Quanto mais elevada a proporção de cobertura vegetal e da rugosidade da superfície do solo, menor será o escoamento superficial (SANTOS *et al.*, 2010).

Existem variadas fontes de poluição da água, podendo ser classificadas em pontuais ou difusas. As fontes pontuais são aquelas caracterizadas por efluentes domésticos e industriais. Já as fontes difusas são caracterizadas pelos resíduos provenientes da atividade agrícola, como os fertilizantes, os herbicidas, defensivos agrícolas, entre outros (BUZELLI, 2013).

Os principais elementos carreados pelas fontes poluidoras são o nitrogênio e fósforo. Sendo estes nutrientes essenciais à cadeia alimentar, porém quando liberados em elevadas concentrações e associados às condições adequadas de luminosidade, aceleram o processo denominado eutrofização (BARRETO *et al.*, 2013). Para os autores Smith & Schindler (2009), a eutrofização pode ocasionar alterações nas variáveis físicas e químicas da água, como no sabor, no odor e na turbidez. Para identificar o nível de eutrofização de um corpo hídrico, utiliza-se dos índices de estado trófico.

O índice de estado trófico (IET) é empregado com maior frequência no monitoramento qualitativo de água devido à utilização de parâmetros de simples

determinação e baixo custo analítico. Para Carlson (1977), a avaliação da biomassa fitoplanctônica se dá através do índice do estado trófico, utilizando uma relação entre a transparência (disco de Secchi), as concentrações de fósforo total e clorofila-a, sendo estas amostras coletadas próximo à superfície da água. Este método foi desenvolvido para regiões temperadas, com a presença de chuvas ao longo de todo o ano, onde o metabolismo dos ecossistemas aquáticos é diferente dos encontrados em ambientes de clima tropical.

Os reservatórios das regiões semiáridas, considerados tropicais, possuem características climáticas complexas e variáveis, como por exemplo as elevadas temperaturas. Esses fatores contribuem para inconstâncias na classificação do IET para essa região, visto que o IET foi elaborado para outro Estado de climatologia diferente. Toledo *et al.* (1983) propuseram modificações na metodologia de Carlson (1977), utilizando dados do reservatório de Barra Bonita, em São Paulo, sendo essa proposta testada nos demais reservatórios do estado. Lamparelli (2004) ajustou as equações para avaliar o grau de trofia em corpos d'água lênticos e lóticos do Estado de São Paulo, bem como incluiu uma nova classificação denominada como supereutrófica. As versões modificadas do índice avaliado são mais adequadas para a determinação do estado trófico do que as formas originais.

Como a eutrofização está associada a concentração de nutrientes e este processo é determinante para a qualidade das águas (TRINDADE *et al.*, 2014), torna-se importante o acompanhamento de variáveis limnológicas do curso d'água, sendo sua redução essencial para a recuperação dos reservatórios que são utilizados no abastecimento público (WIEGAND *et al.*, 2016). Além disso, a eutrofização acarreta no aumento nos custos do tratamento da água, devido ao uso de diversos processos que tornem este recurso potável (BARRETO *et al.*, 2013).

Dessa forma, é de suma importância a obtenção de informações sobre os fatores que influenciam na qualidade da água dos reservatórios para que se conheça a situação dos corpos hídricos e seja feito um planejamento do seu uso, além de ter conhecimento de seus impactos ao homem, sendo exercido o necessário controle dos mesmos e um manejo adequado do recurso (BRAGA, 2006), sendo responsabilidade dos órgãos de administração pública e direito fundamental do cidadão (LAMPARELLI *et al.*, 2004). A partir dessas considerações, objetivou-se avaliar qualitativamente através do índice de estado trófico (IET) e classificar, quanto ao grau de trofia, a água do

reservatório General Sampaio, além de analisar o uso e ocupação do solo de sua bacia hidrográfica.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Semiárido Brasileiro

A região semiárida brasileira compreende uma área de 1 128 697 km<sup>2</sup>, sendo composta por 1.262 municípios. Os critérios de classificação das regiões semiáridas estão dispostos nas resoluções nº 107, de 27 de julho de 2017 e nº 115, de 23 de novembro de 2017. Para ser considerada uma região semiárida a área deve obedecer às seguintes características: possuir uma precipitação pluviométrica média anual igual ou inferior a 800 mm, ter um índice de aridez de Thornthwait igual ou inferior a 0,50 e um percentual diário de déficit hídrico acima de 60% (SUDENE, 2017).

Além das características já mencionadas, o semiárido brasileiro possui especificidades como: elevada insolação, alta variabilidade espacial e temporal de chuvas, e precipitação pluviométrica concentrada em poucos meses (SALVIANO, 2021). Devido a elevada evapotranspiração potencial durante todo o ano, os recursos hídricos tornam-se indisponíveis para longos períodos, impossibilitando o abastecimento populacional até o próximo período chuvoso, caracterizando assim, um balanço hídrico negativo (SILVA *et al.*, 2010). Diante disso, surgiu a prática de armazenagem de água, para garantir a disponibilidade do recurso por mais tempo.

A açudagem é uma das políticas públicas mais implantada para a garantia do recurso hídrico por um período mais prolongado, bem como o seu uso para as mais diversas atividades, contribuindo assim para o desenvolvimento econômico e sustentável da região semiárida (ARAÚJO *et al.*, 2003). Os reservatórios artificiais são fontes de captação de água durante a quadra chuvosa. A prática da açudagem está regulamentada desde 1931, por meio de decreto federal, os programas de açudagem pública nas décadas de 1950 e 60 contribuíram para a expansão dessas construções em regiões semiáridas (MALVEIRA, 2009).

Silva *et al.* (2021) descreve a divisão do regime pluviométrico em duas estações distintas: estação chuvosa e estação seca. A estação chuvosa tem ocorrência no primeiro semestre do ano e possui uma variação em sua duração de três a cinco meses, já a estação seca é marcada por longos períodos de estiagem variando de sete a nove meses. O potencial chuvoso bem como a sua variação anual e interanual é dependente de fenômenos específicos, podendo ser mais intensos e abundantes ou mais escassos (*et al.*, 2019). Na região Nordeste por exemplo, o posicionamento e a intensidade da zona

de convergência intertropical entre os meses de janeiro a maio é um fator determinante do período chuvoso (SILVA *et al.*, 2010; LYRA *et al.*, 2019).

As peculiaridades voltadas para o clima semiárido brasileiro exigem da vegetação, do solo e dos animais boas adaptações aos aspectos regionais. Nesse contexto, Chistofolletti (2001) destaca a importância de utilizar medidas de uso e conservação desses ambientes, tendo em vista que a ausência dos recursos naturais ocasiona a degradação local por meio dos processos erosivos.

## 2.2 Qualidade da Água

A água é um recurso imprescindível para a manutenção e sobrevivência de todos os seres vivos. Com o crescimento populacional, industrial e o aumento da produção agrícola a água vem sendo utilizada de forma intensiva (SILVA, 2018). O termo “qualidade da água” vai além de aspectos voltados ao seu estado de pureza, está relacionado a fatores químicos, físicos e biológicos que variam em decorrência do tempo, das características físicas da bacia hidrográfica e dos fenômenos ocorridos durante um longo período (FERREIRA *et al.*, 2015).

Na região semiárida esse recurso encontra-se mais escasso, visto as condições naturais desse clima, tanto ligadas as elevadas temperaturas como a presença de eventos extremos de secas ou cheias, os longos períodos de estiagem provocam vulnerabilidades relacionadas ao abastecimento (ARAÚJO NETO *et al.*, 2017). O abastecimento doméstico de água é um dos fatores mais preocupantes na gestão dos recursos hídricos, podendo ser comprometido em decorrência do uso e ocupação incorretos nas proximidades do reservatório. O monitoramento periódico das águas superficiais e subterrâneas é uma tarefa primordial para avaliar a qualidade e garantir uma boa gestão dos recursos relacionados a sua distribuição (GUNKEL *et al.*, 2003).

A frequente avaliação da qualidade da água deve ser realizada para garantir o conhecimento das alterações relacionadas a ações humanas e naturais. Algumas atividades antrópicas como o despejo inadequado de efluentes domésticos e industriais, a agropecuária, a piscicultura entre outras, elevam a contaminação desse recurso natural (ANDRADE *et al.*, 2020). A maioria das modificações no uso e ocupação do solo na região Nordeste, são vistas em decorrência da agricultura e pecuária (LOPES *et al.*, 2014).

Em relação às atividades agrícolas, a remoção da vegetação nativa, bem como o uso de defensivos químicos corroboram para a deposição de sedimentos e nutrientes nos corpos hídricos, por meio do fenômeno da erosão hídrica, além disso contribuem para a perda da biodiversidade e queda da fertilidade do solo. Para a classificação dos corpos hídricos quanto à qualidade da água e o seu emprego, é necessário identificar os níveis nutricionais com base na legislação.

A resolução nº 357 do CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente) tem como principal objetivo estabelecer parâmetros de classificação para o uso da água, adequando os diferentes tipos de uso a cada classe definida em conformidade com os elementos presentes, além disso, ajusta as condições e padrões de lançamento de efluentes possíveis.

### **2.3 Eutrofização**

A eutrofização é um fenômeno indicador da presença excessiva de nutrientes em um corpo d'água, podendo ocorrer por meio de processos naturais ou induzidos por ações humanas (LAMPARELLI, 2004). Dentre os nutrientes que aceleram esse processo destacam-se o nitrogênio e o fósforo, que elevam a atividade biológica, aumentando a população de macrófitas e algas planctônicas (ARAUJO *et al.*, 2013). Muitos são os prejuízos elencados ao processo eutrófico, como: queda da oxigenação, diminuição do espelho d'água, morte da fauna e flora aquática bem como a produção de toxinas (WIEGAND *et al.*, 2016).

A falta de cobertura vegetal no solo é um fator contribuinte para o fenômeno da erosão, por meio dos processos erosivos diversos sedimentos ricos em nutrientes são carregados para dentro dos corpos hídricos. Segundo Ponte *et al.*(2020), a presença desses nutrientes eleva a produção de cianobactérias, da biomassa fitoplanctônica e das macrófitas. Dentre as consequências deste fenômeno, destaca-se a diminuição do oxigênio na água, que afeta diretamente a fauna aquática.

