

**ESTUDO SOBRE A DINÂMICA DE CRESCIMENTO E  
PRÁTICAS DE MANEJO DE MACRÓFITAS AQUÁTICAS NA  
PCH SANTA ROSA II (BOM JARDIM/RJ)**

Maria Vitart de Abreu Lima

Florianópolis, 2019/2



Maria Vitart de Abreu Lima

**ESTUDO SOBRE A DINÂMICA DE CRESCIMENTO E PRÁTICAS DE MANEJO DE  
MACRÓFITAS AQUÁTICAS NA PCH SANTA ROSA II (BOM JARDIM/RJ)**

Trabalho Conclusão do Curso de Graduação em  
Engenharia Sanitária e Ambiental do Centro de  
Ciências Tecnológicas da Universidade Federal de  
Santa Catarina como requisito para a obtenção do  
Título de Bacharel em Engenharia Sanitária e  
Ambiental

Orientador: Prof. Dr. Rodrigo de  
Almeida Mohedano

Florianópolis,

2019.

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,  
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

ABREU LIMA, MARIA VITART DE  
ESTUDO SOBRE A DINÂMICA DE CRESCIMENTO E PRÁTICAS DE  
MANEJO DE MACRÓFITAS AQUÁTICAS NA PCH SANTA ROSA II (BOM  
JARDIM/RJ) / MARIA VITART DE ABREU LIMA ; orientador,  
Rodrigo de Almeida Mohedano, coorientador, Gabriel Phelipe  
Nascimento Rosolem, 2019.  
95 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -  
Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico,  
Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental,  
Florianópolis, 2019.

Inclui referências.

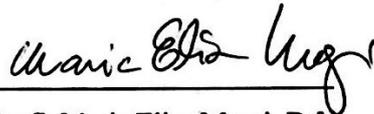
1. Engenharia Sanitária e Ambiental. 2. Macrófitas  
Aquáticas Flutuantes. 3. Sensoriamento Remoto. 4.  
Valorização da Biomassa. I. de Almeida Mohedano, Rodrigo.  
II. Nascimento Rosolem, Gabriel Phelipe. III. Universidade  
Federal de Santa Catarina. Graduação em Engenharia  
Sanitária e Ambiental. IV. Título.

Maria Vitart de Abreu Lima

**ESTUDO SOBRE A DINÂMICA DE CRESCIMENTO E PRÁTICAS DE MANEJO  
DE MACRÓFITAS AQUÁTICAS NA PCH SANTA ROSA II (BOM JARDIM/RJ)**

Este Trabalho Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Sanitária e Ambiental e aprovado em sua forma final pelo Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental

Florianópolis, 02 de Dezembro de 2019.



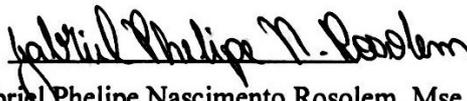
Prof.<sup>a</sup> Maria Elisa Magri, Dr.<sup>a</sup>.

(Coordenadora do Curso)



Prof. Rodrigo de Almeida Mohedano, Dr.

(Orientador)



Eng. Gabriel Phelipe Nascimento Rosolem, Msc.

(Coorientador)

**Banca Examinadora:**



Prof.<sup>a</sup> Patricia Kazue Uda, Dr.<sup>a</sup>.

(Membro interno)



Prof. Nei Kavaguichi Leite, Dr.

(Membro externo)

Este trabalho é dedicado a todas as pessoas que contribuíram de alguma forma neste ciclo, especialmente aos meus queridos pais, Anne e Guilherme.

## AGRADECIMENTOS

Em primeiro, agradeço a Deus pela oportunidade de viver as experiências que a graduação e este projeto (em especial) me proporcionaram. Pela benção de estudar em um local referência na área ambiental, de ciência e tecnologia, representados pelos excelentes profissionais que os compõe.

Agradeço ao meu orientador, Prof. Rodrigo de Almeida Mohedano e ao meu co-orientador e amigo, Eng. Gabriel Phelipe Nascimento Rosolem, por transmitirem seu conhecimento, paciência, apoio e confiança nestes meses de intensa aprendizagem, reuniões e trocas de conversa (muito valiosas, por sinal). Meu muito obrigada!

Aos meus pais, Anne e Guilherme, pelo apoio incondicional e incentivo na minha jornada de estudos. Pela presença ativa e participativa, vocês são incríveis.

Aos meus irmãos, Manuel e Mônica, agradeço pelo apoio, pelos momentos de risadas, carinho e descontração. Por darem mais energia a minha vida e firmarem o sentido da minha caminhada.

Aos meus colegas de trabalho da Statkraft, que durante muito tempo conviveram a palavra ‘macrófita’ em meu vocabulário diário, com os desafios e descobertas proporcionados neste período. Meu agradecimento especial ao Thiago, Wagner, Mariana, Bianca e Dyhego que tanto me incentivaram e proporcionaram meu contato direto com a PCH Santa Rosa II.

Agradeço pelas amizades que fiz ao longo deste percurso, como a do Rodrigo Reis e Ayumi Knoll, pelas nossas parcerias em tantos projetos e trabalhos da faculdade, mas também pela amizade que mantemos. Aos meus amigos Amanda, Augusto, Camila, Carina, Ícaro, Marina e Massai, por todos os momentos juntos e por sermos essa família tão singular!

Aos profissionais do Departamento de Eng. Sanitária e Ambiental da UFSC, aos colegas do LAUTEC e a todos que estiveram presentes e contribuindo para esta jornada de aprendizagem!

Por fim, agradeço a todos aqueles que contribuíram de alguma forma, seja através de palavras ou gestos, para a concretização deste ciclo.

Com carinho, Maria Vitart.



## RESUMO

A região serrana do Estado do Rio de Janeiro é afetada pela falta de saneamento básico, o que acarreta em descargas de efluentes domésticos e industriais e conseqüentemente favorecendo o processo de eutrofização dos rios. Neste ambiente propício ao acúmulo de nutrientes, as macrófitas aquáticas se desenvolvem aceleradamente apresentando uma elevada capacidade de assimilar e estocar nutrientes, como fósforo e nitrogênio. Fatores como estes trazem à tona a importância do ponto de vista econômico e ecológico das macrófitas aquáticas. Este estudo procurou analisar a dinâmica de ocorrência de macrófitas aquáticas no ambiente do reservatório da PCH Santa Rosa II (Bom Jardim/RJ), entre 2017 e 2019. Esta análise foi realizada com o uso de técnicas de interpretação de imagens de média resolução para o cálculo do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) obtida através do sensor MSI-Sentinel-2, gerando imagens com possibilidade de identificação de macrófitas em estado de senescência e em pleno vigor na produção de clorofila e avaliação de suas relações com o Índice de Estado Trófico (IET), além da validação com observações registradas em relatório e disponibilizadas aos órgãos ambientais para acompanhamento do Programa de Gestão Ambiental (PGA). O intervalo entre  $0,40 < NDVI < 0,80$  mostrou-se bem definido, sobretudo para a presença marcante da macrófita *Salvinia auriculata*. Foram identificados, também através do sensoriamento remoto, a presença da biomassa de macrófitas flutuantes em dois momentos distintos, marcados pelos períodos de chuva ou seca, obtendo no primeiro semestre 13,19 ha; 6,57 ha; 14,37 ha, para os meses de março de 2017, 2018 e 2019, respectivamente, e para o segundo semestre 42,15 ha; 23,9 ha; 19,12 ha para os meses de setembro de 2017, 2018 e agosto de 2019, respectivamente. O IET retornou com classificação do corpo d'água do reservatório em estado de hipereutrofia, justificada na alta concentração observada para o parâmetro fósforo total. A alta densidade de macrófitas no reservatório (3.749 gPS/m<sup>2</sup> em 2018) e o grande volume de biomassa removida mecanicamente, aliada a ausência de aproveitamento deste material, abrem caminho para diferentes alternativas ao atual plano de manejo de macrófitas aquáticas. Diferentes soluções poderiam ser empregadas na região para valorização deste material vegetal rico em matéria orgânica, como ingrediente de ração animal, fertilizante orgânico, biocombustível, entre outros usos.

**Palavras-chave:** Macrófitas Aquáticas Flutuantes. Sensoriamento Remoto. Valorização da Biomassa.

## ABSTRACT

The mountainous region of the state of Rio de Janeiro is affected by the lack of basic sanitation, which results in discharges of domestic and industrial effluents and consequently favoring the process of eutrophication of rivers. In this environment supportive of nutrient accumulation, aquatic macrophytes are inserted, which have a high capacity to assimilate and store nutrients such as phosphorus and nitrogen. These factors highlight the economic and ecological importance of aquatic macrophytes. This study aimed to analyze the dynamics of occurrence of aquatic macrophytes in the Santa Rosa II SHP (Bom Jardim/RJ) reservoir environment, between 2017 and 2019. This analysis was performed using medium-resolution image interpretation techniques and evaluation of their relationship with the Trophic State Index (TSI) for total phosphorus and chlorophyll a, in addition to validation with follow-up reports available to the environmental agencies in the form of the Environmental Management Program (EMP). The methodology of the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) obtained through the MSI-Sentinel-2 sensor was applied in parallel, generating images with the possibility of identification of macrophytes in senescence state and in full force in chlorophyll production. The interval between  $0.40 < \text{NDVI} < 0.80$  was well defined especially for the high presence of the *Salvinia auriculata* macrophyte. Through remote sensing, floating macrophyte biomass were identified in two distinct moments, marked by periods of rain or drought, obtaining in the first semester 13.19 ha; 6.57 ha; 14.37 ha for March 2017, 2018 and 2019, respectively, and for the second half 42.15 ha; 23.9 ha; 19.12 ha for the months of September 2017, 2018 and August 2019, respectively. The TSI returned with classification of the reservoir water body in a hypereutrophic state, justified by the high concentration observed for the total phosphorus parameter. The high macrophyte density in the reservoir (3.749 g dry wt/m<sup>2</sup> em 2018) and the large volume of biomass, mechanically removed, combined with the lack of reuse of this material, leads to the discussion of different alternatives to the current aquatic macrophyte management plan. Different solutions could be employed in the region involving the valuation of these rich organic materials, such as animal feed supplement, organic fertilizers, biofuels, among other uses.

**Keywords:** Floating Aquatic Macrophytes. Remote Sensing. Biomass Valorization.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Mapa de Localização da PCH Santa Rosa II. ....	44
Figura 2 - a) Folha verde fotosintetizante de liquidambar obtidas da árvore; b e c) folhas em senescência amarela e vermelha, respectivamente, obtidas da árvore; d) folha em senescência obtida do chão; e) Porcentagem de refletância no intervalo de 400 – 1050 $\mu\text{m}$ obtidas por meio de um espectrorradiômetro .....	46
Figura 3 - Representação do NDVI no reservatório da PCH Santa Rosa II em 2017 .....	62
Figura 4 – Representação do NDVI no reservatório da PCH Santa Rosa II em 2018 .....	64
Figura 5 - Representação do NDVI no reservatório da PCH Santa Rosa II em 2019 .....	66
Figura 6 - Dinâmica de crescimento de macrófitas flutuantes .....	67
Figura 7 - Dados de remoção de macrófitas aquáticas .....	67
Figura 8 - Parâmetros de Correção Atmosférica - Sen2Cor .....	88
Figura 9 - Chuva Acumulada Mensal x Chuva (Normal Climatológica 61-90), Cordeiro (RJ) - 2017 .....	89
Figura 10 - Chuva Acumulada Mensal x Chuva (Normal Climatológica 61-90), Cordeiro (RJ) -2018.....	89
Figura 11 - Chuva Acumulada Mensal x Chuva (Normal Climatológica 61-90), Cordeiro (RJ) -2019.....	90
Figura 12 - Parâmetros Físico Químicos, bacteriológicos e biológicos analisados no rio Grande (2017, 2018 e 2019) - Relatório Semestral da Azurit ao INEA .....	90
Figura 13 - Parâmetros Físico Químicos, bacteriológicos e biológicos analisados no rio Grande (2017, 2018 e 2019) - Relatório Semestral da Azurit ao INEA .....	91
Figura 14 - Parâmetros Físico Químicos, bacteriológicos e biológicos analisados no rio Grande (2017, 2018 e 2019) - Relatório Semestral da Azurit ao INEA .....	92
Figura 15 - Parâmetros Físico Químicos, bacteriológicos e biológicos analisados no rio Grande (2017, 2018 e 2019) - Relatório Semestral da Azurit ao INEA .....	93
Figura 16 - Parâmetros Físico Químicos, bacteriológicos e biológicos analisados no rio Grande (2017, 2018 e 2019) - Relatório Semestral da Azurit ao INEA .....	94
Figura 17 - Parâmetros Físico Químicos, bacteriológicos e biológicos analisados no rio Grande (2017, 2018 e 2019) - Relatório Semestral da Azurit ao INEA .....	95

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Principais espécies de macrófitas .....	27
Tabela 2 - Intervalos de aplicação NDVI para Macrófitas com base na literatura.....	48
Tabela 3 - Intervalos de aplicação NDVI para a PCH Santa Rosa II .....	49
Tabela 4 - Detalhes do monitoramento qualitativo .....	51
Tabela 5 - Densidade de macrófitas por ponto amostral e predominância.....	52
Tabela 6 - Densidade Média de Macrófitas Flutuantes (gPS/m <sup>2</sup> ).....	55
Tabela 7 - Pontos amostrais para coleta de água .....	56
Tabela 8 - Valores do Índice de Estado Trófico (IET) para o rio Grande, no trecho de inserção da PCH.....	69
Tabela 9 - Teor em nutrientes (PT e NT) da <i>Salvinia sp</i> .....	70
Tabela 10 - Produtividade de Biomassa pela <i>Salvinia sp</i> .....	71
Tabela 11 - Proteína Bruta - <i>Salvinia sp</i> .....	73
Tabela 12 - Teor de Nitrogênio Total, com base na literatura - <i>Salvinia sp</i> .....	74
Tabela 13 - Comparação da quantidade de N entre diferentes Fertilizantes Orgânicos - <i>Salvinia sp</i> .....	75
Tabela 14 - Produção de Biogás - <i>Salvinia sp</i> .....	76
Tabela 15 - Produção de Metano - <i>Salvinia sp</i> .....	76
Tabela 16 - Tabela comparativa entre diferentes matérias primas - <i>Salvinia sp</i> .....	76

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA	Agência Nacional de Águas
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IET	Índice de Estado Trófico
NDVI	Índice de Vegetação por Diferença Normalizada
PGA	Programa de Gestão Ambiental
SNIS	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento



## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>19</b>
1.1	OBJETIVOS.....	21
1.1.1	<b>Objetivo Geral .....</b>	<b>21</b>
1.1.2	<b>Objetivos Específicos.....</b>	<b>21</b>
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....</b>	<b>22</b>
2.1	RESERVATÓRIOS PARA A GERAÇÃO DE ENERGIA .....	22
2.1.1	<b>Eutrofização em reservatórios .....</b>	<b>23</b>
2.1.2	<b>Macrófitas em reservatórios.....</b>	<b>25</b>
2.1.3	<b>Efeitos das macrófitas em reservatórios.....</b>	<b>29</b>
2.2	ESTADO DA ARTE DO MANEJO DE MACRÓFITAS .....	30
2.2.1	<b>Métodos de controle .....</b>	<b>31</b>
2.2.1.1	Controle Mecânico .....	31
2.2.1.2	Controle Químico .....	32
2.2.1.3	Controle Biológico .....	32
2.2.2	<b>Estudos de caso .....</b>	<b>33</b>
2.3	OBRIGAÇÕES LEGAIS .....	34
2.4	VALORIZAÇÃO DA BIOMASSA.....	36
2.4.1	<b>Tratamento de Efluentes.....</b>	<b>36</b>
2.4.2	<b>Ração Animal.....</b>	<b>38</b>
2.4.3	<b>Uso da biomassa de macrófitas como Fertilizante Orgânico .....</b>	<b>39</b>
2.4.4	<b>Uso da biomassa de macrófitas como Biocombustíveis .....</b>	<b>40</b>
2.4.5	<b>Outros usos para a biomassa de macrófitas.....</b>	<b>42</b>
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA .....</b>	<b>43</b>
3.1	LOCALIZAÇÃO DO RESERVATÓRIO E ESTUDOS DE MONITORAMENTO	43
3.2	ANÁLISE TEMPORAL DA PRESENÇA DE MACRÓFITAS .....	45
3.2.1	<b>Banco de dados .....</b>	<b>45</b>

3.2.2	<b>Correção do efeito atmosférico e conversão de níveis digitais para refletância</b>	<b>46</b>
3.2.3	<b>Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI)</b>	<b>46</b>
3.2.4	<b>Índices Pluviométricos da Região</b>	<b>50</b>
3.3	AVALIAÇÃO TEMPORAL E ESPACIAL DA POPULAÇÃO DE MACRÓFITAS	50
3.3.1	<b>Monitoramento e Controle da Proliferação de Macrófitas</b>	<b>50</b>
3.3.1.1	Monitoramento Qualitativo	51
3.3.1.2	Monitoramento Quantitativo	52
3.4	ANÁLISE LIMNOLÓGICA PARA AVALIAÇÃO DO NÍVEL TRÓFICO	55
3.4.1	<b>Monitoramento Limnológico e de Qualidade da Água e Sedimentos</b>	<b>55</b>
3.4.1.1	Índice de Estado Trófico (IET)	57
3.5	POTENCIAL DAS MACRÓFITAS PARA REMOÇÃO DE METAIS E NUTRIENTES	58
3.5.1	<b>Potencial de Fitorremediação</b>	<b>58</b>
3.5.2	<b>Potencial de Fitodepuração</b>	<b>59</b>
3.6	VALORIZAÇÃO DA BIOMASSA	60
3.6.1	<b>Suplemento para ração animal</b>	<b>60</b>
3.6.2	<b>Fertilizante Orgânico</b>	<b>61</b>
3.6.3	<b>Biocombustível (Biogás)</b>	<b>61</b>
3.6.4	<b>Fitodepuração (Fitoextração e N e P)</b>	<b>62</b>
4	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b>	<b>63</b>
4.1	DINÂMICA DE CRESCIMENTO DAS MACRÓFITAS AQUÁTICAS	63
4.2	ESTADO TRÓFICO DO RESERVATÓRIO	68
4.3	ABSORÇÃO DE NUTRIENTES, FÓSFORO E NITROGÊNIO	70
4.4	MANEJO SUSTENTÁVEL DE MACRÓFITAS	71
4.5	VALORIZAÇÃO DAS MACRÓFITAS AQUÁTICAS	72
4.5.1	<b>Cenários para valorização das macrófitas aquáticas</b>	<b>72</b>
4.5.1.1	Suplemento para Ração Animal	72

4.5.1.2	Fertilizante Orgânico .....	74
4.5.1.3	Biocombustível (Biogás).....	75
4.5.1.4	Fitodepuração (Fitoextração de N e P).....	77
4.6	CONCLUSÃO.....	77
4.7	RECOMENDAÇÕES .....	78
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>80</b>
	<b>ANEXOS .....</b>	<b>88</b>



## 1 INTRODUÇÃO

Segundo o Banco de Informações de Geração Elétrica nacional, o Brasil possui no total 7.858 empreendimentos em operação, totalizando 167 GW de potência instalada, entre fontes renováveis (83%) e não renováveis (17%) (ANEEL, 2019).

A Agência Internacional de Energia (IEA, na sigla em inglês), aponta o Brasil como terceiro maior gerador de energias renováveis. Neste contexto a maior matriz energética brasileira, a energia de origem hídrica corresponde a 60% do potencial total instalado (ANEEL, 2019), colocando o país como terceiro maior produtor de energia hidrelétrica no mundo.

Essas usinas geram eletricidade pelo movimento da água de rios, seja por desníveis naturais ou através de mecanismos criados artificialmente. Diferentemente das usinas hidrelétricas (com mais de 30 MW de potência instalada), as pequenas centrais hidrelétricas (entre 1,1 MW e 30 MW de potência instalada) e centrais geradoras hidrelétricas (com até 1 MW de potência instalada) podem ser construídas em rios com pouca vazão, tendo necessidade de uma menor área inundada para barragem se comparadas as usinas de maior porte.

Com a construção de um reservatório, a decomposição da matéria orgânica ao longo de sua profundidade nos primeiros anos pode ocasionar em alta concentração de nutrientes, podendo interferir na qualidade da água. A consequente transição do ambiente lótico ao lântico acarreta em um processo de sucessão de populações, havendo substituição e adequação das espécies ao novo ambiente. Ao longo deste processo, há colonização de diferentes plantas aquáticas em maior ou menor escala (ESTEVEZ, 2011).

As macrófitas aquáticas desempenham importante função na manutenção e equilíbrio dos ambientes aquáticos, contribuindo em transformações físicas, químicas e nos processos microbiológicos de remoção dos nutrientes, (SIPAÚBA-TAVARES; BARROS; BRAGA, 2003). Com importância significativa na melhora da qualidade da água, uma vez que absorvem as cargas excessivas de nutrientes, bem como de outros elementos (e.g. metais).

A produtividade primária das macrófitas aquáticas está diretamente relacionada à temperatura e à luminosidade, além da disponibilidade de nutrientes, tais como nitrogênio e fósforo (THOMAZ e BINI, 2003). Seu crescimento excessivo, por sua vez, é resultante de atividades humanas que aumentam a disponibilidade de nutrientes nos corpos d'água, levando

a condições favoráveis ao seu desenvolvimento (MADSEN *et al.*, 1998; MENENDEZ; PEÑUELAS, 1993; SESHAVATHARAM, 1990).

Seus efeitos na água podem refletir na diminuição da disponibilidade de oxigênio, na formação de gases (H<sub>2</sub>S, CH<sub>4</sub> etc.) e na diminuição do pH da água, causando efeitos deletérios sobre as comunidades de fitoplâncton, zooplâncton, zoobentos e peixes. Contudo, uma vez conhecidos os agentes determinantes da proliferação das macrófitas aquáticas, medidas de controle e manejo podem ser propostas (POMPÊO, 2017; THOMAZ; BINI, 2003).

Outros efeitos nocivos advindos da proliferação descontrolada das macrófitas aquáticas são, segundo Thomaz & Bini (2003), o impedimento à navegação, a obstrução das grades de tomada d'água de usinas hidrelétricas refletindo sobre a geração de energia, o aumento da concentração de metais pesados e sais e a formação de habitats propícios à reprodução de vetores de doenças de veiculação hídrica.

Com registros por todo território nacional, o crescimento exponencial e presença de macrófitas configura-se como assunto chave para procedimentos de operação e manutenção de reservatórios. Como registrado em 2017, o desprendimento de macrófitas no reservatório da Usina Jupia, no Estado de Mato Grosso do Sul, afetou a operação de 10 unidades geradoras, causando, no total, indisponibilidade de cerca de cinco meses para o sistema e um custo de manutenção de R\$ 3,8 milhões para a empresa (CTG BRASIL, 2019).

Objeto deste estudo, a Pequena Central Hidrelétrica Santa Rosa II, localizada entre as cidades de Bom Jardim (RJ) e Cordeiro (RJ) têm em seu atual procedimento de controle das populações de macrófitas um caráter corretivo e de ações pontuais (um evento por ano), desconectados de um gerenciamento e da existência de procedimento de manejo e valorização de macrófitas. Este cenário vem gerando transtornos e custos crescentes à operação e manutenção dos reservatórios devido ao aumento exponencial das populações. Desta forma, o presente estudo visa gerar informações para subsidiar a elaboração de um plano de manejo com medidas para controle, remoção, acondicionamento e destinação final da biomassa de macrófitas aquáticas a ser manejada no reservatório.

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivo Geral

Estudar as populações de macrófitas da PCH Santa Rosa II para a proposição de alternativas tecnológicas e operacionais com vistas a valorização da biomassa.

### 1.1.2 Objetivos Específicos

- Realizar uma análise histórica sobre os eventos de "bloom" das principais macrófitas presentes na PCH Santa Rosa II;
- Avaliar a produtividade de biomassa de macrófitas considerando a ocupação temporal espacial no reservatório da PCH Santa Rosa II, para subsidiar a tomada de decisão;
- Avaliar a relação entre o desenvolvimento das macrófitas e a presença de nutrientes no curso hídrico;
- Propor cenários para a valorização da biomassa.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 RESERVATÓRIOS PARA A GERAÇÃO DE ENERGIA

De acordo com Agostinho et al., (2007) podemos definir os reservatórios como obras de engenharia cuja finalidade está relacionada ao controle de cheias, atividade de irrigação e suprimento de água para abastecimento doméstico, sendo considerado lânticos em função da reduzida velocidade do fluxo de água.

Em razão de sua característica lântica, os reservatórios estão sujeitos as correntes de vento, densidade e estratificação do corpo hídrico. A estratificação por sua vez, resultado de processos físicos, está diretamente ligada as variações sazonais da temperatura gerando camadas com diferentes densidades, contribuindo para a formação de termoclima.

Em seu estudo para avaliação de métodos de monitoramento de corpos hídricos, Lamparelli (2004), afirma que ambientes eutrofizados que estratificam no verão podem apresentar condições anóxicas nas camadas mais profundas, propiciando a liberação do fósforo encontrado nos sedimentos. Já no inverno, com a esperada homogeneização da temperatura ao longo da coluna d'água, a camada superior subitamente resfriada tende a ir para o fundo do reservatório, havendo desta forma deslocamento da camada inferior e conseqüente revolvimento das massas (VON SPERLING, 2005).

Em razão do tempo de residência da água em reservatórios ser frequentemente longo, permite que algumas reações, tanto do ponto de vista químico, como biológico, ocorram (SOUZA et al.,2007). Estas reações, com origem associada ao acúmulo de nutrientes no corpo hídrico, acabam por acelerar o processo de envelhecimento do ambiente, conhecido como “processo de eutrofização” dos reservatórios (SOUZA et al., 2007).

Ao se considerar a utilização dos recursos hídricos emerge o conceito de usos da água, que se refere aos múltiplos fins que se destinam os recursos hídricos (ABNT, 1993). Nesse sentido, os usos dos recursos hídricos ocorrem de duas formas: consuntivos ou não consuntivos. Os usos consuntivos são aqueles que retiram água de sua fonte natural diminuindo suas disponibilidades, quantitativa ou qualitativa, espacial e temporalmente, já os usos não consuntivos são aqueles em que toda a água captada retorna ao local de origem (SETTI et al., 2001) como o caso dos reservatórios destinados a geração de energia elétrica. Em ambos, a qualidade da água disponível é de suma importância para a destinação final, como no caso de seu uso para abastecimento público.

### 2.1.1 Eutrofização em reservatórios

Avaliando um processo natural, onde não há interferência de atividades antrópicas, o aporte de nutrientes ao curso hídrico é trazido pelas chuvas e pelas águas superficiais que erodam e lavam a superfície terrestre, consistindo em um processo gradual e contínuo. Quando ocorre artificialmente, há participação antrópica relacionada aos principais usos da água, acelerando a entrada de nutrientes por ter diferentes vias, como: efluentes domésticos, efluentes industriais e das atividades agrícolas, incluindo os efluentes de sistemas de criação de organismos aquáticos (ESTEVEZ, 2011), acarretando na expansão da eutrofização. Esse processo acarreta no comprometimento da qualidade de água para diversos usos, inclusive o da geração de energia elétrica

Sob a ótica da gestão dos recursos hídricos, foram desenvolvidos diferentes índices e indicadores ambientais para avaliação da qualidade da água, com base em suas características físico-químicas e biológicas. O índice de estado trófico (IET) é amplamente utilizado, tendo por finalidade classificar os corpos d'água em diferentes graus de trofia, ou seja, avalia a qualidade da água quanto ao enriquecimento por nutrientes e seu efeito relacionado ao crescimento excessivo da vegetação aquática como algas ou macrófitas aquáticas (CETESB, 2017).

Na busca por limites capazes de classificarem os ambientes segundo a sua qualidade, surgiram esquemas simplificados para a classificação em graus de trofia. O Índice de Estado Trófico (IET) proposto por Carlson (1977) permite uma avaliação limnológica bastante aproximada do nível de enriquecimento nutricional de um corpo aquático e abrange apenas três parâmetros, a transparência da água, a clorofila-*a* (utilizadas como medidas da biomassa de algas) e a concentração do fósforo total (MAIA et al.,2015).

Lamparelli (2004) propôs um novo IET, com base em dados coletados em reservatórios do Estado de São Paulo, com análise sob as variáveis de clorofila-*a* e fósforo total, uma vez que fora identificado que a transparência muitas vezes pode não ser representativa para o estado de trofia, pois esta pode ser afetada pela elevada turbidez decorrente de material mineral em suspensão e não apenas pela densidade de organismos planctônicos (MAIA et al.,2015).

A opção de classificação em graus de trofia para ambientes aquáticos consiste em uma abordagem de classificação tipológica, gerando como resultado a determinação em categorias de estado trófico variando de estágios mais amenos de eutrofização para mais avançados, como os níveis propostos por Lamparelli (2004), sendo estes: ultraoligotrófico, oligotrófico, mesotrófico, eutrófico, supereutrófico e hipereutrófico.