O monitoramento frequente e a avaliação trófica em reservatórios é primordial para garantir a elaboração de soluções válidas para prolongar a qualidade da água e dos seres vivos, bem como reduzir os impactos ambientais nesses espaços (FEITOSA, 2011). Visando o acompanhamento desse fenômeno, o Índice de Estado Trófico determinado por Carlson (1977) vem sendo muito utilizado para avaliar a qualidade da água. A base para esse estudo se dá por meio de três variáveis: clorofila-a,

transparência e fósforo total. Com o intuito de adequar o índice para outras regiões, alguns autores como Toledo *et al.* (1983) e Lamparelli (2004) que mostraram-se mais adequadas para a determinação do IET.

## 2.4 Uso e ocupação do solo

As Bacias Hidrográficas são áreas delimitadas de captação natural de água advinda dos cursos hídricos interligados (TUCCI; MENDES, 2006). O conceito de Bacia Hidrográfica é condizente com a presença de nascentes, divisores de água e a natureza da ordem dos cursos principais e secundários (JULIANI *et al.*, 2014). Nesse contexto, destaca-se que o uso e ocupação do solo é fator preocupante para a conservação de qualquer ambiente natural (SANTOS; SANTOS, 2010). Sendo o uso inadequado carreador de danos ambientais como a erosão, inundações, assoreamento de reservatórios e cursos d'água (SANTOS *et al.*, 2021). Ou seja, a identificação e avaliação do uso do solo de uma bacia hidrográfica são fatores primordiais para compreender os principais aspectos que provocam a degradação do ambiente e agir de forma assertiva.

Os principais recursos naturais afetados pelas ações antrópicas são os solos e a água, ambos desempenham papel fundamental para a sobrevivência dos seres vivos (DUARTE *et al.*, 2021). As ações humanas como o uso do fogo e o desmatamento como ferramentas agrícolas, provocam danos ambientais, acelerando o processo erosivo e o aporte de sedimentos nos reservatórios, bem como a perda da biodiversidade e mudanças climáticas (GONÇALVES *et al.*, 2012).

No semiárido nordestino, o período de estiagem é mais evidenciado no segundo semestre do ano, devido a essa característica natural a exploração por meio da agricultura de sequeiro e da pecuária, ocorrem de forma mais intensa nos primeiros meses do ano. Essas atividades realizadas de forma excessiva aceleram alguns processos erosivos bem como provocam o desequilíbrio nutricional do solo e da vegetação (COELHO *et al.*, 2014). Apesar da erosão ser um fenômeno natural, o aumento populacional bem como a desenfreada atividade antrópica tem provocado mudanças drásticas na superfície terrestre (SILVA *et al.*, 2021).

A erosão hídrica é vista como o principal fator potencial degradador que ocasiona grandes impactos na capacidade produtiva. Algumas práticas conservacionistas proporcionam a redução desse fenômeno, sendo o manejo e a

conservação da cobertura do solo uma essencial barreira física que contribui para o menor impacto das gotas de chuva e a maior infiltração no solo (SANTOS *et al.*, 2008; BEZERRA *et al.*, 2010).

Elenca-se ainda que a cobertura vegetal é essencial para a redução dos processos erosivos. A presença da vegetação nativa, caatinga, é vista como uma forma eficaz de evitar a erosão do solo. Albuquerque *et al.* (2002), em um dos seus estudos sobre o manejo da cobertura do solo e práticas conservacionistas, obteve como resultado que a caatinga se mostrou uma eficiente barreira física, sendo mais eficaz que a presença da vegetação pastagem e do uso de cobertura morta no solo, contudo, essas duas outras práticas também se diferenciaram positivamente em relação ao solo exposto. Áreas com plantio convencional não são vistas como barreiras totalmente eficientes, visto a sua baixa cobertura e os tratos culturais que foram realizados no preparo do solo (ALMEIDA *et al.*, 2016). Assim o auxílio de profissionais que colaborem para um manejo eficiente do solo é imprescindível para a conservação dos recursos.

A assistência técnica em conjunto com os conhecimentos prévios sobre a importância da vegetação pode ser vista como solução para a utilização do solo de forma correta. Além disso, o monitoramento e a fiscalização dessas áreas é uma tarefa fundamental para garantir a manutenção e os métodos alternativos de recuperação do solo e da vegetação. As leis que asseguram a restrição na retirada da vegetação garantem uma maior estabilidade na qualidade da água dos reservatórios e na conservação do solo.

## **2. 5 Monitoramento e uso do Sensoriamento Remoto**

As geotecnologias consistem na utilização ou manipulação de dados espaciais e geográficos para o monitoramento de diferentes tipos de sistemas. Dentre as mais utilizadas, o sensoriamento remoto destaca-se pela sua elevada capacidade de obter informações por meio de sensores ativos e passivos (FARIAS, 2020). A definição de sensoriamento remoto é bem variável do ponto de vista de alguns autores, mas de modo geral é denominado como uma ferramenta de obtenção de informações capaz de captar e mensurar diferentes mudanças em um alvo específico sem a necessidade de contato físico com o mesmo (LOPES, 2013).

A partir do uso do sensoriamento remoto é possível monitorar periodicamente extensas áreas que seriam inviáveis de serem analisadas *in situ*. Assim,

o monitoramento de bacias hidrográficas pode ser realizado por meio de imagens orbitais com elevada qualidade, sendo possível classificar as classes de uso e ocupação do solo (VAEZA *et al.*, 2012). Segundo Vasconcelos (2019), o tipo de uso e ocupação do solo de uma bacia hidrográfica influencia nos possíveis riscos de contaminação da água e do solo. As fontes difusas prejudiciais podem ser identificadas com o uso de técnicas de sensoriamento Remoto, em seguida pode ser adotado um plano de recuperação para essas áreas.

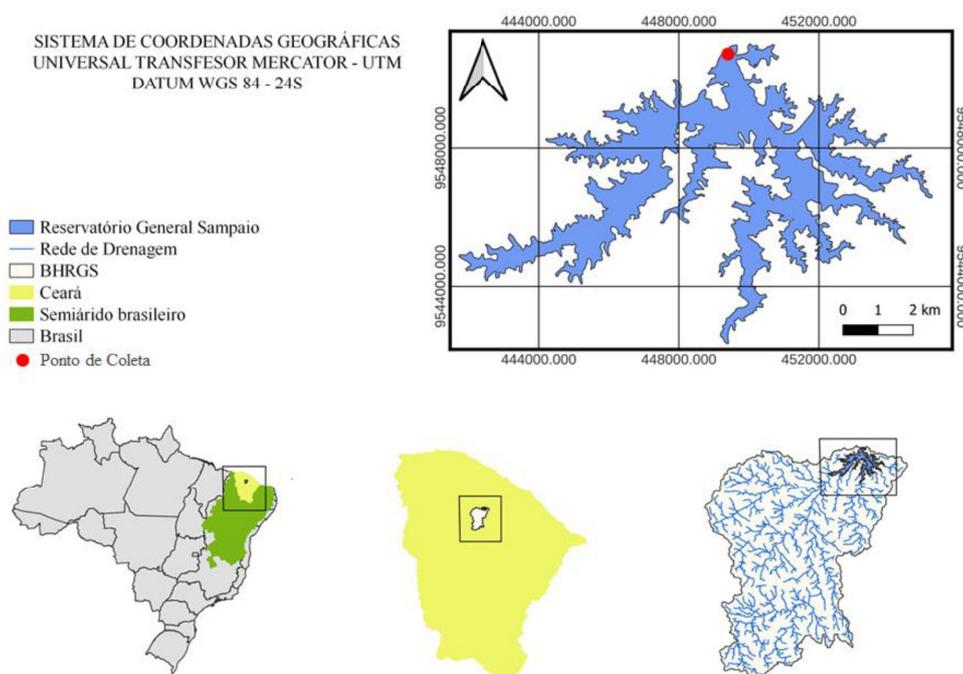
Por meio da classificação de imagens, é possível distinguir as diferentes ocupações superficiais da terra de uma bacia hidrográfica. As feições podem ser identificadas como solo exposto, vegetação, nuvens, sombras entre outros. A metodologia de classificação conta com a divisão de duas categorias: a não supervisionada e a supervisionada. Na segunda categoria, a definição das classes irá depender do analista, que levará em consideração alguma referência previamente definida (ARAÚJO NETO *et al.*, 2017). Assim, a partir da homogeneização dos dados da imagem é possível analisar os aspectos que influenciam nos processos degradadores de uma bacia hidrográfica.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Área de estudo

A área de estudo corresponde a Bacia Hidrográfica do Reservatório General Sampaio (BHRGS), pertencente ao sistema hidráulico do rio Curu (Figura 1). Localizada na porção norte do estado do Ceará, no município de General Sampaio, com coordenadas geográficas 4° 03' 10" de latitude Sul e 39° 27' 16" de longitude Oeste.

Figura 1 - Localização da Bacia Hidrográfica do Reservatório General Sampaio, Ceará, Brasil

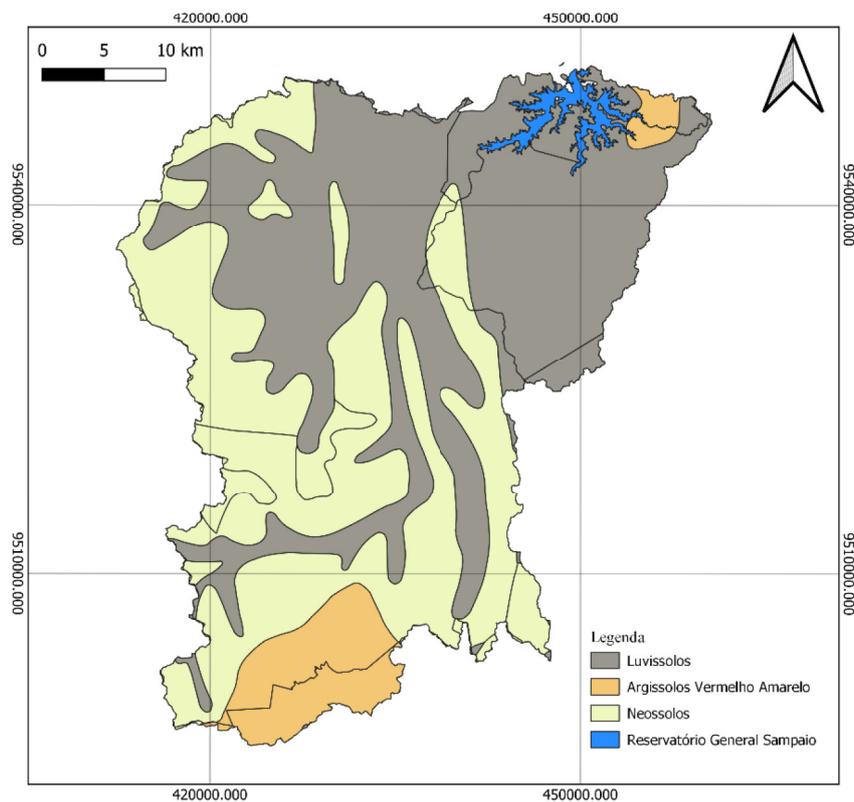


Com uma altitude mínima de 107 m e a máxima de 1043 m a BHRGS drena uma área de 1.720 km<sup>2</sup>, a cota do vertedouro do açude General Sampaio é de 125 m, e uma capacidade volumétrica de 322.200.000 m<sup>3</sup>. O reservatório General Sampaio, principal área de estudo, é considerado o nono maior reservatório do estado do Ceará, o período de construção da barragem desse açude foi de 1960 a 1957.

A bacia hidrográfica possui uma área de 1.592, 88 km<sup>2</sup> e um perímetro de 312,06 km (IPECE, 2002). A classificação do solo da BHRGS é em sua maioria do tipo Luvissole e Neossolo (Figura 2). Os Luvissoles são caracterizados como solos com a

presença de horizonte B, além disso são considerados solos com forte presença de argila. Já os neossolos apresentam uma baixa evolução com ausência de horizonte B (EMBRAPA, 2001).

Figura 2- Mapa da distribuição de solos da Bacia Hidrográfica do Reservatório General Sampaio



Fonte: EMBRAPA (2001)

Segundo a classificação de Koppen, o clima da bacia hidrográfica é do tipo BSh'w', sendo caracterizado como semiárido quente, com temperatura mensal maior que 18°C e chuvas predominantes no outono. A temperatura média anual é em média de 27,3°C. A precipitação pluviométrica anual é em torno de 1150 mm, com estação chuvosa predominante no primeiro semestre do ano e chuvas mais intensas de janeiro a junho, já os demais meses correspondem ao período de estiagem, principalmente entre os meses de agosto a novembro (COGERH, 2011).

### 3.2 Coletas e obtenção de dados

As amostras de água foram coletadas no açude General Sampaio (Figura 1). As coletas foram realizadas pela equipe do Grupo de Pesquisa e Extensão Manejo de Água e Solo no Semiárido – MASSA a partir do ano de 2015, foram realizados em média 11 coletas que abrangeram o período de estudo. O procedimento de coleta foi feito utilizando garrafas plásticas de 1 L devidamente esterilizadas, a água foi coletada a uma profundidade de 30 cm para uma maior homogeneização do material coletado. As amostras de água coletadas foram acondicionadas em caixas isométrica e adicionado gelo para a garantia da conservação do material até a posterior análise.

Os demais dados foram obtidos por meio do portal hidrológico da Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos – COGERH (2020), de 2009 a 2019 para o mesmo ponto (P01). A utilização apenas do ponto P01 do reservatório se deu em função de ser o único ponto de coleta de dados disponibilizado pela COGERH. Na Tabela 1 é possível observar as datas correspondentes aos dados de coletas utilizados do grupo MASSA

Tabela 1- Datas dos dados de coleta do grupo MASSA

DATA DE COLETAS DO GRUPO MASSA		
08/04/2015	15/07/2015	08/12/2015
10/03/2016	29/09/2016	05/12/2018

Fonte: Elaborado pelo autor

Foram realizadas as análises laboratoriais dos Atributos físicos, químicos e biológicos. As análises de clorofila-a e fósforo total foram realizadas no Laboratório de Química Ambiental (LAQA/UFC) conforme a metodologia da APHA *et al.* (2005). Os dados de transparência foram obtidos *in situ* por meio do disco de Secchi (SD).

Foram utilizados os dados de precipitação pluviométrica disponibilizados pela Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos - FUNCEME. Foi avaliado a irregularidade do nível de chuvas ao longo dos anos, assim como a precipitação acumulada. Além da pluviometria também foi analisado o volume do reservatório para os dias de coleta, sendo estes retirados da página da COGERH (2020).

Realizou-se o Teste T de Student para correlacionar os valores dos atributos limnológicos e do IET bem como avaliar a influência das precipitações de 1, 10 e 30 dias para o período seco e chuvoso por meio do *software* R.

### 3.3 Índice de Estado Trófico

A quantificação do Estado Trófico do reservatório General Sampaio foi realizada por meio dos atributos que compõem o processo de eutrofização, sendo estes: clorofila-a, fósforo total e transparência das águas. A clorofila-a é utilizada como uma medida indicadora da presença de algas.

De posse dos dados, foi calculado o IET aplicando as equações (1 a 4) de Carsol (1977) e adaptadas por Lamparelli (2004) para ambientes lênticos e lóticos do estado de São Paulo.

$$IET(Cl - a) = 10 * \left( 6 - \frac{0,92 - 0,34 * \ln(Cl - a)}{\ln(2)} \right) \quad (1)$$

$$IET(PT) = 10 * \left( 6 - \frac{1,77 - 0,42 * \ln(PT)}{\ln(2)} \right) \quad (2)$$

$$IET(SD) = 10 * \left( 6 - \frac{0,64 + \ln(SD)}{\ln(2)} \right) \quad (3)$$

$$IET = \frac{IET(PT) + IET(Cl - a) + IET(SD)}{3} \quad (4)$$

em que: IET – é o índice de estado trófico médio, ln – logaritmo natural, Cl-a – indica a concentração de clorofila-a medida a uma profundidade de 30 cm da superfície da água ( $\mu\text{g L}^{-1}$ ), PT – indica a concentração de fósforo total da água ( $\mu\text{g L}^{-1}$ ), SD – indica a transparência medida por meio de disco de Secchi (m).

A partir dos resultados do IET, ocorreu a classificação das águas utilizando os limites estabelecidos por Lamparelli (2004) descritos na Tabela 2.

Tabela 2 - Classificação dos níveis tróficos adaptada por Lamparelli (2004)

Nível trófico	Clorofila – a ( $\mu\text{g L}^{-1}$ )	SD (m)	P- total ( $\text{mg PO}_4^{-3} \cdot \text{m}^{-3}$ )	IET
ULRAOLIGOTRÓFICO	$\text{Cl-a} \leq 1,17$	$\geq 2,4$	$P \leq 8$	$\text{IET} \leq 47$
OLIGOTRÓFICO	$1,17 < \text{Cl-a} \leq 3,24$	$2,4 > \text{SD} \geq 1,7$	$8 < P \leq 19$	$47 < \text{IET} \leq 52$
MESOTRÓFICO	$3,24 < \text{Cl-a} \leq 11,03$	$1,7 > \text{SD} \geq 1,1$	$19 < P \leq 52$	$52 < \text{IET} \leq 59$
EUTRÓFICO	$11,03 < \text{Cl-a} \leq 30,55$	$1,1 > \text{SD} \geq 0,8$	$52 < P \leq 120$	$59 < \text{IET} \leq 63$
SUPEREUTRÓFICO	$30,55 < \text{Cl-a} \leq 69,05$	$0,8 > \text{SD} \geq 0,6$	$120 < P \leq 233$	$63 < \text{IET} \leq 67$
HIPEREUTRÓFICO	$\text{Cl-a} > 69,05$	$< 0,6$	$233 < P$	$\text{IET} > 67$

Fonte: Modificado de Lamparelli (2004)

### 3.4 Uso e ocupação do solo

Para o estudo temporal da dinâmica do uso e ocupação do solo da BHRGS realizou-se do *Download* da coleção de mapas da área, disponível na página do MapBiomas. O órgão disponibiliza uma série de dados do uso e ocupação do solo nos mais diversos biomas brasileiros. Os dados possuem um formato matricial com resolução espacial de 30 metros e as imagens disponibilizadas na coleção são provenientes dos satélites Landsat, do programa de monitoramento da Terra do governo Americano.

Foram utilizadas imagens do bioma caatinga para os anos de 2009, 2014 e 2019. O estudo das diferentes coberturas e usos da terra no projeto MapBiomas é realizado a partir da divisão de 6 principais classes contendo subclasses (Tabela 3).

Tabela 3 - Classe de Cobertura e uso de terra usada no MapBiomias

1. Floresta	2. Formação Natural não Florestal
Floresta Natural	Campo Alagado e Área Pantanosa
Formação Floresta	Formação Campestre
Formação Savânica	Apicum
Mangue	Afloramento Rochoso
Floresta Plantada	Outras formações não florestais
3. Agropecuária	4. Área não Vegetada
Pastagem	Praia e duna
Agricultura	Infraestrutura urbana
Lavoura Temporária	Mineração
Soja	Outras áreas não vegetadas
Cana-de-açúcar	
Outras lavouras Temporárias	
Lavoura Perene	
Moisaico de agricultura e pastagem	
5. Corpos D'água	6. Não observado
Rio, Lago e Oceano	
Aquicultura	

Fonte: MAPBIOMAS

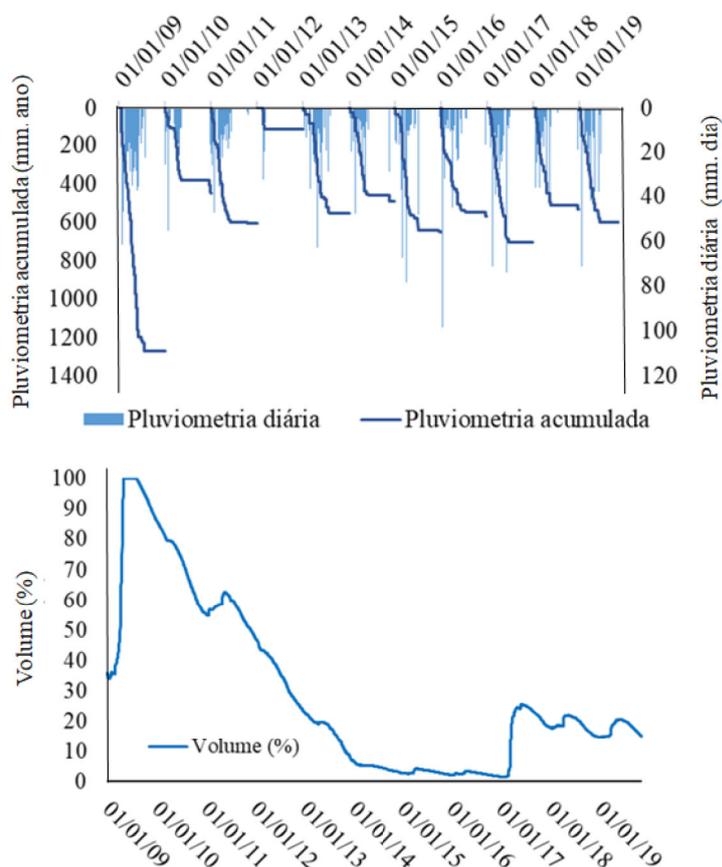
Em seguida foi utilizado *software* Arcgis Pro 2.8.0 para o processamento e análise dos dados. Primeiramente realizou-se a reprojeção do sistema de coordenadas das imagens para o Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas (SIRGAS 2000), em sequência foi feito a seleção da área da bacia na imagem por meio da ferramenta *Extract by mask*. As imagens foram vetorizadas com a finalidade de separar as classes de uso e ocupação por meio da ferramenta *raster to polygon*. Por fim, foi calculado a área correspondente a cada classe de uso e ocupação da bacia hidrográfica e a confecção dos mapas legendados.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Análise do Uso e Ocupação da Bacia Hidrográfica

Em relação ao período de estudo, precipitação pluviométrica acumulada foi mais elevada para o ano de 2009, sendo também o ano em que o reservatório apresentou a sua capacidade máxima volumétrica (Figura 3). Em relação aos demais anos a precipitação encontrou-se em um nível bem semelhante, diferenciando-se de forma mais visível para o ano de 2012. O reservatório apresentou um elevado decréscimo em seu volume entre os anos de 2009 a 2017, chegando a alcançar um volume de 2% para o ano de 2017.