Considerando a eutrofização, as fontes de nutrientes podem ser classificadas de duas formas, como difusas e pontuais. As fontes difusas originam-se de múltiplos pontos de descarga, abrangendo grandes áreas e geralmente associadas ao uso da terra (e.g. os escoamentos superficiais urbanos e agrícolas). As fontes pontuais resultam da descarga de nutrientes em locais específicos que podem ser facilmente identificados, como por exemplo, efluentes domésticos e industriais (BRUSSEAU & TICK, 2006).

A presença conjunta de nitrogênio e fósforo nos despejos ocasionando enriquecimento do meio aquático, acaba por torná-lo mais fértil e possibilita o crescimento em maior intensidade dos seres vivos que os utilizam para seu desenvolvimento, especialmente algas, fitoplâncton e macrófitas (ESTEVES, 2011), sendo esta uma das principais características deste fenômeno.

A deterioração da qualidade da água em ecossistemas aquáticos tem produzido impactos ecológicos, econômicos, sociais e na saúde pública. Seus principais efeitos nos corpos hídricos são: anaerobiose, mortandade da fauna, toxicidade de algas, dificuldade e altos custos para o tratamento da água e redução da navegação e da capacidade de transporte (VON SPERLING, 2005).

Este tópico vem sendo apontado como uma problemática crescente em locais distintos pelo mundo. Como remarcado por Liu et al.,(2012) com o enchimento inicial do reservatório da Usina Três Gargantas (TGR) na China, em junho de 2003, um conjunto de florações intensas foram observadas em uma série de afluentes, ameaçando a segurança da água potável dos moradores da região. Seguindo esta linha, em revisões internacionais, como a elaborada por Yang et al., (2008) foram avaliados os mecanismos e o monitoramento de águas eutrofizadas. Mateo-Sagasta & Burke (2010), divulgaram um relatório intitulado “*Agricultura e interações como a qualidade da água: uma visão geral*”, onde foram discutidas as interferências do excesso de nutrientes sobre a agricultura e a qualidade da água, bem como a causa de hipóxia e aumento da biomassa de algas.

De maneira semelhante, no Brasil é notável a quantidade de estudos sobre eutrofização e suas consequências, com estudos sobre eutrofização em lagos e reservatórios (TUNDISI,

2003; TUNDISI & TUNDISI-MATSUMURA, 2008; MEDIONDO,2008), manejo de macrófitas aquáticas (THOMAZ & BINI, 2003; POMPEO, 2017; MOURA et al., 2009; PITELLI R.A. et al., 2018) e gestão integrada de mananciais de abastecimento eutrofizados (ANDREOLI, C. V. CARNEIRO, 2005), entre outros.

Como consequências negativas ao ambiente natural, segundo Dezotti (2008), a eutrofização pode ocasionar:

- Acréscimo da demanda de oxigênio em corpos d'água para a degradação da matéria orgânica das plantas e algas, podendo ocasionar em mortandade de peixes e outros organismos aquáticos por asfixia;
- Acréscimo do custo sobre o tratamento das águas eutrofizadas, com agravos e possibilidade de inviabilidade dependendo do uso a ser aplicada;
- Aumento excessivo de macrófitas enraizadas ou flutuantes podendo interferir na navegação, aeração e capacidade de transporte do corpo d'água;
- Em reservatórios, pode ocasionar no acúmulo de vegetação sob o curso d'água em decorrência da eutrofização e do assoreamento, podendo torná-lo cada vez mais raso, até vir a desaparecer;
- Interferências para uso recreacional do reservatório, com o aparecimento de lâminas de algas e outras plantas aquáticas, além de elevada turbidez nas águas;
- Deposição de algas mortas no fundo do corpo dá água, ocasionando condições anaeróbias.

### **2.1.2 Macrófitas em reservatórios**

As macrófitas aquáticas incluem um conjunto diversificado de plantas que foram capazes de adaptar-se a partir de espécies terrestres à vida integralmente, ou parcialmente, em água doce (CALOW; PETTS, 1996). Em consequência, apresentam ainda várias características de vegetais terrestres, como a presença de cutícula, embora fina e de estômatos, na maioria das espécies não funcionais (ESTEVES, 2011).

Podem ser consideradas macrófitas aquáticas todas as espécies herbáceas (Charophyta, Anthocerotophyta, Hepatophyta, Briophyta, Psilotophyta, Lycophyta,

Pteridophyta, Arthropophyta e Magnoliophyta) visíveis a olho nu, que em condições normais podem se desenvolver em ambientes aquáticos e que possuem suas partes fotossinteticamente ativas permanentemente, ou por diversos meses, todos os anos (COOK, 1974; FASSET, 1957; IRGANG & C.V.S, 1996).

A classificação destes organismos pode ser feita de acordo com o modo de vida no ambiente aquático, sendo caracterizada da seguinte forma (UFSCAR, 2016):

- Emersas: enraizadas no sedimento, porém as folhas crescem para fora da água. Ex: Junco, Taboa;
- Macrófitas aquáticas com folhas flutuantes: enraizadas no sedimento e com folhas flutuando na superfície da água. Ex: Lírio d'água, Vitória-régia;
- Macrófitas aquáticas submersas enraizadas: enraizadas, crescendo totalmente debaixo d'água. Ex: Elódea, Cabomba;
- Macrófitas aquáticas submersas livres: Permanecem flutuando debaixo d'água. Podem se prender a pecíolos e caules de outras macrófitas. Ex: Utriculária;
- Macrófitas aquáticas flutuantes: Flutuam livremente na superfície da água. Ex: Alface d'água, Aguapé, Orelha-de-rato

Os fatores limitantes à explosão demográfica desses vegetais em níveis prejudiciais aos usos múltiplos de reservatórios são a profundidade do corpo d'água, o elevado grau de exposição ao vento e a elevada turbidez (THOMAZ; BINI, 2003).

Com importância notável para a dinâmica das biocenoses dos ecossistemas aquáticos, as macrófitas apresentam-se como componentes estruturais e fundamentais para o equilíbrio destes ambientes. As macrófitas fornecem substrato para colonização e crescimento do perifiton (i.e. fina camada de biofilme, com atuação na interface entre o substrato e a água circundante) e ação direta na absorção do excesso de nutrientes dissolvidos na água (PITELLI, 1998). Outro importante papel das macrófitas está na proteção de margens dos corpos hídricos contra processos erosivos e na promoção da heterogeneidade espacial e temporal que favorecem a biodiversidade dos corpos hídricos.

Mostrando-se como importantes fontes de carbono e energia na base da cadeia alimentar, as macrófitas podem contribuir para a liberação de nutrientes (por morte ou excreção) interferindo na dinâmica de crescimento do fitoplâncton e outras plantas aquáticas, principalmente em períodos de seca, onde há queda de sua produtividade e maior liberação de teores de matéria orgânica e nutrientes (BEYRUTH, 1992).

A existência de um ambiente solidário ao desenvolvimento de macrófitas aquáticas após a criação de um reservatório, foi analisado pelo Programa Cultivando Água Boa da Itaipu Binacional. De acordo com o grupo, o reservatório de Itaipu, desde sua criação em meados de 1982, enfrenta problemas decorrentes da contaminação das águas por dejetos de animais, agrotóxicos, esgotos e outros resíduos decorrentes de atividades desenvolvidas na região (CULTIVANDO ÁGUA BOA, 2016).

No caso de reservatórios jovens destinados ao armazenamento de água ou produção de energia, em razão do desequilíbrio do ambiente aquático há comprometimento da qualidade da água, mesmo antes de seu enchimento, criando condições ambientais favoráveis ao crescimento de macrófitas submersas, flutuantes e marginais. Conforme levantamento de Pitelli (2006), é comum em reservatórios recém edificadas as macrófitas já constituírem um problema sério, podendo ser citados os reservatórios de Santana (RJ) nos anos 50, Itá (SC) nos anos 90 e Aimorés (MG) concluído em 2005.

Em um levantamento feito para o Estado de São Paulo por Moura et al., (2009) (Tabela 1) foram trazidas à tona as macrófitas mais impactantes para a atualidade, como sendo: *Egeria densa*, *Ceratophyllum demersum*, *Brachiaria mutica*, *Brachiaria subquadripara*, *Eichhornia crassipes*, *Pistia stratiotes*, *Polygonum lapathifolium*, *Echinochloa polystachya* e *Salvinia auriculata*.

Tabela 1 - Principais espécies de macrófitas

Nominação	Nome popular	Frequência*	Preferência	Particularidades
<i>Egeria densa</i>	Elodea	Mediana	Mananciais de água parada	-
<i>Ceratophyllum demersum</i>	Candelabro aquático	-	Ambientes eutrofizados	Tolerância à flutuações do nível de água
<i>Brachiaria mutica</i>	Capim-angola	Alta	Baixadas úmidas e brejos	Hospedeira alternativa do agente causador da brusone do arroz

Nominação	Nome popular	Frequência*	Preferência	Particularidades
<i>Brachiaria subquadriflora</i>	Tanner-grass	-	Lavouras úmidas (e.g arroz irrigado)	Ingestão em longos períodos pode causar intoxicação severa no gado ribeirinho
<i>Eichhornia crassipes</i>	Aguapé	Alta	Ambientes eutrofizados	Espécie vigorosa, alta taxa de crescimento
<i>Pistia stratiotes</i>	Alface d'água	Alta	Ambientes eutrofizados	Alto poder de recobrimento em ambientes poluídos
<i>Polygonum lapathifolium</i>	Cataia-gigante	-	Margens e leitos semi-secos, também em ambientes turbulentos	Formação de ilhas flutuantes, perigo para navegação
<i>Echinochloa polystachya</i>	Capim-peixe	-	Margens e leitos semi-secos, também em ambientes turbulentos	Formação de ilhas flutuantes, perigo para navegação
<i>Salvinia auriculata</i>	Carrapatinho	Alta	Mananciais de água parada	Alto poder de recobrimento em ambientes poluídos

\*Frequência da espécie em condições favoráveis para crescimento.

Fonte: Elaborado pela autora com dados de MOURA et al., (2009).

Tendo em vista as espécies com alta frequência, a planta daninha aquática com mais problemas no país é o aguapé (*Eichhornia crassipes*), sendo uma espécie muito vigorosa, com capacidade de dobrar a sua área a cada 6-7 dias, quando em condições ótimas de crescimento, chegando a produzir 480 toneladas de massa verde/ha/ano (MOURA et al., 2009), com incremento de volume de 4,8% por dia (GENTELINI, 2007). Nesta sequência, o carrapatinho

(*Salvinia auriculata*) apresenta-se como uma espécie capaz de cobrir totalmente o ambiente aquático, como as alfaces d'água (*Pistia stratiotes*), desenvolvendo-se rapidamente em ambientes poluídos, chegando a produzir 650 g de biomassa seca/m<sup>2</sup>/ano (MOURA et al., 2009).

Conhecidos por infestarem canais de drenagem, beiras de estradas e lavouras cultivadas em locais úmidos (e.g arroz irrigado), a *Brachiaria mutica* é hospedeira alternativa do agente causador da bruzone do arroz (i.g. causada pelo fungo *Magnaphorthe oryzae* (Herbert) Barr, considerada a doença mais destrutiva do arroz) e a *Brachiaria subquadrifida*, cuja importante característica é ser tóxica quando ingerida por longos períodos pelo gado podendo levar à óbito em poucas semanas (MOURA et al., 2009).

### 2.1.3 Efeitos das macrófitas em reservatórios

A presença em demasia de plantas aquáticas pode gerar um grande agravo em ambientes como lagos e reservatórios eutrofizados em regiões urbanas, em áreas rurais onde haja uso da água para irrigação ou drenagem, assim como para os reservatórios destinados ao abastecimento de água ou de usinas hidrelétricas.

Espécies do gênero *Salvinia* têm sido muito comuns em reservatórios em diferentes localidades pelo Brasil. Tendo em vista seu pequeno porte, muitas vezes sua importância é negligenciada, porém quando em grande densidade pode causar problemas em usinas geradoras de energia com tomada profunda da água para as turbinas, como registrado em 2004 pela UHE de Itá (SC) (PITELLI, 2006).

Desde 2016, segundo dados da empresa responsável pela operação da Usina Jupuíá, foram registradas a remoção de mais de 2.315 m<sup>3</sup> de macrófitas das grades da usina, equivalente a mais de 2 mil toneladas de plantas aquáticas. Em 2017, o desprendimento de macrófitas no reservatório afetou a operação de 10 unidades geradoras, causando, no total, indisponibilidade de cerca de cinco meses para o sistema e um custo de manutenção de R\$ 3,8 milhões para a empresa (CTG BRASIL, 2019).

Alvo do estudo de Pitelli (2006), o reservatório de Santana, no rio Pirai, Rio de Janeiro tem sofrido com a população crescente de *Egeria densa* capazes de obstruir as grades de

proteção das bombas da usina elevatória de Vigário, já que por seu hábito submerso são resistentes ao bloqueio por barreiras flutuantes.

Em contrapartida, para mantimento do perfeito equilíbrio do ambiente aquático artificial a presença das plantas aquáticas faz-se essencial. Entre suas funções apresentadas, as mesmas são responsáveis por refugiar e sustentar outros organismos, reduzir a turbulência das águas através da sedimentação dos materiais em suspensão, com destaque para zonas de supressão da mata ciliar, habilidade de acumular e acelerar a ciclagem de nutrientes e bioindicador de qualidade da água (PITELLI, 2006). Com reconhecida importância na estruturação e dinâmica dos ecossistemas aquáticos a discussão do manejo e métodos de controle das macrófitas, com menção as formas de descarte e aproveitamento da biomassa removida tornam-se fundamentais para seu melhor gerenciamento.

O monitoramento da dinâmica e crescimento de populações predominantes de macrófitas em reservatórios, rios e lagoas em Minas Gerais pôde ser utilizado como uma notável ferramenta para a classificação das águas superficiais segundo o Índice de Qualidade da Água (IQA) utilizado pela Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais (CETEC, 1998d). Estes índices de qualidade das águas obtidos através das variáveis biológicas, puderam ser comparáveis e equivalentes àqueles do monitoramento físico-químico padrão, tendo como vantagem o fato de não serem pontuais e terem custo mais reduzido (THOMAZ & BINI, 2003).

## 2.2 ESTADO DA ARTE DO MANEJO DE MACRÓFITAS

A identificação das espécies de plantas aquáticas em um corpo de água é uma etapa crucial para o manejo das mesmas. Algumas particularidades podem ser levantadas, como respostas distintas entre diferentes espécies quando realizado o uso de uma mesma técnica de controle. Uma técnica que se mostra efetiva sobre uma espécie pode não necessariamente ter o mesmo efeito em outras espécies.

A constatação da ocorrência de plantas raras ou sensíveis demanda cuidados específicos, como proteção e cuidados com algumas técnicas de controle que não poderiam ser utilizadas (MARCONDES et al., 2003).