Figura 3- Precipitação diária, acumulada e o volume para os anos de 2009 a 2019, no reservatório General Sampaio



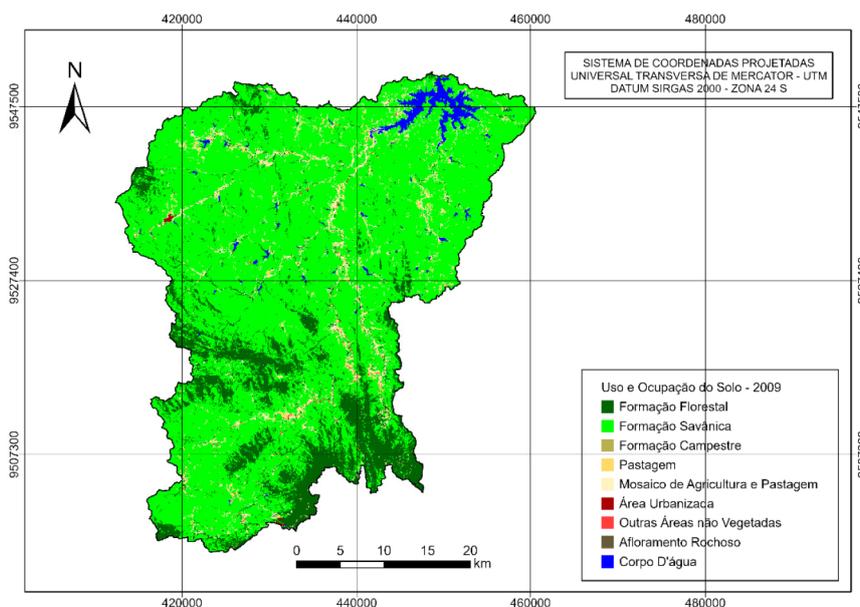
Fonte: Portal Hidrológico do Ceará (2020)

A presença da vegetação nativa em uma bacia hidrográfica é fundamental para a garantia da qualidade e gerenciamento dos recursos hídricos. Diante do estudo

temporal da BHRGS é possível observar as principais mudanças que ocorreram no uso e ocupação ao longo dos anos.

Para o ano de 2009 a classificação do uso e ocupação da bacia (Figura 4) apresenta uma predominância de áreas com formação florestal e de savanas de acordo com a classificação do MAPBIOMAS. A denominação da classe Savana feita pelo MAPBIOMAS é correspondente a vegetação típica do bioma caatinga, visto a semelhança que é apresentada entre as espécies desses dois tipos de biomas. A Caatinga é considerada a maior e mais diversificada Floresta Tropical Sazonalmente Seca do Brasil, sendo classificada como savana estépica, possui uma variedade de espécies vegetais do tipo xerófitas e caducifólias (SILVA *et al.*, 2019).

Figura 4 - Classificação do uso e ocupação da Bacia Hidrográfica do Reservatório General Sampaio para o ano de 2009



Fonte: MAPBIOMAS (2009)

Na Figura 4 observa-se a presença de áreas classificadas como atividade agrícola e não vegetada nas proximidades dos reservatórios, indicando a ocorrência da retirada da vegetação nativa nessas regiões. O desmatamento nessas áreas ocorre principalmente em função da sua substituição pela atividade agrícola, com a produção de culturas de sequeiro como milho e feijão, além do uso para o plantio de pastagens. A mata ciliar, também denominada como zona ripária contribui para a prevenção da movimentação de sedimentos gerados durante o processo erosivo, principalmente próximo as áreas de plantio (CASTRO *et al.*, 2013).

A partir da tabela 4, é possível realizar uma análise quantitativa das mudanças ocorridas na bacia para cada classificação. Em relação aos corpos hídricos, a imagem classificada para o ano de 2009 apresentou uma maior área ocupada por água (29,95 km<sup>2</sup>). Para o ano de 2014 a área de corpo d'água foi 77,5% menor do que em 2009, demonstrando um ano de elevada escassez, em 2019 a área ocupada foi de 13 km<sup>2</sup>. A redução drástica na área ocupada por corpos hídricos se dá em decorrência do longo período de seca severa ocorrido de 2012 a 2017, para 2019 é possível notar que houve um aumento comparado a 2014, indicando a maior presença de chuvas para esse período.

Tabela 4 - Quantificação das áreas identificadas para os anos de 2009, 2014 e 2019

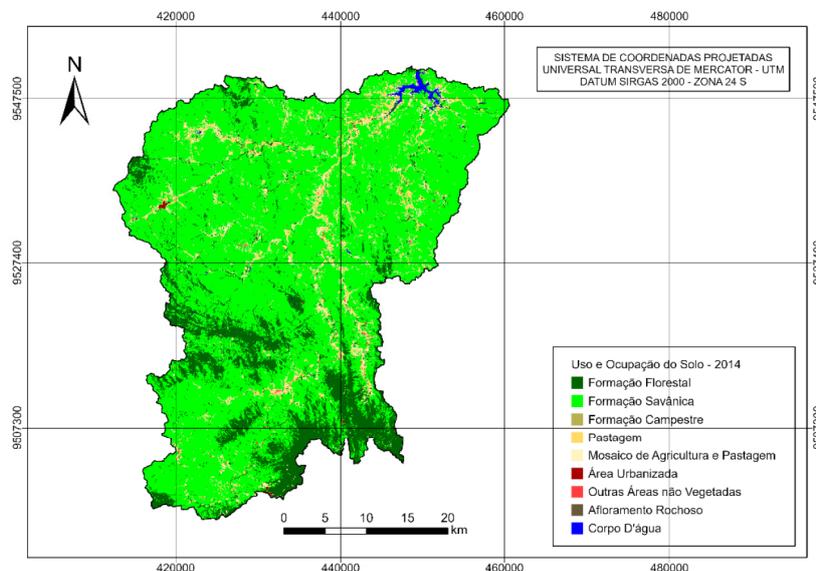
Classe	Área (km <sup>2</sup> )		
	2009	2014	2019
Formação Florestal	232,97	234,54	240,36
Formação Savânica	1237,56	1221,45	1247,72
Formação Campestre	0,03	0,01	0,02
Pastagem	20,38	54,89	34,22
Mosaico de Agricultura e Pastagem	66,94	69,91	53,31
Área Urbanizada	0,87	0,91	0,92
Outras Áreas não Vegetadas	4,02	4,27	3,20
Afloramento Rochoso	0,05	0,08	0,04
Corpo D'água	29,95	6,72	13,00

Fonte: MAPBIOMAS

A predominante presença de agricultura e pastagem nas proximidades dos corpos hídricos pode ser explicada por uma prática muito comum da região semiárida, que é o plantio de culturas de sequeiro nos leitos secos dos rios intermitentes adotada pelos agricultores com o intuito de aproveitar a umidade do solo. O uso e ocupação irregular, principalmente nas margens de mananciais acarretam a diminuição significativa da qualidade da água e dos demais recursos naturais presentes (TSUJII *et al.*, 2014).

Na Figura 5 a área ocupada por atividade agrícola e pastagem é mais elevada, indicando uma maior exploração do solo para essa época. O aumento das áreas de pastagem e de cultivo agrícola ao longo dos anos é decorrente do incentivo fiscal e damodernização na produção, bem como os incentivos governamentais e as linhas de crédito disponibilizadas para os agricultores familiares (FERNANDES *et al.*, 2015).

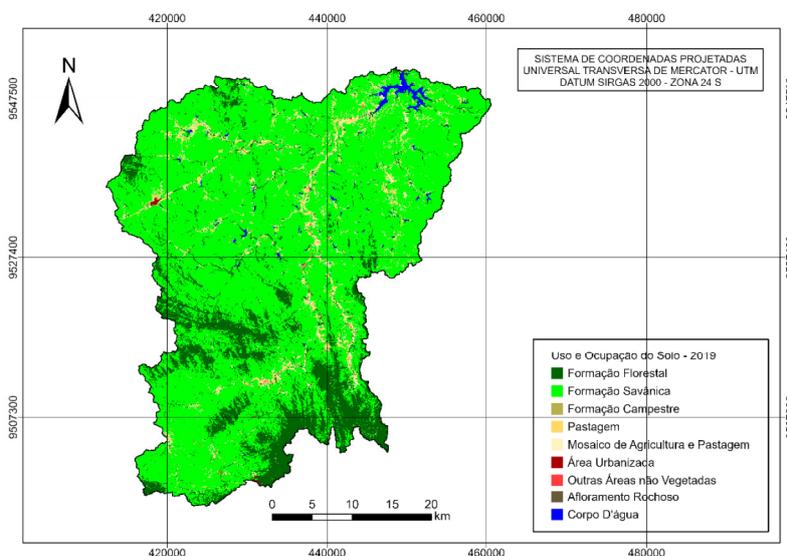
Figura 5- Classificação do uso e ocupação da Bacia Hidrográfica do Reservatório General Sampaio para o ano de 2014



Fonte: MAPBIOMAS (2014)

Analisando as Figuras 4,5 e 6 nota-se que durante os 10 anos de estudo a bacia apresentou a formação florestal em valores constantes, não ocorrendo mudanças abruptas. Em relação às áreas urbanizadas, o maior valor encontrado foi para o ano de 2019, próximo a essa área é perceptível também a presença de áreas não vegetadas, indicando a ocorrência de ações antrópicas.

Figura 6 - Classificação do uso e ocupação da Bacia Hidrográfica do Reservatório General Sampaio para o ano de 2019

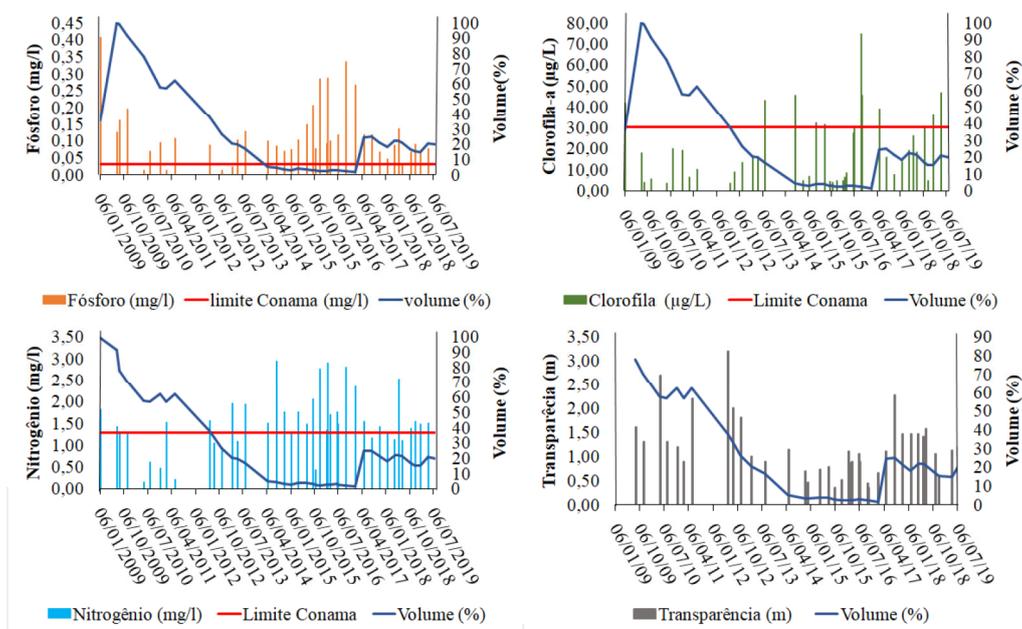


Fonte: MAPBIOMAS (2019)

## 4.2 Análises dos dados limnológicos

A variação na concentração dos nutrientes em um reservatório está associada à quantidade de água armazenada. A escassez das chuvas em conformidade com altas taxas de evapotranspiração contribui para a diminuição da qualidade desse recurso, assim como a quantidade (BRAGA *et al.*, 2015). Na Figura 7 é possível observar a concentração das diferentes variáveis limnológicas, o respectivo volume do reservatório para o período e o limite estabelecido pela resolução 357/2005 do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA para águas de classe II.

Figura 7 - Variação dos valores de fósforo (A), clorofila-a (B), nitrogênio (C) e transparência (D) relacionados ao volume do reservatório General Sampaio



Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

As concentrações de fósforo total foram mais elevadas no período em que o volume se encontrava abaixo de 20% da capacidade total. Esse aumento ocorre à medida que a água é perdida por evaporação e pelo consumo populacional. Em um estudo sobre a dinâmica do fósforo, Franzen (2009) afirma que o aumento desse nutriente pode ser justificado pela ressuspensão de sedimentos presentes no fundo do reservatório, sendo estes ricos em fósforo. Diversos estudos relataram que a ação física dos ventos tem grande influência nas modificações dos corpos hídricos como por exemplo na ressuspensão dos sedimentos em reservatórios (BRAGA *et al.*, 2015). Essa

ação dos ventos é facilitada quando o volume do reservatório se encontra baixo, o que proporciona maior interação da ação do vento com os sedimentos depositados no fundo dos reservatórios. Ademais, o aumento do volume acarreta na diluição das concentrações de cargas de fósforo.

Resultados semelhantes aos encontrados neste trabalho foram observados em um estudo de Bezerra *et al.* (2014) que visavam realizar o balanço de massa de fósforo durante um ciclo hidrológico e compreender a relação com o estado trófico em dois reservatórios tropicais. Para o trabalho, Bezerra *et al.* (2014) encontraram níveis máximos de concentração de fósforo para os reservatórios em Gargalheiras e em Cruzeta durante o período seco, bem como a redução das concentrações no período chuvoso.

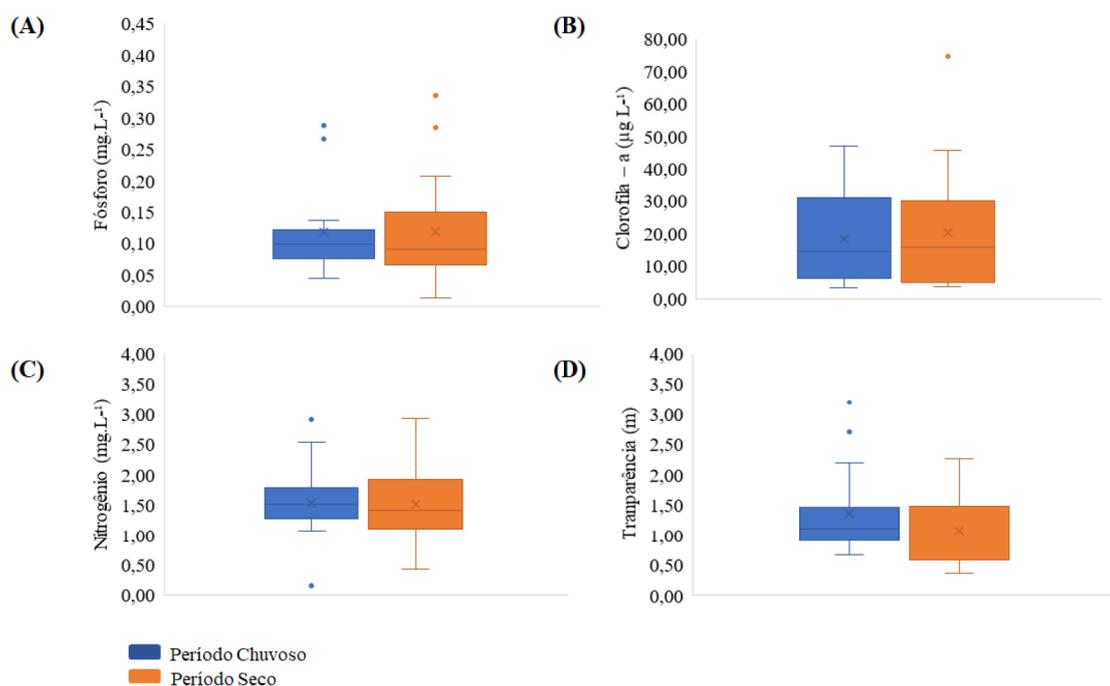
A partir da análise sugerida pela Figura 7B, os valores de concentração da clorofila-a para o período seco encontram-se acima do limite proposto pelo padrão de qualidade para águas de Classe 2 - Resolução Conama nº 357/2005, valor limite de até  $30 \mu\text{g L}^{-1}$ . Houve uma grande variação dos valores de clorofila-a, quando o reservatório estava com um volume inferior a 20% da sua capacidade. A maior concentração observada foi de  $74,55 (\mu\text{g L}^{-1})$ , no qual o reservatório estava com o volume abaixo de 3%. É possível constatar que o maior pico de clorofila-a ocorreu no período de maior pico de fósforo.

O Nitrogênio (Figura 7C) apresentou concentrações elevadas para todo o período de estudo. O valor máximo foi de  $2,93 \text{ mg L}^{-1}$ , sendo verificado quando o reservatório se encontrava com um volume de 5%. Esses elevados valores de nitrogênio podem ser decorrentes da elevada atividade de piscicultura presente no reservatório, bem como pela atividade agrícola e pecuária. A fixação do nitrogênio por espécies de fitoplâncton também podem estar presentes.

Já a transparência, de forma geral, apresenta diminuição quando o volume reduz. À medida que o reservatório recebe recarga, ocorre aumento da transparência. A redução de água em um reservatório ocasiona mudanças nos atributos limnológicos, o que eleva as suas respectivas concentrações e reduz o nível de transparência da água (BRASIL *et al.*, 2015).

A Figura 8 apresenta uma análise mais explícita da distribuição dos parâmetros físicos e químicos durante o período seco e chuvoso para os anos de estudo (2009 a 2019), por meio da avaliação da estatística descritiva.

Figura 8 - Distribuição sazonal das variáveis limnológicas: fósforo (A), clorofila (B), nitrogênio (C) e transparência (D)



Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

Para o fósforo (Figura 8A), o valor máximo foi de 0,41 mg L<sup>-1</sup> ocorrente no período chuvoso. Já o valor mínimo observado foi de 0,01 mg L<sup>-1</sup>, durante o período seco. A variação das concentrações foi mais elevada para o período seco, sendo mais concentrada entre 0,6 a 0,15 mg L<sup>-1</sup>, as médias foram de 0,11 mg L<sup>-1</sup> e 0,12 mg L<sup>-1</sup> nos períodos chuvoso e seco, respectivamente.

A clorofila-a é um pigmento de fundamental importância como indicador do índice de estado trófico de um corpo de água, pois remete ao nível do crescimento de algas no ambiente (LOPES *et al.*, 2013). A dispersão dos valores de clorofila (Figura 8B), também apresentou médias semelhantes para ambos os períodos analisados, com valor mínimo de 3,34 (µg L<sup>-1</sup>) e máximo de 46,95 (µg L<sup>-1</sup>). Já os valores para o período seco de mínimo e máximo foram 3,34 (µg L<sup>-1</sup>) e 74,55 (µg L<sup>-1</sup>), respectivamente. A média das concentrações foi mais elevada no período seco, com valor de 20,17 (µg L<sup>-1</sup>) e 17,09 (µg L<sup>-1</sup>) para o período chuvoso. A diferença entre as médias de concentração de clorofila-a não foi tão elevada, indicando que o reservatório independente do período está sofrendo a influência de fontes poluidoras. Chaves (2019) no seu estudo sobre a qualidade da água e os impactos antropogênicos nos reservatórios, verificou a presença

de clorofila-a para ambos os períodos estudados (seco e chuvoso), concluindo que as fontes que contribuem para o aumento do atributo agem independente das condições climáticas.