Com a finalidade na redução da abundância, as grandes biomassas de macrófitas aquáticas têm sido combatidas utilizando-se os controles mecânico, químico e biológico, uma vez que ainda não há legislação brasileira clara e específica para seu manejo em sistema aberto, porém incentivo ao uso adequado das formas de controle indicadas (MOURA et al., 2009).

No Brasil, o método mais empregado ainda vem sendo o controle mecânico, possivelmente em razão de sua simplicidade, porém com a resolução CONAMA nº 467, de 16 de julho de 2015, foi dada uma abertura e incentivo para uso de novos produtos ou serviços para controle de macrófitas, com ênfase em métodos químicos (CERVEIRA JÚNIOR, 2017).

Em outros países, com destaque para os Estados Unidos, mais precisamente no Estado da Flórida, o controle de plantas aquáticas é considerado uma questão de segurança nacional, tendo sido criado um imposto (incidindo sobre a comercialização de combustíveis) especificamente para financiar pesquisas aplicadas diretamente ao controle, há existência de legislação específica que regulam os usos dos diferentes métodos de controle (VELINI et al., 2001). O uso de herbicidas aquáticos e algicidas é uma técnica amplamente empregada para o controle de plantas aquáticas em ambas as massas de água públicas e privadas em todo território estadunidense (Gettys et al., 2014), dentre estes apresenta destaque o uso do glifosato atuando tanto sobre monocotiledôneas quanto eudicotiledôneas.

## **2.2.1 Métodos de controle**

### *2.2.1.1 Controle Mecânico*

O controle mecânico é caracterizado pelo uso de equipamentos capazes de colher, dragar, empurrar, rebocar, picar, cortar ou realizar duas ou mais dessas funções conjuntamente. Este método vem se tornando mais efetivo com o aprimoramento do maquinário. Os equipamentos disponíveis no país são, em sua maioria, equipamentos que demandam adaptações para operação em ambientes aquáticos. O fato de não terem sido projetados para esse fim faz com que seu rendimento seja baixo (MARCONDES et al., 2003).

As duas principais desvantagens do uso deste método são os seus altos custos dos equipamentos, não apenas a compra mas o custo ligado a mão de obra para operação, inclui-se também o fato de que a retirada é geralmente imperfeita, ocorrendo normalmente a reinfestação, a partir dos rizomas ou outras partes da planta que permanecem no ambiente (ESTEVES, 2011).

### 2.2.1.2 *Controle Químico*

O controle químico envolve o uso de herbicidas em meio aquático, o que requer maior conhecimento e planejamento para que seu uso seja feito de forma segura e eficaz, sem comprometer ao curso hídrico, fauna e flora locais (MURPHY; BARRETT, 1990).

Como inconvenientes apresentam o elevado custo para grandes corpos de água e a ação limitada ao ano de aplicação (AGOSTINHO et al., 2003). Tendo em vista a sensibilidade dos habitats e das preocupações dos resíduos atingirem irrigação e abastecimento de água potável (CALOW; PETTS, 1996) seu uso é restrito a locais específicos. Este método, embora muito empregado, traz consequentes prejuízos ao meio ambiente, decorrentes de sua pouca seletividade, tendo sua atuação restrita não somente a uma macrófita aquática específica, mas sobre toda a biota aquática e, em muitos casos, até sobre a terrestre. O fitoplâncton e a fauna, especialmente os peixes e aves aquáticas, são os mais afetados (ESTEVES, 2011).

A eficácia deste método varia entre aplicações e com dependência de fatores de qualidade da água como turbidez, pH, condutividade elétrica e temperatura. Nos corpos d'água de maior profundidade, como lagoas e represas, melhores resultados são obtidos com aplicações setorizadas em baixas doses, o que permite um controle das plantas daninhas mais eficientemente e com risco mais reduzido para espécies não-alvo e sua fauna associada (NEGRISOLI et al., 2006).

### 2.2.1.3 *Controle Biológico*

Do ponto de vista do meio ambiente, o controle biológico é o mais recomendável, pois está inserido dentro da dinâmica natural dos ecossistemas. Contribuindo para a transformação da biomassa de macrófitas aquáticas em biomassa animal através da cadeia alimentar, podendo consequentemente ser aproveitada pelo homem (ESTEVES, 2011).

A efetividade deste método pode ser vista como controverso, uma vez que envolve, com certa frequência, o emprego de espécies exóticas ao ambiente, podendo implicar em riscos para a fauna nativa, através da possibilidade de introdução de doenças (fauna acompanhante), competição, predação ou alterações descontroladas nos habitats (AGOSTINHO et al., 2003).

Como ressaltado por Marcondes et al., (2003) o controle biológico pode ser considerado como uma alternativa segura em relação aos impactos ambientais que pode provocar, desde que utilizado de maneira criteriosa.

A utilização de organismos vivos para controle da espécie alvo pode ser feito através de fungos, insetos e outros animais capazes de serem utilizados no controle biológico de macrófitas aquáticas, os peixes e mamíferos herbívoros são os mais eficientes (ESTEVEES, 2011). Dentre estes, destacam-se, entre os peixes, a carpa-capim (*Ctenopharyngodon idella*), a tilápia (*Tilapia rendali* e *T. zillii*), o pacu (*Piaractus mesopotamicus*) e entre os mamíferos, o peixe-boi (*Trichechus inunguis*) (ESTEVEES, 2011).

O pacu é um peixe com a capacidade de atingir uma taxa de controle diário (i.e., o quanto o peixe controla por dia em relação ao seu peso vivo, em porcentagem) de elodeas (*Egeria densa*, *E. najas*) e do candelabro-aquático (*C. demersum*) entre 9,3 e 20,0%, podendo eliminar uma massa verde dessas plantas, com a mesma quantidade de seu peso, em sete dias (MOURA et al., 2009). Paralelamente, foram encontrados para a carpa-capim, uma taxa variando entre 5,0 e 25,0%, no controle de espécies como *Azolla filiculoides* e *Lemna* sp. em canais de drenagem (MIYAZAKI; PITELLI, 2003).

### 2.2.2 Estudos de caso

O manejo das macrófitas aquáticas apesar de custoso, torna-se ainda mais oneroso quando comparado aos custos envolvidos na interrupção temporária da geração de energia elétrica através da paralisação das turbinas. Como citado por Velini et al.,(2001) no sistema Pirai-Paraíba do Sul (RJ), a companhia local Light disponibilizou cerca de US\$ 3.000.000,00 ao ano com a retirada de cerca de 40 caminhões diários de macrófitas aquáticas, sem menção ao valor ligado a produção de energia comprometida com a interrupção das atividades.

No ano de 2004, a represa Billings, localizada em São Paulo, apresentou intenso crescimento da macrófita livre flutuante, *Salvinia auriculata*, onde além do efeito estético negativo ao passo que o reservatório é empregado no abastecimento de cerca de 1,5 milhões de pessoas, o acúmulo dessa vegetação próxima do ponto de captação de água bruta trouxe preocupação aos gestores do sistema com ênfase na qualidade deteriorada da água (POMPÊO, 2008). Como forma de manejo, as macrófitas localizadas próximas do ponto de captação foram removidas e empurradas por barcos até a margem e manualmente retiradas, foi empregado o uso de esteiras rolantes instaladas nas margens para encaminha a massa vegetal às caçambas dos caminhões, posteriormente foram encaminhados a aterro sanitário (POMPÊO, 2008).

Em estudos realizados em conjunto pela Faculdade de Ciências Agrônômicas da UNESP de Botucatu (SP) com a Companhia Paulista de Força e Luz (CPFL), fora testado o uso de ferramentas para o controle de plantas aquáticas na UHE de Americana, com a pesquisa observou-se que as áreas de descarte das plantas acabam por ser infestadas pelo tanner-grass (*Brachiaria subquadripara*) (MOURA et al., 2009). A medida de controle era mecânica, o mesmo não se mostrou eficaz quando pensado em uso unitário, havendo a necessidade de combiná-lo com o químico, empregando-se o herbicida glifosato, na dose de 4,8 kg i.a.ha<sup>-1</sup>. O modo mais eficiente de aplicação foi a pulverização sobre as plantas na esteira ou sobre as pilhas de material no campo, evitando a rebrota desta braquiária (MOURA et al., 2009).

A existência de resultados na literatura variáveis para avaliar o efeito através da exposição ao glifosato por macrófitas pode ser percebida para uma mesma concentração de 8 L.ha<sup>-1</sup>, onde para *E. crassipes*, chega a ser apresentada como sem efeito por Luna et al (2010) e com efeito total por Olaleye e Akinyemiju (1996). Cruz et al., (2015) obtiveram 100% de efeito após 45 dias de observação para a concentração de 10 L.ha<sup>-1</sup>. Foloni e Pitelli, (2005) e Cruz et al (2012) relataram dificuldade de ação sobre a *Salvinia* sp., chegando a apresentar efeito a partir de 10 L.ha<sup>-1</sup> em maior período de observação, iniciando efeito em 21 até 45 dias (MARIA, 2017).

Em estudo desenvolvido por Moreira (2016) fora avaliado o potencial bioherbicida de *Eragrostis plana* (capim-anoni2) e fungos, aplicados com vistas ao controle das espécies *Eichhornia crassipes*, *Pistia stratiotes* e *Salvinia herzogii* presentes em cursos hídricos da cidade de Erechim (RS). Os melhores resultados foram encontrados com a aplicação de fungos (IFL, IFC, IFP e *Phoma* sp), o domínio de *Eichhornia crassipes* com o uso de fungo apresentou controle que variou de 75 a 88%.

Por outro lado, discute-se o gerenciamento preventivo em médio e longo prazo tendo como destaque a criação de cenários em que não permitam o aparecimento de problemas de qualidade da água, sobretudo aqueles ligados ao crescimento desgovernado de macrófitas aquáticas. No maior horizonte temporal possível, deve-se vislumbrar a disponibilidade dos recursos para gerações futuras, incorporando soluções que possibilitem o gerenciamento autossustentado.

### 2.3 OBRIGAÇÕES LEGAIS

A construção estrutural de usinas hidrelétricas, com destaque à formação de reservatórios, contribui para uma série de impactos ambientais, requerendo um conjunto de estudos prévios à sua construção. O Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e o Relatório de Impacto Ambiental (RIMA), englobam a predição das alterações ambientais e proposição de medidas mitigatórias a fim de minimizar o impacto, caso o empreendimento tenha sua aprovação autorizada.

Com a conclusão da obra é estabelecida a necessidade de Licença de Operação (LO) para as usinas hidrelétricas, com isso um conjunto de condicionantes ambientais são requeridas. É neste cenário em que geralmente estão presentes a obrigatoriedade do monitoramento e plano de manejo de macrófitas aquáticas, em razão dos graves problemas ocasionados pelas infestações registradas em um considerável número de reservatórios brasileiros.

A Política Nacional do Meio Ambiente tem por objetivo a preservação, melhoria e recuperação da qualidade ambiental propícia à vida, visando assegurar condições ao desenvolvimento socioeconômico, aos interesses da segurança nacional e à proteção da dignidade da vida humana, sendo aplicado neste espaço o princípio de recuperação de áreas degradadas. É neste princípio em que está presente o Plano de Recuperação de Áreas Degradadas (PRAD), sendo este solicitado pelos órgãos ambientais como parte inseparável do processo de licenciamento de atividades degradadoras ou modificadoras do meio ambiente. Aplicando-se também em situações onde o empreendimento fora punido administrativamente por causar degradação ambiental.

Para pequenos corpos de água visando o controle do crescimento agudo das macrófitas, o plantio de árvores nas margens em consonância ao Plano de Recuperação de Área Degradada (PRAD) para mata ciliar se apresenta como uma alternativa interessante, uma vez que estas árvores causam sombra, interferindo na produção da biomassa das plantas aquáticas.

A proposta de manejo de organismos aquáticos é atualmente disciplinada pela Resolução CONAMA nº 467, de 17 de julho de 2015. Esta resolução dispõe de orientações quanto aos critérios para a autorização de uso de produtos ou agentes de processos físicos, químicos ou biológicos em corpos hídricos superficiais para controle da poluição e do crescimento desordenado ou indesejável de organismos da flora e da fauna, além de outras providências.

Em uma avaliação crítica da Resolução CONAMA nº 467, Pompeo (2017) avalia que a resolução reforça o manejo da biota principalmente pelo emprego de compostos químicos, estabelecendo um ciclo vicioso e contínuo de manejos e crescimentos descontrolados recorrentes, visto não disciplinar a atuação de modo preventivo e autossustentável, disciplinando ações na fonte do problema, como coleta e o tratamento dos efluentes (apontado como principal responsável pela entrada de nutrientes e alavanca para o processo de eutrofização).

## 2.4 VALORIZAÇÃO DA BIOMASSA

Considerando o processo de remoção das macrófitas, quando atingido um grande patamar de biomassa ou quando este processo de remoção é contínuo, alternativas ao processo de gestão tradicional para descarte podem ser analisados, como permitir uma destinação nobre à biomassa removida.

Com potencial de fitorremediação (i.e. fito = planta e remediar = dar remédio, corrigir) as macrófitas pode sem utilizadas para degradar, extrair, conter ou imobilizar contaminantes em solos e águas, como metais traço (ex: Cr, Cu, Ni, Pb, V e Zn) e outros nutrientes (P e N). Esta tecnologia tem sido considerada como uma alternativa inovadora e de baixo custo à maioria das técnicas de tratamento já estabelecidas para áreas contaminadas (USEPA, 2000). Os poluentes são removidos pelas raízes submersas na água e sedimentos e pelas folhas aéreas no caso das macrófitas flutuantes.

Tendo em consideração a capacidade das macrófitas aquáticas de reterem uma considerável quantidade de nutrientes, sua alta produtividade e alta taxa de crescimento, ambas contínuas temporalmente, acabam por constituírem-se em uma boa fonte de biomassa vegetal para ser utilizada na produção de substratos.

### 2.4.1 Tratamento de Efluentes

No cenário de tratamento de efluentes, foi avaliado durante 4,5 meses um sistema de fluxo subsuperficial de tratamento de águas residuárias mistas, com vazão média de 225 L/dia, através de 3 leitos quadrados e 3 retangulares, de 4 m<sup>2</sup> cada e de 60 cm de altura, de alvenaria, com fundo de brita, cultivados com as plantas emergentes *Typha* (taboa) e *Eleocharis* (cebolinha), esta última foi mais vigorosa e mais eficiente do que a taboa na redução de sólidos

suspensos (mais de 90 %), de coliformes fecais (59 % a 97 %), e de nitrogênio (35 % a 90 %), mas o sistema não demonstrou ser eficiente na remoção de nitrogênio e de fósforo, tendo como uma das razões apontadas a falta de remoção das plantas (VALENTIM (1999) apud POTT; POTT, 2002).