Em análise a Figura 8C, o valor máximo de nitrogênio para o reservatório foi em julho de 2014 ( $2,93 \text{ mg L}^{-1}$ ), correspondente ao período seco, no qual o reservatório apresentava um volume de 4,5% do total. Durante o período seco, os valores de nitrogênio sofreram uma maior variabilidade, com média de  $1,51 \text{ mg L}^{-1}$ . Devido às elevadas temperaturas do período seco, a variação do nitrogênio pode ser explicada pelo seu caráter volátil.

A transparência foi maior no período chuvoso, no qual o reservatório é abastecido e o seu volume é maior, atingindo um valor máximo de 3,20 m. O valor mínimo obtido foi de 0,36 m, ocorrido no período seco. Porém, houve uma maior dispersão dos dados durante o período seco. A média para o período chuvoso foi de 1,37 m e 1,07 m para o período seco.

De modo geral, para o teste de média todos os atributos analisados (clorofila-a, transparência, fósforo e nitrogênio) não apresentaram valores significativos para o intervalo de confiança de 5%, indicando que não há diferenças significativas entre as médias do período seco e chuvoso.

Os reservatórios apresentam limite em sua capacidade de assimilação de cargas como nitrogênio e fósforo. Isso faz com que a eutrofização possa ocorrer em curto espaço de tempo, dependendo das condições do solo da bacia de drenagem (BEZERRA *et al.*, 2014). A variação desses índices ao longo do período de avaliação indica a influência da pluviometria e da consequência da mudança do volume do reservatório para a redução da concentração dos nutrientes avaliados, assim como da capacidade de assimilação de fósforo e nitrogênio pelo sistema.

O comportamento observado durante o período de estudo, sugere que os nutrientes sofreram uma maior diluição devido à recarga do reservatório. De acordo com Silva (2018), a água da chuva favorece a diluição tanto no aumento da concentração de nutrientes, dependendo das características no entorno do reservatório, quanto ao uso e ocupação do solo, bem como na preservação das matas ciliares.

Segundo Marinho *et al.* (2017) o processo de eutrofização é intensificado pelo lançamento de esgoto sem tratamento nos corpos hídricos, prática muito comum nas regiões mais pobres do Ceará. Ademais, o inventário ambiental levantado pela COGERH afirma a presença da atividade agropecuária no entorno do reservatório,

sendo a matéria orgânica responsável pelo aporte de nutrientes, quando carregadas e despejadas no reservatório. Esses nutrientes potencializam a produção primária dos ecossistemas aquáticos e também sua respiração. Logo, altas concentrações destes, afetam diretamente a presença da clorofila-a no corpo hídrico.

As variáveis limnológicas variaram de acordo com a influência de vários fatores, alguns podem ser afetados por aspectos temporais, como períodos chuvosos atípicos e secas prolongadas. As tabelas 5 e 6 mostram as principais correlações entre o volume, a precipitação pluviométricas e as variáveis limnológicas.

Tabela 5 - Correlação entre os atributos Limnológicos e a precipitação, relacionado ao período chuvoso

Período Chuvoso	IET Médio	Volume (hm <sup>3</sup> )	Transparência (m)	Nitrogênio (mg L <sup>-1</sup> )	Clorofila-a (µg L <sup>-1</sup> )	Fósforo (mg L <sup>-1</sup> )	PPT 30 dias	PPT 10 dias	PPT diária
IET Médio	1								
Volume (hm <sup>3</sup> )	-0,76	1							
Transparência (m)	-0,82	0,64	1						
Nitrogênio (mg/L <sup>-1</sup> )	0,62	-0,73	-0,56	1					
Clorofila-a (µg/L <sup>-1</sup> )	0,60	-0,22	-0,38	0,08	1				
Fósforo (mg/L <sup>-1</sup> )	0,40	-0,46	-0,34	0,62	-0,32	1			
PPT 30 dias	0,27	0,14	-0,38	-0,19	0,59	-0,37	1		
PPT 10 dias	0,25	-0,08	-0,18	-0,23	0,29	-0,17	0,5	1	
PPT diária	-0,01	-0,031	-0,12	-0,07	0,24	-0,11	-0,2	0,17	1

em que: PPT diária é Precipitação Pluviométrica Total Diária, PPT 10 dias é a Precipitação Pluviométrica Total de 10 dias e PPT 30 corresponde a Precipitação Pluviométrica Total de 30 dias.

De modo geral, as correlações entre os atributos variaram de acordo com o período (chuvoso e seco) analisado. Observa-se uma elevada correlação negativa entre a transparência e o IET, assim o aumento da transparência da água é visto como um indicativo da diminuição do IET médio. Na Tabela 6, nota-se correlações mais intensas devido aos dados de precipitação decorrerem apenas do período chuvoso. É perceptível

alta correlação negativa entre o volume e o IET Médio (-0,76) bem como o volume e o nitrogênio (-0,73). Já as correlações do volume com a clorofila-a e o fósforo também foram indiretas no período chuvoso, porém menos intensas, o que significa que o aumento do volume no reservatório influencia na redução desses atributos. Já a transparência possui uma correlação positiva com o volume (0,64), aumentando seu valor à medida que o reservatório sofre uma recarga.

Tabela 6 - Correlação entre os atributos Limnológicos e a precipitação, relacionado ao período de estiagem

Período Seco	IET Médio	Volume (hm <sup>3</sup> )	Transparência (m)	Nitrogênio (mg/L)	Clorofila-a(μg/L)	Fósforo (mg/L)	PPT30 dias	PPT10 dias	PPT diária
IET Médio	1								
Volume (hm <sup>3</sup> )	-0,30	1							
Transparência (m)	-0,84	0,39	1						
Nitrogênio (mg/L <sup>-1</sup> )	0,36	-0,52	-0,28	1					
Clorofila-a(μg/L <sup>-1</sup> )	0,56	-0,29	-0,27	-0,06	1				
Fósforo (mg/L <sup>-1</sup> )	0,64	0,14	-0,44	0,52	-0,02	1			
PPT 30 dias	-0,36	0,43	0,33	-0,23	-0,24	-0,03	1		
PPT 10 dias	-0,16	-0,1	0,16	-0,15	0,05	-0,23	-0,05	1	
PPT diária	0,00	0	0	0	0	0	0	0	1

Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

O volume do reservatório é um fator de grande relevância, pois com a diminuição desse ocorrerá uma maior concentração dos nutrientes, o que irá aumentar o grau de eutrofização da água do reservatório, diminuindo a sua qualidade para consumo. Batista *et al.* (2013), em estudo sobre a influência das particularidades climáticas do semiárido sobre a qualidade da água, também obteve resultados que demonstraram a influência indireta do volume em relação a esses atributos.

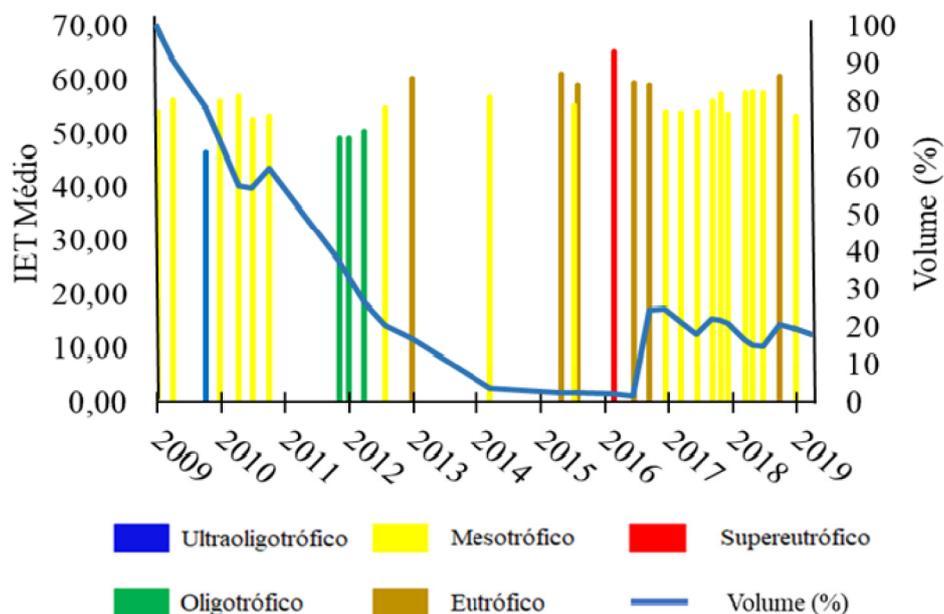
Nas tabelas 5 e 6, o índice de estado trófico médio possui uma elevada correlação positiva com a clorofila-a, o fósforo e o nitrogênio, sendo mais representativa para os dados que se enquadram no período seco. Para o cálculo desse índice se faz necessário a presença das variáveis fósforos, clorofila-a e transparência e quanto maior for o valor encontrado para cada um deles, mais elevado será o IET Médio. Os valores de precipitação no dia da coleta, bem como nos 10 dias anteriores a ela não possuíram boa correlação.

Já para as precipitações acumuladas de 30 dias antes da coleta dos dados, a correlação foi significativa para alguns fatores, mas em sua maioria correlações leves (Figura 6). A precipitação dos últimos 30 dias pode elevar os níveis de clorofila-a, como ocorreu no período chuvoso, o qual apresentou uma correlação positiva (0,59). Miranda (2014), observou que com as chuvas ocorreu o aumento de aspectos limnológicos, alegando que esse fenômeno ao invés de ocasionar a diluição na concentração dos nutrientes ocasionou um aumento no escoamento superficial do solo.

A correlação entre a precipitação e os atributos analisados não obtiveram resultados significativos em relação ao período de estiagem (Tabela 6). O impacto hidrometeorológico pode variar em decorrência do período, como no caso de uma precipitação em um período seco, no qual o solo se encontra com alta capacidade de absorção, o que delonga o abastecimento do lençol freático e conseqüentemente o escoamento superficial (MEDEIROS *et al.*, 2018).

As médias para os Índices de Estado trófico dos atributos limnológicos, assim como o IET médio do período chuvoso e seco foram muito semelhantes, ambos sendo classificados como mesotrófico. Os valores médios dos índices de estado trófico de 2009 a 2019, não mostraram influência da precipitação pluviométrica nem do volume se analisados dessa forma. Já na análise individual (Figura 9), é possível observar a forte influência do volume no estado trófico para o período.

Figura 9 - Índice de estado trófico médio relacionado ao volume para o reservatório General Sampaio



Analisando a Figura 9, é perceptível que o volume afeta o índice do estado trófico no reservatório. Inicialmente, a classificação era mesotrófica e após uma redução do volume, a classificação melhorou para ultraoligotrófica. Este fato ocorreu de forma isolada, podendo ter sido influenciada por fatores externos, como a diminuição das fontes de poluição e/ou atividades que favorecem a introdução de nutrientes na água. A partir de 2012, houve uma redução drástica no volume do reservatório se comparado ao ano de 2009, ocasionado pelo período de estiagem que se estendeu até 2017. Para o ano de 2016, no qual o volume do reservatório encontrava-se abaixo de 3%, a classificação foi eutrófica e supereutrófica, de 2017 a 2019 a classificação predominante foi mesotrófica.

A partir de um estudo do Índice do Estado Trófico utilizando a metodologia proposta por Carlson (1977) modificado por Toledo *et al.* (1983) no açude Orós, localizado na região semiárida do Ceará, Batista *et al.* (2014) concluíram que o grau de trofia durante o período de estiagem era mais intenso, decorrente da redução do volume armazenado no reservatório.

O nível trófico médio e os índices obtidos para cada atributo: SD, CI-a e PT do açude General Sampaio, são apresentados Tabela 7, onde é possível observar as médias no período de 2009 a 2019. A média do IET médio para o período seco e

chuvoso foram semelhantes, a classificação do nível trófico foi Mesotrófica para ambos os períodos.

Tabela 7 - Classificação do reservatório General Sampaio por meio dos índices do estado trófico de Lamparelli (2004) utilizando valores médios para o período chuvoso e seco para os anos de 2009 a 2019

<b>Período</b>	<b>IET PT</b>	<b>IET CL-A</b>	<b>IET SD</b>	<b>IET Médio</b>	<b>Nível Trófico</b>
CHUVOSO	60,25	58,69	47,29	55,41	MESOTRÓFICO
SECO	60,33	58,84	49,24	56,14	MESOTRÓFICO

Em que: IET PT - Índice de Estado Trófico para Fósforo Total, IET CL-a - Índice de Estado Trófico para Clorofila-a, IET SD- Índice de Estado Trófico para Transparência e IET Médio- Índice de Estado Trófico médio

## 5. CONCLUSÕES

Os atributos limnológicos clorofila-a, fósforo e nitrogênio, em grande parte do período de estudo, apresentaram concentrações acima do limite estabelecido pela CONAMA para abastecimento humano. Verificou-se também uma correlação negativa desses atributos relacionados ao volume do reservatório, indicando que a diminuição do volume eleva a concentração dos nutrientes. O Índice de Estado Trófico apresentou médias semelhantes e a mesma classificação para o período chuvoso e o de estiagem, indicando a presença de fontes que influenciam na qualidade da água que são independentes da estação climática.

A pluviometria diária irregular, de maneira geral, afeta o processo de eutrofização, entretanto, as chuvas decorrentes de até 10 dias antes dos dados coletados não tiveram correlação significativa com as concentrações das variáveis limnológicas.

De modo geral, o uso e ocupação da bacia do reservatório General Sampaio ocorre de forma homogênea, entretanto, há a necessidade do controle das ações antrópicas, principalmente relacionadas ao desmatamento da mata ciliar e ao desenvolvimento de atividades agrícolas e de pastagem nessas áreas. Nesse sentido, é importante ressaltar a imprescindibilidade de se realizar o monitoramento do crescimento dessas atividades na bacia, bem como, é essencial realizar o controle dessas práticas por meio da legalização mediante o emprego do licenciamento ambiental adequado para essas atividades.

## 6. REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, A. W.; LOMBARDI NETO, F.; SRINIVASAN, V. S.; SANTOS, J. R. Manejo da cobertura do solo e de práticas conservacionistas nas perdas de solo e água em Sumé, PB. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, V 6, P. 136-141, 2002.
- ALMEIDA, W. S. D.; CARVALHO, D. F. D.; PANACHUKI, E.; VALIM, W. C.; RODRIGUES, S. A.; VARELLA, C. A. A. Erosão hídrica em diferentes sistemas de cultivo e níveis de cobertura do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.51, n.9, p.1110-1119, 2016.
- ANDRADE, E. M.; FERREIRA, K. C. D.; LOPES, F. B.; ARAUJO, I. C. S.; SILVA, A. G. R. Balance of nitrogen and phosphorus in a reservoir in the tropical semiarid region. **RevistaCiênciaAgrônômica**, v.51, n. 1, e 20196800, 2020.
- APHA. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. Edition, American Public Health Association/American Water Works Association/Water Environment Federation, Washington DC, e. 21, p. 1268, 2005.
- ARAÚJO NETO, J. R.; ANDRADE, E. M.; PALÁCIO, H. A. Q.; SALES, M. M.; MAIA, A. R. S. Influence of land use/occupation on water quality in the Trussu river valley, Ceará, Brazil. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 48, n. 1, p. 59-69, Fortaleza, 2017.
- ARAÚJO, J. A. F. D.; SALES, R. J. D. M.; SOUZA, R. O. D. Risco de eutrofização em reservatórios de regiões semiáridas com uso da teoria dos conjuntos difusos. **Revista de Gestão de água da América Latina (REGA)**. v. 10, n. 1, p. 29-39, 2013.
- ARAÚJO, J. C. de.; FERNANDES, L.; MACHADO Jr., J. C.; OLIVEIRA, M. R. L.; SOUZA, T. C. SedimentsofReservoir in SemiaridBrazil. **In: Global Changeand Regional Impacts**. Berlin: Springer-Verlag, p.205-216, 2003.
- BARRETO, L. V.; BARROS, F. M.; BONOMO, P; ROCHA, F. A.; AMORIM, J. S. **Eutrofização em rios brasileiros**. Enciclopédia Biosfera,Centro Científico Conhecer. v 9, n 16, p 2165, Goiânia, 2013.
- BATISTA, A. A.; MEIRELES, A. C. M.; ANDRADE, E. M.; IZIDIO, N. S. C.; LOPES, F. B. Sazonalidade e variação espacial do índice de estado trófico do açude Orós, Ceará, Brasil. **Revista Agro@mbiente On-line**. v. 8, n. 1, p. 39-48, 2014.
- BATISTA, D. J. M.; MOURA, G. C.; VASCONCELOS, J. F.; BARBOSA, J. E. L. B.; **Influência das particularidades climáticas do semiárido sobre a qualidade da água. I Workshop internacional sobre a água no semiárido brasileiro**. Campina Grande - PB, Brasil, 2013.
- BEZERRA A. F. de M.; BECKER, V.; MATTOS, A. Balanço de massa de fósforo total e o estado trófico em reservatórios do semiárido brasileiro. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v 19, n 2, p 67–76, 2014.
- BEZERRA, S. A.; CANTALICE, J. R. B.; CUNHA FILHO, M.; SOUZA, W. L. D. S. Características hidráulicas da erosão em sulcos em um cambissolo do semiárido do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34,p. 1325-1332, 2010.

BRAGA, E. A. S. **Determinação dos compostos inorgânicos nitrogenados (amônia, nitrito e nitrato) e fósforo total, na água do açude Gavião, e sua contribuição para a eutrofização.** 2006. 120 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil: Saneamento Ambiental)-Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2006.

BRAGA, G. G.; BECKER, V.; OLIVEIRA, J. N. P.; JUNIOR, J. R. M.; BEZERRA, A. F. M.; TORRES, L. M.; GALVÃO, A. M. F.; MATTOS, A. Influence of extended drought on water quality in tropical reservoirs in a semiarid region. **Acta Limnologica Brasiliensia**, v. 27, n. 1, p 15-23, 2015.

BRASIL, J.; ATTAYDE, J. L.; VASCONCELOS, F. R.; DANTAS, D. D. F.; HUSZAR, V. L. M. Drought-induced water-level reduction favors cyanobacteria blooms I tropical shallow lakes. **Hydrobiologia. Primary Research Paper**, 2015.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Resolução CONAMA Nº 357 de 17 de março de 2005. Brasília, 2005. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/conama/res/res05/res35705.pdf>>. Acesso em: 10 jun. 2020.

BUZELLI, G. M; SANTINO, M. B. C. Análise e diagnóstico da qualidade de água e estado trófico do reservatório de Barra Bonita, SP. **Revista Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science**: v. 8, n.1, 2013.

CARLSON, R.E. **A trophic state index for lakes.** Association for the sciences of Limnology and Oceanography. v 22, n 2, p 361- 369, 1977.

CASTRO, M. N.; CASTRO, R. M.; SOUZA, C. A importância da mata ciliar no contexto da conservação do solo. **Revista Uniaraguaia**, v 4, n 4, p 230-241, 2013.

CHAVES, L. C. G.; LOPES, F. B.; MAIA, A. R. S.; MEIRELES, A. C. M.; ANDRADE, E. M. Qualidade da água e impactos antrópicos em bacias hidrográficas de açudes no semiárido brasileiro. **Revista Ciência Agronômica**. V 50, n 2, p 223-233, 2019.

CHISTOFOLETTI, A. **Aplicabilidades do conhecimento geomorfológico nos projetos de planejamento.** In: GUERRA, Antônio José Teixeira; CUNHA, Sandra B.de (orgs). Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos. 4 ed. Rio de Janeiro, Bertrand Brasil, 2001.

COELHO, V. H.; MONTENEGRO, S. M.; ALMEIDA, C. D. N.; DE LIMA, E. R.; RIBEIRO NETO, A.; MOURA, G. S. Dinâmica do uso e ocupação do solo em uma bacia hidrográfica do semiárido brasileiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 18, 64-72, 2014.

COMPANHIA DE GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS – COGERH. **Inventário Ambiental 2011, Açude General Sampaio.** Disponível em <<https://portal.cogerh.com.br/wpcontent/uploads/pdf/inventarios/2011/Inventario%20Ambiental%20do%20Acude%20General-Sampaio%202011.pdf>> . Acesso em: 06 de jan. 2022.

DUARTE, M. R. N.; PEREIRA, T. M.; LIMA, P. F.; PEREIRA, E. C. B.; BEZERRA, F. L.; REZENDE, C. F. Limnological dynamics in an artificial reservoir and intermittent river in the semi-arid region as a function of land use and occupation. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 51, n. 1, p. 1-10, 2021.