Em seu levantamento sobre aplicação de lemnáceas em tratamento de efluentes, Pott & Pott (2002), chama a atenção para a cidade de Cuttack, Orissa, localizada na Índia, com presença de 700 mil habitantes no período em que criada, em 1986, uma Estação de Tratamento de Esgotos com Aqüicultura de lemnáceas e peixes, custando apenas US\$ 38 mil, uma estação de tratamento convencional custaria quase o quádruplo, segundo os autores. Com capacidade de tratar o esgoto de 11 mil pessoas (1 milhão de litros de esgoto/dia), a estação inicia com um tratamento com lemnáceas, seguindo para tanques com carpas e camarões de água doce, após 5 dias a água já pode ser utilizada na agricultura para usos não potáveis. É feita também a comercialização dos peixes após 8-12 meses, compensando os custos (POTT; POTT, 2002).

Tendo em vista a necessidade de remoção de fósforo e amônia, com baixa eficiência em sistemas de tratamento de esgoto doméstico de lagoas e a exigência de conformidade a legislação brasileira, Affonseca (2016), desenvolveu um sistema em escala real utilizando macrófitas *Lemnaceae* na Lagoa da Estação de Tratamento de Recreio em Charqueada (SP). Os testes foram feitos em dois períodos sazonais completamente distintos, chegando a remoções médias de 75% para ambos os parâmetros, sendo os melhores resultados pontuais obtidos para a amônia (AFFONSECA, 2016).

Como uma opção de tratamento alternativo e complementar, o uso de macrófitas no contexto da fitorremediação, foi avaliado por Amorim et al., (2018) como técnica promissora para o pós-tratamento de lixiviado gerado no Aterro Sanitário de Curitiba. Em seu sistema piloto, foram efetuadas coletas e análises do lixiviado, do substrato e das macrófitas (*Echinochloa polystachya* e *Eichhornia crassipes*). A eficiência do sistema no pós-tratamento do lixiviado foi de 72% para demanda bioquímica de oxigênio, 30% para demanda química de oxigênio, 76% para fósforo total e fósforo inorgânico, 38% para nitrato, 33% para nitrito, 58% para nitrogênio amoniacal, 44% para nitrogênio orgânico e 13% para zinco, atendendo a legislação ambiental estadual vigente (AMORIM et al., 2018).

Gentelini (2007), avaliou o uso das macrófitas *Eichhornia crassipes* e *Egeria densa* (*egeria*) na remoção de poluentes do efluente de cultivo orgânico de tilápias do Nilo

(*Oreochromis niloticus*). Para remoção de nitrogênio total (NT) a maior remoção foi de 39,90% e 37,38%, já para remoção de fósforo total (PT) foram obtidos 41,57% e 43,42%, respectivamente para o aguapé e para egeria. Para a DQO, tanto o aguapé quanto a egeria, os melhores resultados de remoção foram 63,61% e 62,64% respectivamente. Havendo maior produção de biomassa através do aguapé do que da egeria em todos os tempos de detenção estudados (8 e 12 horas) ao longo de 6 semanas.

Tonon (2016) utilizando de um experimento em escala piloto com duas lagoas de lemnas em série, com 10,8 m<sup>2</sup> e TDH de 17 dias (cada) avaliou o uso das macrófitas no polimento do tratamento de esgoto doméstico. O sistema foi operado com uma vazão de 200L.dia<sup>-1</sup> e monitorado através análises de parâmetros físico-químicos, obtendo como resultados a eficiência em termos de concentração de nutrientes NT = 92,5% e PT = 91,2%, assim como para matéria orgânica DBO = 84,1% e DQO = 71,7%, mostrando-se de maneira geral como uma tecnologia eficaz integrando tratamento de efluentes.

#### 2.4.2 Ração Animal

Tendo em vista a alta capacidade de absorver nutrientes, a espécie *Eichhornia crassipes*, foi analisada em busca de encontrar um concentrado protéico obtido a partir de suas folhas, presentes no Rio Apodi/Mossoró. Para caracterização foram utilizadas técnicas de DSC, TG e DRX e o método de Kjeldahl para quantificação de proteínas. Os resultados da extração mostram que pode ser extraído cerca de 10 % de proteínas das folhas e que aproximadamente 86% desse porcentual pode ser transformado num concentrado proteico, tornando viável sua utilização como aditivo para rações animais (SILVA et al, 2012).

Proença (2015), obteve bons resultados com o uso das macrófitas como complemento nutricional na alimentação de organismos zooplanctônicos (*Daphnia laevis* e *Moina micrura*) com potencial de serem utilizados como alimento vivo para peixes que possuem relevância econômica na piscicultura.

Foram conduzidos experimentos com peixes *Oreochromis niloticus*, a tilápia do Nilo, nos quais estes foram alimentados com rações formuladas incluindo porcentagens de 5, 10, 15 e 20% da biomassa seca e triturada das macrófitas, *Pistia stratiotes* e *Salvinia mínima*. O maior incremento médio de peso e de crescimento individual foi obtido para a ração com inclusão de 15% da biomassa da macrófita *Pistia stratiotes*, seguida da ração com 10% desta macrófita, que resultaram em custos de produção menores que o da ração controle. Sugere-se, portanto, o

aproveitamento da biomassa de *P.stratiotes* em níveis de inclusão de 10% ou 15% na ração para garantir que tragam ambos, benefícios econômicos e ambientais (PROENÇA, 2015).

Antonelo et al (2019) decidiram por analisar a composição centesimal e rendimento da extração de carboidratos de *Eichhornia crassipes* e *Lemna minuta* visando seu uso na alimentação animal. Os resultados obtidos na composição da biomassa de *E.crassipes* revelaram 8,48% de proteína bruta e 68,45% de fração de parede celular, já para a *L. minuta*, obteve-se 14,95% de proteína bruta e 53,43% de fração de parede celular. Quanto ao rendimento da extração de carboidratos, foi constatada uma média de 0,83% para *L. minuta* e 2,65% para *E.crassipes* (ANTONELO et al., 2019).

### 2.4.3 Uso da biomassa de macrófitas como Fertilizante Orgânico

Em um trecho do reservatório da Usina Hidrelétrica Corumbá IV foi realizado um experimento de recuperação de área degradada com uso de macrófitas aquáticas, *Eichhornia crassipes*, como fonte de nutrientes para plantios realizados na região. O desenvolvimento de espécies arbóreas após coleta e processamento dos dados, usando teste *T de Student*, apresenta entre os resultados apresentados para quinze mudas, apenas no Tamboril e na Imbaúba retornos positivos aos três tratamentos testados (apenas plantio de sementes, plantio de sementes com aguapé compostado e outro com aguapé seco) (INÁCIO, 2012). Já a flora e fauna edáfica mostraram-se mais receptivas a incorporação de aguapé compostado no solo, sendo estas necessárias ao desenvolvimento vegetal adequado das espécies arbóreas através do estabelecimento das interações (INÁCIO, 2012).

Como alternativa para recuperação de áreas degradadas, pode ser feito o uso da técnica de rochagem, constituindo basicamente na incorporação de rochas/minerais ao solo. Santos (2017), avaliou a eficiência do processo de rochagem consorciada com macrófitas do gênero *Eichhornia crassipes*, como resultado foi evidenciada a elevação da qualidade do solo exposto à atividade de mineração, colaborando para a recuperação de locais degradados e fechamento do ciclo de resíduos, a partir do aproveitamento de resíduos de corte de granito e resíduos orgânicos disponíveis no município de Cristal (RS).

O resíduo de macrófita aquática foi moído em moinho de facas para ter ao final diâmetro de 0,05 mm, favorecendo a decomposição ao ser aplicado ao solo. A espécie vegetal

utilizada como indicadora foi o capim pensacola (*Paspalum notatum*), uma gramínea utilizada como fixadora de taludes para combate à erosão em estradas e obras de engenharia (SANTOS, 2017). Após as análises foliares em laboratório, as macrófitas mostraram-se como excelentes fontes de minerais, onde destaca-se o elevado teor de potássio, o qual é um nutriente que na forma livre regula e participa de muitos processos essenciais tais como fotossíntese, abertura e fechamento, de estômatos, absorção de água do solo, atividades enzimáticas, formação de amido e síntese protéica, além de contribuir para a resistência ao acamamento de gramíneas (SANTOS, 2017).

O autor faz ainda uma comparação do uso das macrófitas frente ao o uso de lodo de esgotos domésticos como fonte de matéria orgânica para a recuperação de áreas degradadas. Conforme ressaltado, os lodos provenientes de esgotos domésticos conservam mesmo após secagem ou processos de compostagem, ovos de helmintos, cistos de protozoários e bactérias, o que pode torna-se um impasse pela possibilidade de contaminação dos solos e lençol freático por lixiviação, pois geralmente não há esterilização do lodo de esgoto. Alguns vermes (helmintos) são sensíveis a compostagem, outros podem sobreviver por longos períodos (CORRÊA, 2007 apud (SANTOS, 2017)).

Farias et al., (2016) avaliaram a utilização de macrófitas *Eichhornia crassipes* (aguapé), *Pistia stratiotes* (L.) (alface d'água) e *Typha domingensis* (Pers.) (taboa) no crescimento inicial e o teor de macronutrientes de mudas de moringa (*Moringa oleifera*). Os substratos eram compostos pelas macrófitas citadas (M), bem como esterco bovino (E) e terra vegetal (TV) em diferentes proporções para cada uma das espécies de macrófitas testadas.

Os substratos compostos por 60% macrófta *P. stratiotes* + 30% esterco + 10% terra vegetal e 70% macrófta + 30% esterco proporcionam maior nutrição e crescimento de mudas de moringa. O substrato com 60% macrófta *E. crassipes* + 30% esterco + 10% terra vegetal composto por *E. crassipes* é bom fornecedor de fósforo às mudas de moringa. Os substratos mostraram uma mesma eficiência em aportar nitrogênio às mudas (FARIAS et al., 2016).

#### **2.4.4 Uso da biomassa de macrófitas como Biocombustíveis**

A conversão de resíduos orgânicos, principalmente de origem animais, através de digestão anaeróbia para produção de biogás pode ser otimizada com o uso de macrófitas aquáticas, uma vez que a utilização de biomassa lignocelulósica apresenta-se como uma boa fonte ainda subaproveitada de matéria-prima para processos de conversão térmica. As plantas

aquáticas possuem um enorme potencial para produção de energias alternativas, como: etanol, butanol e, principalmente, biogás. A adição de macrófitas ao processo de digestão pode ampliar a produção de biogás em cerca de 44% (CUI; CHENG, 2015), tendo esta operação em codigestão tida como lucrativa quando os materiais são obtidos a uma distância de 15 a 20 km (DEUBLEIN E STEINHAUSER, 2008).

Lins (2017), desenvolveu um estudo com vistas a avaliar o potencial de produção de biogás a partir da biodigestão anaeróbia dos resíduos da atividade de produção de leite, de uma pequena propriedade no Estado do Paraná, com a inclusão da macrófita *Salvinia*. Os resultados da produção volumétrica de biogás e metano em função da massa de sólidos voláteis, a partir das misturas realizadas com a macrófitas na forma *in natura* e desidratada de 6, 7, 8 e 9%, foram de 286 e 197, 250 e 178, 234 e 162 e, 203 e 143 L<sub>N</sub>.kgSV<sup>-1</sup>, respectivamente (LINS, 2017).

Nesta mesma pesquisa, os melhores resultados foram encontrados com a mistura de 8% de macrófitas tanto para o poder calorífico, com 5.237 kcal.m<sup>-3</sup>, quanto para a produção de biogás e metano em volume produzido por quilograma de massa fresca, com 12,8 L<sub>N</sub> de biogás por quilograma de biomassa. Ainda segundo o autor, considerando uma produção diária de 600 L de dejetos, a estimativa de produção de biogás da mistura com 8% foi de 7,7 Nm<sup>3</sup> e a do efluente bovino é de 6,8 Nm<sup>3</sup> (LINS, 2017).

Mase et al., (2018) desenvolveram um estudo para avaliar o aproveitamento da biomassa de *Egeria najas* Planch na produção de biocombustível sólido, líquido e gasoso por processo de termodegradação via pirólise rápida através da caracterização térmica, tendo como resultado a análise termogravimétrica da macrófita em perfil de termodegradação semelhante às principais matérias-primas já utilizadas nesse processo, como madeira (eucalipto e pinus) e bagaço de cana-de-açúcar, por exemplo.

A biomassa lignocelulósica dos aguapés também pode reaproveitada para produção de etanol de segunda geração, sendo necessária a conversão por meio químico ou biológico da celulose em glicose. Bronzato (2016) em sua busca por uma metodologia eficiente para produção de etanol 2G a partir da macrófita *Eichhornia crassipes*, encontrou em escala laboratorial entre diferentes processos químicos de pré-tratamento a hidrólise com ácido sulfúrico como sendo o mais eficiente e os processos de hidrólise enzimática e fermentação alcoólica simultâneas apresentando-se como de maior produtividade.

Conforme levantamento, em 1 hectare crescem 220kg de aguapé por dia, portanto em 1 ano há uma produção de 80 toneladas de *Eichhornia crassipes* (BRONZATO, 2016). Com essa taxa seria possível produzir, em 1 ano, aproximadamente 265L de etanol por cada hectare de aguapé presente nos corpos hídricos.

Ao compararmos o rendimento da produção de etanol a partir de diferentes matérias-primas, encontramos um rendimento etanol/biomassa de 130 L/t para o aguapé seco e a cana-de-açúcar, 100 L/t para beterraba e 350 L/t para milho (MACHADO; ABREU, 2006; ANDRIETTA, 2009; SOBRINHO, 2012 apud BRONZATO, 2016) .

Em seu experimento com duas lagoas de lemnas, Tonon (2016) também investigou a produção de gás metano em testes laboratoriais e avaliação da emissão e absorção de gases de efeito estufa (GEE) nas lagoas. Com a estimativa da fixação de CO<sub>2</sub> para as lagoas avaliadas, chegou-se em uma taxa média de 24,9 g.m<sup>-2</sup>.d<sup>-1</sup>, sendo esta cerca de 5 vezes maior do que a taxa de emissão. A digestão anaeróbia de lemna seca apresentou elevada produção específica de gás (SGP) e produção específica de metano (SMP) (0,32 Nm<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/kgSV e 0,19 Nm<sup>3</sup>CH<sub>4</sub>/kgSV, respectivamente). Como avaliação final o autor conclui que esta mostrou-se uma tecnologia eficaz ao integrar o tratamento de efluentes com as baixas emissões de GEE e produção de biomassa com possibilidade de valorização.

#### **2.4.5 Outros usos para a biomassa de macrófitas**

Alguns outros usos puderam ser encontrados para a valorização da biomassa das macrófitas aquáticas.