- EMBRAPA. **Mapa de solos do Brasil**. 2001. Disponível em: [http://www.dpi.inpe.br/Ambdata/mapa\\_solos.php](http://www.dpi.inpe.br/Ambdata/mapa_solos.php) . Acesso em: 27 dez. 2021.
- FARIAS J. L. P. D. **Monitoramento da supressão vegetal no entorno de reservatórios hídricos utilizando imagens do sensoriamento remoto**.2020. Dissertação (Mestrado em Engenharia de transportes e gestão territorial)- Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2020.
- FEITOSA, L. S. **Aspectos limnológicos da pequena açudagem no semiárido: estudo de caso dos açudes do Assentamento 25 de Maio, Madalena-Ce**. 2011. 128 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Ceará, 2011.
- FERNANDES, M. R. D. M.; MATRICARDI, E. A. T.; ALMEIDA, A. Q. D.; FERNANDES, M. M. Mudanças do uso e de cobertura da terra na região semiárida de Sergipe. **Revista Floresta e Ambiente**, v 22, n 4, p 472-482, 2015.
- FERREIRA, K. C. D., LOPES, F. B., ANDRADE, E. M. D., MEIRELES, A. C. M.; SILVA, G. S. D. Adaptação do índice de qualidade de água da National Sanitation Foundation ao semiárido brasileiro. **RevistaCiênciaAgrônômica**, 46, 277-286, 2015.
- FRANZEN, M. **Dinâmica do Fósforo na interface água-sedimento em reservatórios**. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul –Instituto de Pesquisas Hidráulicas. Porto Alegre –RS, 2009.
- FUNCEME. Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos. Redes de Monitoramento. Disponível em: <<http://www.funceme.br>>. Acesso em: 10 jan.2022.
- GONÇALVES, K.S; CASTRO, H.A; HACON, S.S. As queimadas na região amazônica e o adoecimento respiratório. **In: Ciência & Saúde Coletiva**. V 17, n 6, 2012.
- GUNKEL, G.; RUETER, K.; CASALLAS, J.; SOBRAL, M. C. **Estudos da limnologia do reservatório de Tapacurá em Pernambuco: problemas da gestão de reservatórios no semi-árido brasileiro**. XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2003.
- JULIANI, M. S.; ABRAÃO, N. S.; REIS, F. Y. S.; PINTO, L. V. A. **Vazão e caracterização ambiental de parte da bacia hidrográfica do rio Mogi-Guaçu no bairro Monjolinho, inconfidentes-MG**. In 6ª Jornada Científica e Tecnológica 3º Simpósio da Pós-Graduação do IFSULDEMINAS, 2014.
- LAMPARELLI, M. C. **Grau de trofia em corpos d'água do Estado de São Paulo: avaliação dos métodos de monitoramento**. Tese (Doutorado em Ciências), Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004. Disponível em: Acesso em: 15 de outubro de 2021.
- LOPES, F. B. **Uso de sensoriamento remoto como suporte ao monitoramento da qualidade das águas superficiais da região semiárida do Brasil**. 2013. 201 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2013.
- LOPES, F. B.; ANDRADE, E. M.; MEIRELES, A. C. M.; BECKER, H.; BATISTA, A. A. Assessment of the water quality in a large reservoir in semiarid region of Brazil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, n. 4, p. 437-445, 2014.

LYRA, M. J. A.; CAVALCANTE, L. C. V.; LEVIT, V.; FEDOROVA, N. **Ligação entre Extremidade Frontal e Zona de Convergência Intertropical sobre a Região Nordeste do Brasil.** Anuário do Instituto de Geociências, v 42, n 1, p 413-424, 2019.

MALVEIRA, V. T. C. **Pequena açudagem e sustentabilidade hidrológica em grandes bacias semiáridas: estudo de caso da bacia do Açude Orós.** Tese (Doutorado em Engenharia Civil), Fortaleza, 2009.

MARINHO, L. A.; BOTELHO, R. G.; NOGUEIRA, L. A.; TORNISIELO, V.; L. Avaliação da qualidade da água do Ribeirão Samambaia (São Pedro, São Paulo, Brasil) através de parâmetros físicos e químicos, índice de estado trófico e teste de toxicidade com *Daphnia magna*. **Sanit Ambient.** v.22, n.1, 2017.

MEDEIROS, F. J.; LIMA, K. C.; CAETANO, D. A.; SILVA, F. J. O. **Impacto da Variabilidade Interanual da Precipitação nos Reservatórios do Semiárido do Nordeste do Brasil.** Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ ISSN 0101-9759 e- ISSN 1982-3908 - v 41, n. 3, p. 731-741, 2018.

MIRANDA, K. R. **Influência do uso e ocupação de solo na qualidade da água de um reservatório mesotrófico na região semiárida tropical.** Dissertação, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Sanitária, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, p. 40, 2014.

PEREIRA, E. C. B.; LOPES, F. B.; ALMEIDA, A. M. M.; ANDRADE, E. M.; LOPES, J. F. B. Sedimentos e nutrientes aportados a um reservatório de pequeno porte no Semiárido tropical. **Revista Ciência Agronômica**, v. 52, n. 1, e20196717, 2021.

PONTE, N. S. C.; NORONHA, V. S.; SILVA, F. H. S.; AMARAL, J. B. C.; LOPES, F. B. Estimating concentrations of chlorophyll-a and suspended sediments in a continental aquatic ecosystem using remote sensing. **Revista Agro@mbiente On-line**, v. 14, 2020.

SALVIANO, J. I. A. **Relações entre instabilidades das chuvas e indicadores de produção de lavouras de sequeiro no semiárido cearense, Brasil.** 2021. 131 f. Dissertação (Mestrado em Economia Rural)–Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2021.

SANTOS, A. L. C.; SANTOS, F. Mapeamento das classes de uso e cobertura do solo da bacia hidrográfica do Rio Vaza-Barris, Sergipe. **Revista Multidisciplinar da Uniesp**, n. 10, 2010.

SANTOS, G. G.; GRIEBELER, P. N.; OLIVEIRA, L. F. C. (2010). Chuvas intensas relacionadas à erosão hídrica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental.** v.14, n.2, p.115 –123, Campina Grande, 2010.

SANTOS, P. S.; SANTOS, M. E. G.; SANTOS, R. Uso e ocupação do solo: Reflexão sobre impacto ambiental. **Revista Agri-Environmental Sciences.** v 7, e 021005, Palmas-TO, 2021.

SANTOS, T. E. M.; MONTENEGRO; A. A. A; PAULA; V.; JUNIOR, S. Erosão hídrica e perda de carbono orgânico em diferentes tipos de cobertura do solo no semi-árido, em condições de chuva simulada. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v 12, n 2, p 113-125, 2008.

SILVA, A. S.; SILVA, F. H. S.; SANTOS, G.; LEITE, M. J. H. Desmatamento multitemporal no bioma Caatinga no município de Delmiro Gouveia, Alagoas. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v 14, n 5, p 654-657, 2019.

SILVA, D. C. V. R.; QUEIROZ, L. G.; ALAMINO, D. A.; FERNANDES, J. G.; SILVA, S. C.; PAIVA, T. C. B.; FERNANDES, J. G. Avaliação da eficiência de um índice de estado trófico na determinação da qualidade da água de reservatórios para abastecimento público. **Eng. Sanit. Ambient.** v. 23, n. 4, p. 627-635, Rio de Janeiro, 2018.

SILVA, P. C. G.; MOURA, M. S. B.; KIILL, L. H. P.; BRITO, L. D. L.; PEREIRA, L. A.; SÁ, I. B.; GUIMARÃES FILHO, C. **Caracterização do Semiárido brasileiro: fatores naturais e humanos**. Embrapa Semiárido-Capítulo em livro científico (ALICE), 2010.

SILVA, T. J. R. D.; LEITE, J. C. A.; CAVALCANTI, A. K. G.; DANTAS, J. S.; SOUSA, F. Q.; NASCIMENTO, M. B.; ... & DE ANDRADE SANTOS, L. C. Análise da Susceptibilidade à Erosão Hídrica em uma Bacia Hidrográfica do Semiárido Brasileiro. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v14, n 03, p1443-1457, 2021.

SMITH, V.H.; SCHINDLER, D.W. **Eutrophication science: where do we go from here?** Trends in Ecology & Evolution, v. 24, e 4, p. 201– 207, 2009.

SUDENE. **Resoluções do Conselho Deliberativo da Sudene de nº 107, de 27/07/2017 e de nº 115, de 23/11/2017**. Disponível em: <https://www.in.gov.br/web/dou/-/resolucao-n115-de-23-de-novembro-de-2017-739564>, acesso em 25 de janeiro de 2022.

TOLEDO JÚNIOR, A.P.; TALARICO, M.; CHINEZ, S.J.; AGUDO, E.G. **A aplicação de modelos simplificados para a avaliação de processos de eutrofização em lagos e reservatórios tropicais**. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. v. 12, p. 1-34, Balneário Camboriú, Santa Catarina, 1983.

TRINDADE, P. B. C. B; MENDONÇA, A. S. F. Eutrofização em reservatórios – Estudo de caso: reservatório de Rio Bonito (ES). **Eng Sanit Ambient.** v.19, n. 3, p. 275-282, 2014.

TSUJII, K. P.; RIBEIRO, A. C. C.; CARNEIRO, V. A.; NETO SILVA, C. M.; GONÇALVES, B. B. Uso e ocupação das áreas de preservação permanentes no sudoeste Goiano. **Revista de Geografia**. Universidade Federal de Pernambuco -UFPE. v. 31, n. 3, 2014.

TUCCI, C. E.; MENDES, C. A. **Avaliação ambiental integrada de bacia hidrográfica**. Ministério do Meio Ambiente, Brasil, Governo Federal, 2006.

VAEZA, R. F.; MAIA, A. G.; DISPERATI, A. A. Uso e ocupação do solo em bacia hidrográfica urbana a partir de imagens orbitais de alta resolução. **Floresta e Ambiente**, v 17, n 1, p 23-29, 2012.

VASCONCELOS, Y. K. V. R. (2019). **Avaliação do uso e ocupação do solo na microbacia do açude de General Sampaio através do sensoriamento remoto**. Monografia (Graduação em Agronomia) – Departamento de Ciências do Solo, Universidade Federal do Ceará, 2019.

WIEGAND, M. C.; PIEDRA, J. I. G.; ARAÚJO, J. C. Vulnerabilidade a eutrofização de dois lagos tropicais de climas úmidos (Cuba) e semiárido (Brasil). **Revista Eng. Sanitária e Ambiental**. v.21. n.2. 2016.