Pereira (2008) verificou quais seriam as vantagens competitivas da introdução do adobe, uma modalidade de tijolo, a partir de uma análise comparativa com outras tecnologias citadas na literatura, para adobe sendo produzido com macrófitas aquáticas (*Eichhornia crassipes* (aguapé), *Pistia stratiotes* (alface d'água) e *Bachiaria arrecta* (braquiária)) para aplicação na construção civil. A utilização deste tijolo em terra crua mostrou-se promissor para análise de aplicação na cidade de Palmas (TO), respondendo bem ao critério climático e a disponibilidade de biomassa a partir da Usina Hidrelétrica Luiz Eduardo Magalhães, conhecida por UHE Lajeado.

A eficácia do material composto por macrófitas na construção de residências mostrou-se como satisfatória em regiões de clima seco e úmido, uma vez que quando as paredes são espessas (40 a 50 cm) garantem a inércia térmica necessária para manter a temperatura interna

constante a níveis amenos. Foram destacados também benefícios como baixo custo energético para confecção, recurso renovável abundante, longevidade (não entrando em ciclo de degeneração), ausência de toxicidade e regulador higroscópico (PEREIRA, 2008). Porém, o uso desta tecnologia mostrou-se frágil a sismos (terremotos), alta retratibilidade, suscetível à inundações devido a permeabilidade e preconceito devido a possibilidade de proliferação do inseto causador da Doença de Chagas quando não feita a manutenção das estruturas (PEREIRA, 2008).

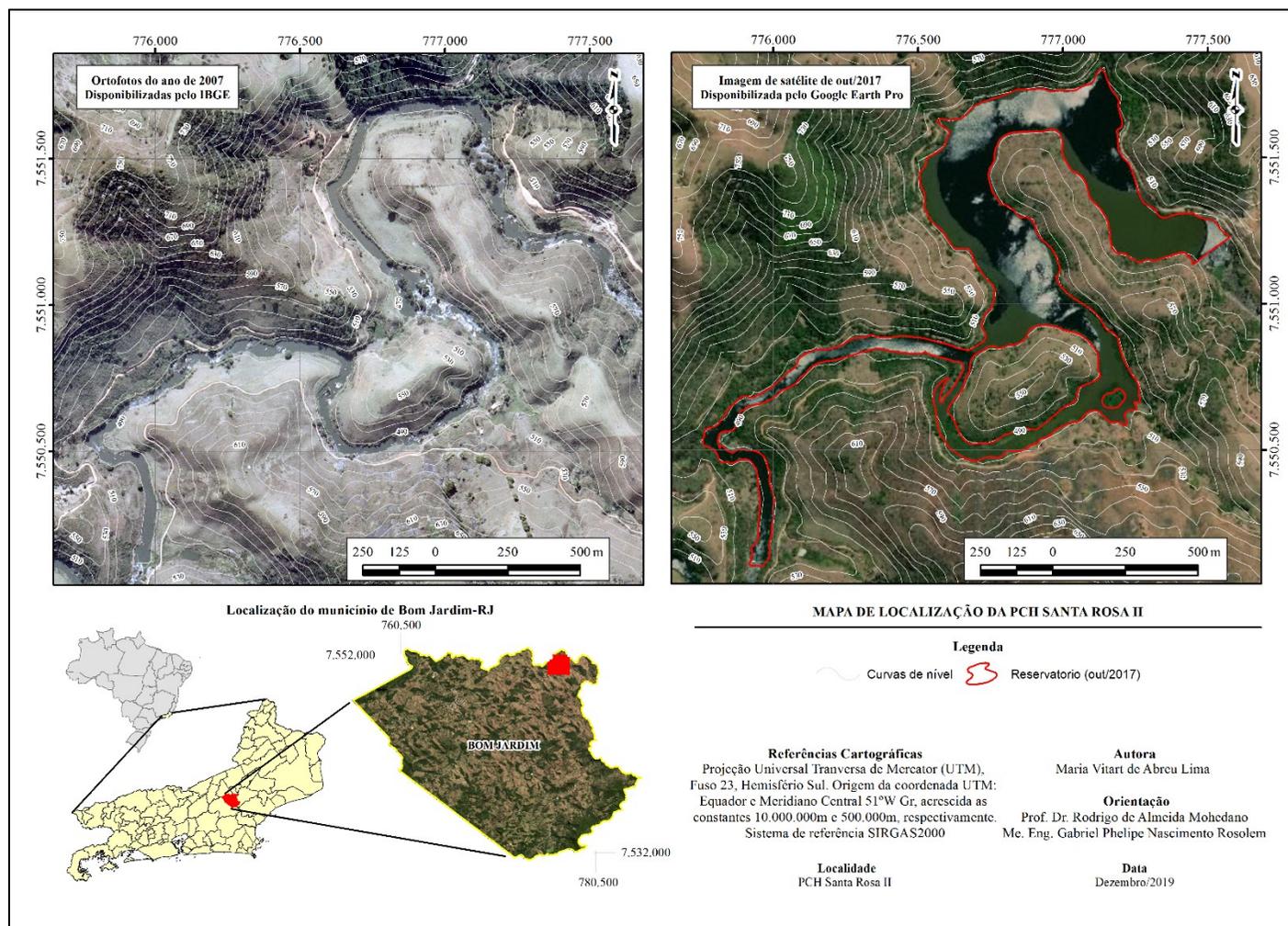
Um dos melhores resultados para adobe com macrófitas encontrados frente a tijolos cerâmicos comuns, tijolos alveolares queimados (baianos) foram com a *Eichhornia crassipes*. Nos ensaios de determinação da resistência à compressão os menores resultados obtidos foram de 1,89 MPa, logo 3,2 vezes superior ao resultado médio de tijolos cerâmicos comuns (0,59 Mpa), para um traço onde seja priorizado o uso do tijolo destinado à alvenaria autoportante, ou seja, com finalidade de vedação e estrutural (FARIA, 2002).

### 3 METODOLOGIA

#### 3.1 LOCALIZAÇÃO DO RESERVATÓRIO E ESTUDOS DE MONITORAMENTO

A Pequena Central Hidrelétrica (PCH) Santa Rosa II está localizada no rio Grande, afluente do rio Paraíba do Sul, pertencentes a Bacia do Rio Paraíba do Sul, entre os municípios de Bom Jardim e Cordeiro no Estado do Rio de Janeiro. As coordenadas geográficas do barramento são (UTM-23) E 777.526 m – N 7.551.180 m. Na Figura 1, é possível comparar a configuração espacial representada por imagem do período de pré-construção do reservatório, em ortofoto datada de 2007, e após construção no ano de 2017.

Figura 1- Mapa de Localização da PCH Santa Rosa II.



A casa de força do empreendimento possui capacidade instalada de 30 MW (17,1 MW de garantia física) e seu reservatório conta com área aproximada de 0,86 km<sup>2</sup> na cota máxima 494 m, sendo que a sua área de drenagem é de 979 km<sup>2</sup>. A capacidade total de armazenamento é de 6,95x10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>. Há reduzida oscilação do nível da água na maior parte do ano e o tempo de residência é de 10 horas, o qual é considerado baixo e auxilia na manutenção da renovação hídrica. A profundidade média é de 11,48 metros, sendo a máxima de 26,48 metros nas proximidades do barramento.

Ao longo dos dez anos de operação da PCH Santa Rosa II (2009-2019), foram feitas campanhas de monitoramento do ambiente aquático, entre outras, pelas duas empresas gestoras da PCH desde sua construção em forma de atendimento às condicionantes ambientais da Licença de Operação.

Entre as campanhas realizadas, ressalta-se o Monitoramento Limnológico e de Qualidade da Água e Sedimentos e Monitoramento e Controle da Proliferação de Macrófitas realizados desde 2008, logo compreendendo o período de pré-operação da PCH.

### 3.2 ANÁLISE TEMPORAL DA PRESENÇA DE MACRÓFITAS

Com o intuito de monitorar a dinâmica de crescimento macrófitas aquáticas no reservatório e a sua relação com os períodos chuvosos (novembro a abril) e secos (maio a outubro) será apresentada uma avaliação da capacidade do sensor MultiSpectral Instrument (MSI) a bordo do satélite Sentinel-2A e Sentinel-2B. Para tanto espera-se contribuir para o preenchimento de lacunas existentes entre as visitas mensais realizadas pela empresa Azurit quanto a proliferação dos bancos de macrófitas. Esta análise permitirá relacionar a dinâmica de ocupação das macrófitas aquáticas com os dados do índice de estado trófico para o reservatório da PCH Santa Rosa II.

#### 3.2.1 Banco de dados

Ao todo, seis imagens foram adquiridas no portal *Copernicus Open Access Hub* (<https://scihub.copernicus.eu/dhus/>) para o período entre 2017 e 2019, compreendendo os meses de março (2017, 2018 e 2019), agosto (2019) e setembro (2017 e 2018) tendo como

requisito a ausência ou pouca cobertura de nuvens (presença de até 10%). As imagens escolhidas foram as mais próximas das datas de campanhas de campo realizadas pela empresa responsável pelo monitoramento, bem como das datas de limpeza do reservatório.

### 3.2.2 Correção do efeito atmosférico e conversão de níveis digitais para refletância

O satélite Sentinel-2/MSI possui 13 faixas espectrais, com as bandas do espectro visível e infravermelho próximo com resolução espacial de 10 m (ESA, 2019). O processamento digital da imagem obtida pelo sensor foi realizado no aplicativo computacional *Sentinel Application Platform* (SNAP), no qual foi realizada a correção atmosférica (Figura 8, Anexos).

Esse aplicativo foi empregado para a etapa de pré-processamento dos dados, no qual os dados de entrada são as imagens adquiridas em refletância de topo da atmosfera (TOA), nível-1C, posteriormente submetidas a correção atmosférica utilizando a ferramenta Sen2Cor para se obter imagens com refletância de superfície *bottom of atmosphere* (BOA), nível -2A.

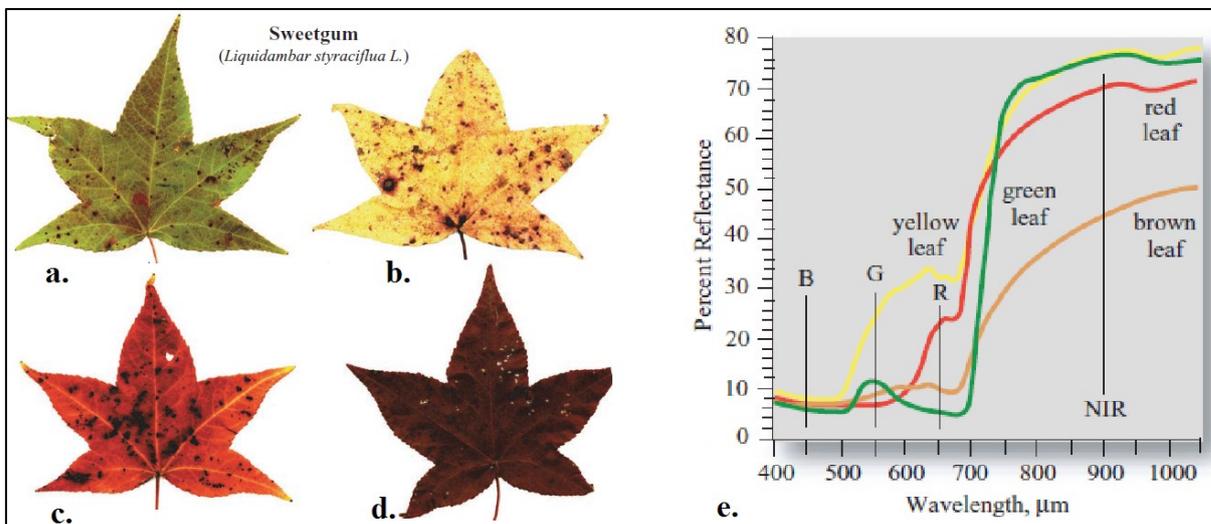
### 3.2.3 Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI)

A identificação das áreas de ocorrência de macrófitas foi realizada a partir da delimitação do perímetro alagadiço do reservatório, realizado por fotointerpretação das imagens de média resolução disponibilizados pelo software *Google Earth Pro* (05/09/2017) e imagem do próprio satélite Sentinel-2A (06/09/2017) como forma de subsidiar as análises seguintes.

A partir de dados multiespectrais advindos do sensoriamento remoto é possível analisar diversos aspectos relacionados a vegetação, como cobertura, crescimento, vigor e biomassa. Estas análises são realizadas principalmente por meio da interpretação das diferenças e mudanças na coloração das folhas bem como das características espectrais da comunidade vegetal (XUE; SU, 2017). Quanto mais verdes, nutridas, saudáveis e bem supridas do ponto de vista hídrico e nutricional for a planta, maior será a absorção do vermelho e maior será a refletância do infravermelho esperada (BARBOSA, 2017). A Figura 2 exemplifica esta interpretação para as folhas de liquidambar.

Figura 2 - a) Folha verde fotosintetizante de liquidambar obtidas da árvore; b e c) folhas em senescência amarela e vermelha, respectivamente, obtidas da árvore; d) folha em senescência

obtida do chão; e) Porcentagem de refletância no intervalo de 400 – 1050 μm obtidas por meio de um espectroradiômetro



Fonte:(JENSEN, 2011).

Uma das formas para realizar as análises da vegetação com o uso do sensoriamento remoto é através de índices, que são calculados por meio da álgebra de diferentes bandas captadas pelos sensores. Dentre os diversos índices disponíveis na literatura, um dos mais utilizados é o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), cujo cálculo é baseado na razão normalizada entre as bandas vermelha e infravermelha (XUE; SU, 2017).

Para realizar o cálculo do NDVI, foi utilizada a seguinte equação (ROUSE et al., 1974):

$$NDVI = \frac{(\rho(NIR) - \rho(Red))}{(\rho(NIR) + \rho(Red))}$$

Equação 1

Onde:

NDVI = índice de vegetação por diferença normalizada;

$\rho(Red)$  = fator de refletância bidirecional na banda do vermelho;

$\rho(NIR)$  = fator de refletância bidirecional na banda do infravermelho próximo.

No software ArcGIS 10.5, a Equação 1 foi utilizada aplicando a ferramenta álgebra de mapas, tendo como dados de entrada a Banda 4 (vermelho) e a Banda 8 (infravermelho próximo) de cada uma das imagens do Sentinel-2, nível 2-A, da etapa anterior. Os valores do índice variam entre -1 e 1, sendo que quanto menor o valor, maior a refletância do comprimento de onda vermelho e menor do infravermelho próximo.

As interpretações dos valores adotados para a classificação do NDVI tomam como base a identificação das classes de água, solo exposto, macrófitas e vegetação densa apresentados na literatura, conforme indicado na Tabela 2 e amostragem realizada sobre o NDVI calculado para imagem Sentinel 2-A de 06 de setembro de 2018 associado a fotointerpretação de imagem de satélite de média resolução presente no Google Earth Pro datada de 05 de setembro de 2018.

Tabela 2 - Intervalos de aplicação NDVI para Macrófitas com base na literatura

	Sensor	Água	Solo exposto	Macrófitas	
Lima et al. (2017)	Landsat 8	< 0	0 a 0,2	0,2 a 0,4	> 0,40
Rosa et al. (2018)	Landsat 8	<0,1	0,1 a 0,2	0,2 a 0,75	> 0,75
Tavares et al. (2019)	Sentinel-2	<0	-	0,75 a 0,9	

Segundo indicado por Lima et al.,(2017), valores de  $NDVI \leq 0$  são indicadores de água. Por sua vez, o solo exposto e plantas aquáticas sem função metabólica ou em estado de decomposição tem-se  $0 < NDVI \leq 0,2$ , para vegetação em estágio inicial de senescência tem-se  $0,2 < NDVI \leq 0,4$  e vegetação em pleno vigor na produção de clorofila tem-se  $NDVI > 0,4$ .

Já no estudo de Rosa et al.,(2018), foram aplicados os seguintes intervalos no mapeamento das macrófitas: água=  $NDVI < 0,1$ ; solo exposto= $0,10 < NDVI > 0,20$ ; Macrófitas M (com maior representatividade de macrófitas flutuantes com valores de NDVI médios como *Pistia stratiotes* e *Salvinia* sp.)= $0,20 < NDVI > 0,75$ ; Macrófitas A (com maior representatividade das macrófitas emersas, com altos valores de NDVI, vegetação mais densa) =  $NDVI > 0,75$ .

Para Tavares et al.,(2019), a ordenação em intervalos seguiu o valor da água= $NDVI < 0$ ; cobertura vegetal= $NDVI < 0,75$ ; presença de macrófitas=  $0,75 < NDVI < 0,9$  e vegetação densa= $NDVI > 0,9$ .

Destaca-se que o uso de valores médios de NDVI do sensor Landsat-8/OLI extrapolado para análise de imagens do sensor Sentinel-2 é válido, uma vez que o produto gerado pelos sensores apresentam forte correlação, conforme estudos que vem sendo realizados,

como o apresentado por Bezerra et al.,(2018), sendo indicado inclusive a característica de o Sentinel-2 permitir um maior delineamento dos alvos.

Após realizada a aplicação do modelo NDVI, fazendo uso ainda do *software* ArcGIS versão 10.5, as imagens NDVI foram reclassificadas empregando intervalos de valores apresentados na Tabela 3 e possibilitando na sequência a obtenção da área de cada classe calculada.

Tabela 3 - Intervalos de aplicação NDVI para a PCH Santa Rosa II

	Sensor	Água	Macrófitas em senescência	Macrófitas flutuantes	Outras macrófitas/ Vegetação densa
Autora (2019)	Sentinel-2	<0,20	0,20 a 0,40	0,40 a 0,80	>0,80

Nuvens, água e neve apresentam valores de reflectância maiores no visível do que no infravermelho, retornando com intervalos de NDVI negativos e próximos à zero (ESA, 2019). No entanto, conforme classificado na Tabela 3, o intervalo de NDVI<0,2 foi classificado como pertencente à categoria de água em razão da existência de fatores perturbadores e limitantes para a correta aplicação do NDVI.

No comparativo entre os períodos do primeiro e segundo semestre do ano, há variações no índice do NDVI para a água, entre valores negativos e positivos, os quais podem ser relacionados a existência de uma retração em sua área superficial (PASCHOAL; DA SILVA, 2010), associada aos períodos de seca, onde os solos e bordas que ficam expostos possuem valores positivos de NDVI. Este fator tem interferência direta com a classificação da categoria água, com isso, o resultado na imagem incluiu a ocorrência de valores positivos.

O desenvolvimento sazonal das áreas de macrófitas aquáticas (em m<sup>2</sup>) no reservatório pode ser analisado juntamente aos dados registrados para concentrações de clorofila-*a* e fósforo total, com objetivo de acompanhar o aumento ou decréscimo dos bancos de macrófitas.

### **3.2.4 Índices Pluviométricos da Região**

As informações pluviométricas mostram-se essenciais para a análise e compreensão da distribuição espacial da cobertura de macrófitas através do NDVI, uma vez que apresentam relação direta com a atividade fotossintética e produção de biomassa vegetal.

Desta forma, fora consultada a Normal Climatológica para a região onde está inserida a PCH Santa Rosa II, apresentando a estação mais próxima na cidade de Cordeiro/RJ (Código OMM 83718), onde está inserido o reservatório e cujo monitoramento é feito pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

Os índices pluviométricos para o ano de 2017, 2018 e 2019 tendo em vista a chuva acumulada mensal X chuva (Normal Climatológica 61-90), estão apresentados nas Figuras 9, 10 e 11 dos Anexos.

## **3.3 AVALIAÇÃO TEMPORAL E ESPACIAL DA POPULAÇÃO DE MACRÓFITAS**

Para avaliar a distribuição e produtividade da biomassa em determinado período foram utilizados relatórios semestrais, disponibilizados pela gestora do empreendimento, como forma de apresentar os resultados da execução do Programa de Gestão Ambiental (PGA) e subprograma de Monitoramento e Controle do Ecossistema Aquático ao Instituto Estadual do Ambiente do Rio de Janeiro (INEA).

### **3.3.1 Monitoramento e Controle da Proliferação de Macrófitas**

Seguindo o PGA, o monitoramento de macrófitas aquáticas no reservatório da PCH Santa Rosa II foi realizado de forma qualitativa e quantitativa, com uso de embarcação.

O monitoramento qualitativo foi realizado com frequência mensal (aqui apresentado semestralmente), visando a comparação da cobertura vegetal do reservatório e características de recobrimento ao longo do tempo. Já o monitoramento quantitativo foi feito através de coletas em seis pontos amostrais, dispostos sobre a margem e ao longo do espelho d'água do reservatório, variando de acordo com a movimentação dos bancos de macrófitas.

### 3.3.1.1 Monitoramento Qualitativo

O monitoramento qualitativo foi registrado mensalmente entre julho de 2017 e junho de 2019, através do registro fotográfico e notas tomadas após inspeções em campo. Na Tabela 4 estão relacionadas as principais informações registradas semestralmente ao longo do período de monitoramento.

Tabela 4 - Detalhes do monitoramento qualitativo

Período	Observação	Descrição
2ºSemestre/2017	Início da remoção mecânica de macrófitas em agosto e finalização das atividades em dezembro.	Em julho, praticamente todo o espelho d'água do reservatório encontrava-se recoberto por macrófitas. A distribuição das macrófitas predominava nas margens, na porção central do reservatório e no entorno da região de ilha (porção central do reservatório). Em dezembro registrou-se a persistência das macrófitas, mesmo após sua remoção.
1ºSemestre/2018	Instalação em junho do <i>log boom</i> (estrutura com grades e boias) para proteção da tomada d'água.	O espelho d'água do reservatório encontrava-se praticamente descoberto. A baixa incidência de macrófitas decorreu do aumento do nível do reservatório causado pelas fortes chuvas registradas na região no primeiro trimestre. No segundo trimestre registra-se o retorno dos bancos de macrófitas à deriva no espelho d'água e acúmulo nas margens.
2ºSemestre/2018	Retirada em outubro de macrófitas próximas ao vertedouro por remoção mecânica	Registros de bancos de macrófitas nas proximidades da tomada d'água, vertedouro e a jusante do barramento, no entorno da ilha e margens do reservatório.

Período	Observação	Descrição
1ºSemestre/2019	-	No primeiro trimestre o reservatório encontrava-se com baixa concentração de macrófitas aquáticas. De forma geral, a maior densidade de indivíduos estava presente na parte posterior à ilha. No mês de abril, notou-se a maior concentração de macrófitas aquáticas ao longo do reservatório, desde a sua limpeza, que ocorreu em agosto de 2017. A densidade era mais elevada nas proximidades do barramento, às margens do reservatório e ao sul da ilha formada pelo espelho d'água

Fonte: Elaborado pela autora com dados de AZURIT (2019).

### 3.3.1.2 Monitoramento Quantitativo

O monitoramento quantitativo se deu nos meses de julho e novembro de 2017, janeiro, abril, julho e dezembro de 2018 e março e junho de 2019, totalizando oito campanhas. Ainda de acordo com Azurit (2019), para a definição do peso seco das macrófitas aquáticas amostradas no reservatório, procedeu-se com a sua coleta, com auxílio de um amostrador (quadrat) de policloreto de vinila (PVC) de aproximadamente 33 cm x 33 cm (0,1 m<sup>2</sup>). O material coletado foi lavado no próprio reservatório para remoção de perifiton, macroinvertebrados, material orgânico e material inorgânico aderidos.

Na Tabela 5 estão registradas as densidades de macrófitas, em peso seco, para cada um dos seus pontos amostrais em cada campanha, bem como dados quanto a predominância de espécies.

Tabela 5 - Densidade de macrófitas por ponto amostral e predominância

Campanha	Ponto amostral	Densidade (gPS/m <sup>2</sup> )	Predomínio
Jul/2017	M01	971	<i>Salvinia sp.</i> (orelha de onça) e <i>Eichhornia sp.</i> (aguapé).

Campanha	Ponto amostral	Densidade (gPS/m <sup>2</sup> )	Predomínio
	M02	4.786	<i>Salvinia sp.</i> (orelha de onça) e <i>Eichhornia sp.</i> (aguapé).
	M03	376	<i>Salvinia sp.</i> (orelha de onça) e presença de <i>Pistia stratioides</i> (alface d'água).
	M04	396	<i>Salvinia sp.</i> (orelha de onça).
	M05	1.337	<i>Salvinia sp.</i> (orelha de onça) e <i>Eichhornia sp.</i> (aguapé).
	M06	1.321	<i>Salvinia sp.</i> (orelha de onça).
Nov/2017	M01	1.786	<i>Salvinia sp.</i> (orelha de onça).
	M02	646	<i>Salvinia sp.</i> (orelha de onça).
	M03	146	<i>Salvinia sp.</i> (orelha de onça).
	M04	2.054	<i>Salvinia sp.</i> (orelha de onça).
	M05	586	<i>Salvinia sp.</i> (orelha de onça).
	M06	276	<i>Salvinia sp.</i> (orelha de onça).
Jan/2018	R1	1.000	<i>Salvinia sp.</i> (orelha de onça) e <i>Eichhornia sp.</i> (aguapé).
	R2	5.000	<i>Eichhornia sp.</i> (aguapé) com indivíduos de <i>Salvinia sp.</i> (orelha de onça).
	R2	400	<i>Salvinia sp.</i> (orelha de onça).
	M06	10.000	<i>Salvinia sp.</i> (orelha de onça) com indivíduos de outras seis (6) espécies.
Abr/2018	MD	1.900	<i>Eichhornia sp.</i> (aguapé) com indivíduos de <i>Salvinia sp.</i> (orelha de onça).
	R2	580	<i>Salvinia sp.</i> (orelha de onça).
	M06	500	<i>Salvinia sp.</i> (orelha de onça) com indivíduos <i>Myriophyllum</i>

Campanha	Ponto amostral	Densidade (gPS/m <sup>2</sup> )	Predomínio
			<i>aquaticum</i> (pinheirinho) e <i>Pistia stratioides</i> (alface d'água)
Jul/2018	M02	850	<i>Salvinia sp.</i> (orelha de onça).
	M05	1.760	<i>Limnobium sp.</i> (camalotinho)
	M08	1.500	<i>Salvinia sp.</i> (orelha de onça) e <i>Eichhornia sp.</i> (aguapé).
	M06	1.370	<i>Limnobium sp.</i> (camalotinho)
	M07	1.543	<i>Salvinia sp.</i> (orelha de onça) e <i>Limnobium sp.</i> (camalotinho)
Dez/2018	M02	9.000	<i>Salvinia sp.</i> (orelha de onça).
	R2	8.000	<i>Salvinia sp.</i> (orelha de onça).
Mar/2019	R2	280	<i>Salvinia sp.</i> (orelha de onça).
	Ilha	1.380	<i>Eichhornia sp.</i> (aguapé) com indivíduos de <i>Salvinia sp.</i> (orelha de onça).
Jun/2019	P1	500	<i>Salvinia sp.</i> (orelha de onça) e <i>Pistia stratioides</i> (alface d'água)
	P2	530	<i>Salvinia sp.</i> (orelha de onça) e <i>Pistia stratioides</i> (alface d'água)
	P3	300	<i>Salvinia sp.</i> (orelha de onça) com indivíduos de <i>Pistia stratioides</i> (alface d'água)

Fonte: Elaborado pela autora com dados de (AZURIT, 2019).

Com finalidade comparativa, uma estimativa das densidades médias semestrais é apresentada na Tabela 6, tendo como base as densidades registradas na Tabela 5 entre as campanhas de 2017, 2018 e 2019 e com predominância da macrófita *Salvinia sp.* em todas as campanhas.

Destaque para os valores de densidades médias semestrais de 2018, tendo como média anual 3.749 gPS/m<sup>2</sup>, sendo este um dos períodos registrados para a remoção de macrófitas do reservatório, principalmente na região próxima ao barramento (Ponto Amostral M02). Esses dados, quando relacionados a análise temporal da presença de macrófitas, através do NDVI,

serviram de subsídio para o cálculo da estimativa da massa de macrófitas flutuantes presentes no reservatório, sobretudo *Salvinia sp.*

Tabela 6 - Densidade Média de Macrófitas Flutuantes (gPS/m<sup>2</sup>)

Período	Densidade Média (gPS/m <sup>2</sup> )
2º Semestre/2017	1.223
1º Semestre/2018	2.547
2º Semestre/2018	4.952
1º Semestre/2019	637

Fonte: Elaborado pela autora com dados de (AZURIT, 2019).

### 3.4 ANÁLISE LIMNOLÓGICA PARA AVALIAÇÃO DO NÍVEL TRÓFICO

Serão apresentados nos próximos tópicos um compilado das análises laboratoriais e de campo para o Programa de Gestão Ambiental (PGA) e subprograma de Monitoramento e Controle do Ecossistema Aquático, citados anteriormente. Os dados apresentados têm envolvimento direto ao manejo de macrófitas aquáticas presentes nos relatórios entre o período de 2017 e 2019. Nestes relatórios é feito o acompanhamento no âmbito ambiental desde a construção da PCH Santa Rosa II, através de programas de monitoramento e análise de parâmetros de qualidade da água e sedimentos, entre outros. Os relatórios contemplam também o histórico de monitoramentos anteriores.

#### 3.4.1 Monitoramento Limnológico e de Qualidade da Água e Sedimentos

No âmbito do PGA, o Programa de Monitoramento Limnológico e de Qualidade da Água e Sedimentos apresenta dados para o monitoramento das águas superficiais, metais pesados em água e sedimento. Visando o conhecimento sobre a presença de macrófitas no corpo hídrico será dada ênfase as campanhas de monitoramento das águas superficiais e seus desdobramentos para o manejo de macrófitas.

As campanhas de coleta de amostras de água no rio Grande, no trecho de inserção da PCH Santa Rosa II, foram realizadas pela empresa Azurit, nos dias 25 de julho e 23 de

novembro de 2017, nos dias 24 de janeiro, 26 de abril, 29 de agosto e 11 de dezembro de 2018 e a última em 28 de março de 2019, contemplando assim tanto o período de estiagem das chuvas quanto o período chuvoso. Para a análise dos parâmetros físico-químicos, bacteriológicos e biológicos foram amostrados seis diferentes pontos, distribuídos ao longo do rio Grande, conforme Tabela 7.

Tabela 7 - Pontos amostrais para coleta de água

Ponto amostral	Coordenadas UTM		Descrição
	fuso 23K datum		
	SIRGAS 2000		
	(mE)	(mN)	
R1	775.811	7.550.545	Porção final do reservatório, em trecho com presença de vegetação nativa nas margens do corpo hídrico
R2	776.890	7.550.976	Porção média do reservatório, em trecho com predominância de pastagem nas margens do corpo hídrico. Local com forte presença de macrófitas aquática no período monitorado
R4	777.411	7.551.227	Porção inicial do reservatório, próximo ao barramento, em trecho com presença de vegetação nativa em parte das margens do corpo hídrico. Local com forte presença de macrófitas aquática no período monitorado
J1	777.726	7.550.939	Trecho de vazão reduzida, com leito rochoso. Presença de vegetação nativa em ambas as margens, porém mais densa na margem direita
J2	780.784	7.554.070	Trecho de vazão restituída, localizada após a casa de força. Margens desprovidas de vegetação nativa
J3	782.080	7.551.126	Trecho de vazão reduzida, após tributário do rio Grande, com presença de pastagem na margem direita e vegetação nativa na margem esquerda.

Fonte: (AZURIT, 2019).

De acordo com o relatório apresentado ao órgão ambiental, para cada um dos seis pontos amostrais, foram analisados 26 parâmetros físico-químicos, além de parâmetros bacteriológicos e hidrobiológicos.

A análise dos parâmetros Condutividade Elétrica, Oxigênio Dissolvido, Temperatura da Água e pH foi realizada em campo com uma sonda multiparâmetros no momento da coleta das amostras. Para os parâmetros não aferidos diretamente, foram coletadas amostras, sendo estas acondicionadas em recipientes apropriados, preservadas e encaminhadas a laboratório especializado para análise detalhada e emissão dos relatórios de ensaio. As metodologias adotadas para as análises físico-químicas, bacteriológicas e biológicas, seguiram as recomendações propostas por Eaton *et al.* (2005) no *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (AZURIT, 2019).

Os resultados obtidos nas campanhas amostrais realizadas demonstram que 4 (quatro) parâmetros físico-químicos analisados, oxigênio dissolvido, DBO, fósforo total e fenóis, estavam em desconformidade com a Resolução CONAMA nº 357/2005 (BRASIL, 2005), que define os padrões de qualidade das águas enquadradas como Classe 2. Os resultados completos estão presentes na seção de Anexos, de maneira complementar a este documento.

Cabe ressaltar, que a presença conjunta de nitrogênio e fósforo em demasia contribuem para o enriquecimento do meio aquático, tornando-o mais fértil e possibilitando o crescimento em maior intensidade das macrófitas, trazendo à tona a importância de monitoramento destes parâmetros para o manejo de macrófitas aquáticas.

#### 3.4.1.1 *Índice de Estado Trófico (IET)*

Como forma de classificar o estado trófico dos pontos amostrais e seu efeito na qualidade da água, fora recalculado o Índice de Estado Trófico (IET) apresentado nos relatórios de 2017, 2018 e 2019, devido a possibilidade de um equívoco com conversão de unidades. Ressalta-se a característica de complementariedade deste índice ao monitoramento das águas superficiais, não afetando aos resultados obtidos em laboratório e conclusão final das análises globais dos relatórios protocolados do Programa de Gestão Ambiental (PGA).

O cálculo seguiu conforme metodologia proposta pela Agência Nacional de Águas (ANA, 2015), usando como fonte de dados os resultados obtidos nas campanhas mencionadas, entre 2017 e 2019, para fósforo (IET (PT)) e clorofila-*a* (IET (CL)). Foram utilizadas as médias geométricas das concentrações de fósforo total e clorofila-*a* para cálculo dos respectivos índices de estado trófico, com base nos dados registrados por campanha.

O cálculo desde índices foi feito para o ambiente amostral de um reservatório, conforme expresso nas equações 2 e 3.

$IET (PT) = 10 x \frac{6 - (1,77 - 0,42x(\ln PT))}{\ln 2}$	Equação 2
$IET (CL) = 10 x \frac{6 - (0,92 - 0,34x(\ln CL))}{\ln 2}$	Equação 3

Onde:

PT = concentração de fósforo total, em  $\mu\text{g L}^{-1}$ ;

CL = concentração de clorofila-*a*, em  $\mu\text{g L}^{-1}$ ;

ln = logaritmo natural.

Após a obtenção destes resultados, para obter o IET Total é necessário o cálculo da média aritmética simples dos índices calculados, seguindo a Equação 4.

$IET = \frac{IET (PT) + IET (CL)}{2}$	Equação 4
---------------------------------------	-----------

Onde:

IET (PT) = é o índice de estado trófico determinado para o fósforo total;

IET (CL) = é o índice de estado trófico determinado para a clorofila-*a*.

A classificação do ambiente aquático quanto ao IET é dada em seis graus de trofia. Para reservatórios tem-se: ultraoligotrófico ( $IET \leq 47$ ), oligotrófico ( $47 < IET \leq 52$ ), mesotrófico ( $52 < IET \leq 59$ ), eutrófico ( $59 < IET \leq 63$ ), supereutrófico ( $63 < IET \leq 67$ ) e hipereutrófico ( $IET > 67$ ) (ANA, 2015).

### 3.5 POTENCIAL DAS MACRÓFITAS PARA REMOÇÃO DE METAIS E NUTRIENTES

#### 3.5.1 Potencial de Fitorremediação

Sabendo do grande potencial das macrófitas para indicador biológico de qualidade das águas, tendo em vista sua capacidade para degradar, extrair, conter ou imobilizar contaminantes em solos e águas, como metais traço (ex: Cr, Cu, Ni, Pb, V e Zn) e nutrientes, além de apresentar-se como tecnologia de baixo custo.

Com vistas a valorização e aproveitamento local das macrófitas fora averiguada a qualidade do curso hídrico do reservatório quanto a presença de metais pesados em água e sedimentos, através da análise sistemática dos relatórios de acompanhamento encaminhados aos órgãos ambientais entre 2017 e 2019. Os parâmetros analisados para metais pesados foram, entre outros, concentração de cádmio, chumbo, cobre, cromo, ferro, manganês, mercúrio, níquel e cromo para a água e sedimentos.

Conforme salientado por Azurit (2019), entre os metais avaliados na coluna d'água, apenas Ferro Total e Manganês Total foram detectados. Em novembro de 2017, o parâmetro Manganês Total foi registrado acima do limite máximo estabelecido pela Resolução CONAMA nº 357/2005 (BRASIL, 2005), cujo valor é igual a 0,1 mg/l, apresentando concentração igual a 0,12 mg/l em ponto amostral dentro do reservatório e 0,11 mg/l em ponto a jusante. Estes mesmos parâmetros apresentaram concentrações abaixo do limite de detecção em dezembro de 2018. Todos os demais parâmetros, tanto em novembro de 2017 quanto em dezembro de 2018, foram registrados em concentração inferior ao limite de quantificação dos métodos analíticos, seguindo as recomendações do *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*.

### **3.5.2 Potencial de Fitodepuração**

Com o registro de desconformidade nas campanhas realizadas em 2017 até abril de 2018 para o parâmetro Fósforo Total, bem como a classificação do estado trófico do ambiente, torna-se de suma importância o conhecimento sob a capacidade do meio em extrair este elemento e sua ligação com o desenvolvimento acelerado das macrófitas aquáticas.

Conforme abordado no tópico 3.3.1.2 Monitoramento Quantitativo, fora observada a predominância de macrófitas aquáticas do tipo *Salvinia* sp. (orelha de onça), seguida por *Eichhornia* sp. (aguapé) entre os anos de 2017 e 2019.

Para tanto, será apresentada uma investigação do potencial de fitodepuração a partir da biomassa seca das macrófitas predominantes e seu indicativo de absorção de nutrientes, como fósforo e nitrogênio, obtidos através da literatura. Também foram investigadas a partir da literatura a produtividade de biomassa das espécies citadas.

Para a realização da pesquisa foram utilizadas as bases de dados Scopus, Science Direct e Google Acadêmico, banco de teses e dissertações, sites de órgãos reguladores, livros e leis. O recorte temporal abrangeu o período ente 1981 a 2019.

Foram utilizadas as seguintes palavras-chave em inglês para a recuperação de dados: "bioremediation", "phytodepuration", "phosphorus and nitrogen absorption potential" e "biomass productivity", todos aplicados em conjunto aos termos *Salvinia* sp e *Eichhornia* sp. Os resultados obtidos foram submetidos sistematicamente à análise de dados, na qual foram excluídas teses (doutorado e mestrado), textos de livros, repetições, artigos científicos com acesso indisponível ou restritos (pagos).

Sendo parte da pesquisa a verificação de quantos artigos científicos fazem parte, simultaneamente, das coleções citadas. Não houve restrição da língua na seleção de artigos. A qualidade dos artigos científicos foi verificada através da pertinência do resumo do artigo, em relação a sua conexão com os temas de fitodepuração e absorção de nutrientes (P e N), crescimento e potencial de produção de biomassa por macrófitas do gênero *Salvinia* sp e *Eichhornia* sp.

### 3.6 VALORIZAÇÃO DA BIOMASSA

De maneira a adaptar as possibilidades de valorização da biomassa ao cenário local e a presença da macrófita predominante, *Salvinia* sp. (orelha-de-onça), são indicados métodos para valorização com base na literatura e dados registrados sobretudo ao período anual de 2018, em razão da disponibilidade de dados de densidade média anual (gPS/m<sup>2</sup>) e por este representar um dos períodos de bloom de macrófitas no reservatório.

#### 3.6.1 Suplemento para ração animal

Na alimentação animal, dois componentes que devem ser levados em consideração são a constituição proteica e a fração fibrosa. Os autores trazem a informação da literatura de que esses componentes no capim marandu e *Urochloa decumbens*, com uso amplo na alimentação

animal, apresentam valores médios encontrados para a composição centesimal de 12,52 e 8,78% de proteína e 61,6 e 68,63% de fração da parede celular (fibras) (ANTONELO et al., 2019).

Nesta linha, indica-se o levantamento bibliográfico para os dados de constituição proteica e da parede celular, especialmente para a macrófita *Salvinia sp.*, para avaliação quanto ao seu potencial para uso na ração de animais.

### **3.6.2 Fertilizante Orgânico**

A ausência de nitrogênio é considerada um dos gargalos para a expansão da agricultura orgânica. Visando suprir a demanda desse nutriente, os agricultores muitas vezes utilizam de resíduos agrossilvipastoris, os quais apresentam cerca de 3% de N, valor este adequado para uso como fertilizante orgânico. No entanto, a falta de padronização deste percentual, além de problemas relacionados a contaminantes químicos e biológicos, limita o seu uso (EMBRAPA,2018).

Visando a possibilidade de incorporação de nutrientes ao solo e de aumento da produção agrícola local, fora investigado com base na literatura o teor de Nitrogênio Total em % de Peso Seco encontrado para *Salvinia sp.* permitindo uma comparação com alguns dos principais fertilizantes utilizados.

Para qualquer adubação se faz necessário o conhecimento prévio da possibilidade de incorporação ao solo de elementos indesejados, como alguns metais pesados. A exemplo desses metais, o cádmio pode representar riscos à saúde da planta, uma vez que está associado a geração de distúrbios metabólicos graves (FAO, 2004). Para tanto, foram analisados os relatórios do âmbito do PGA para a PCH como forma de identificação de sua presença no reservatório, impossibilitando o uso das macrófitas flutuantes para usos específicos, como uso em ração animal ou biofertilizantes para plantas.

### **3.6.3 Biocombustível (Biogás)**

A partir do estudo desenvolvido por Lins (2017) para avaliação da produção de biogás em codigestão anaeróbia com a macrófita *Salvinia sp.* e resíduos da atividade de produção de

leite, obtendo resultados da produção volumétrica de biogás e metano em função da massa de sólidos voláteis, a partir das misturas realizadas com a macrófitas na forma in natura e desidratada de 6, 7, 8 e 9%, foram de 286 e 197, 250 e 178, 234 e 162 e, 203 e 143 LN.kgSV<sup>-1</sup>, respectivamente (LINS, 2017).

O valor adotado como estimado para produção volumétrica de Biogás foi de 210 LN.kgSV<sup>-1</sup>, já para a produção volumétrica de metano 150 LN.kgSV<sup>-1</sup>, valores estes pertencentes ao intervalo dos resultados encontrados por Lins (2017). Estes valores foram utilizados para estimativa de produção de biogás e metano, com base na massa total de macrófitas estimada para o reservatório no período de 2018/2, sendo esta de 1.184t.

Para o cálculo do poder calorífico, fora utilizado o melhor resultado encontrado por Lins (2017), sendo este de 5.237 kcal.m<sup>-3</sup>, encontrados com a mistura de 8% de macrófitas, aplicando este valor para o cálculo do poder calorífico total kcal.m<sup>-3</sup> que poderia ser gerado na produção de biogás a partir da massa retirada do reservatório (3.360 m<sup>3</sup>) no mês de Outubro em campanha de limpeza.

#### **3.6.4 Fitodepuração (Fitoextração e N e P)**

Conforme abordado na seção 3.5 Potencial das Macrófitas para Remoção de Metais e Nutrientes fora realizada uma revisão bibliográfica para o teor de NT e PT (g/kg e g/m<sup>2</sup>) obtidos por diferentes pesquisadores em ambientes lênticos.

Tendo ligação direta com a qualidade da água do reservatório e servindo como parâmetro bioindicador, o conhecimento sobre a remoção esperada de nitrogênio e fósforo para a massa de macrófitas presentes no reservatório serve como um fator decisivo na tomada de decisão para aproveitamento de macrófitas aquáticas em consórcio com a atividade de fitodepuração do meio.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

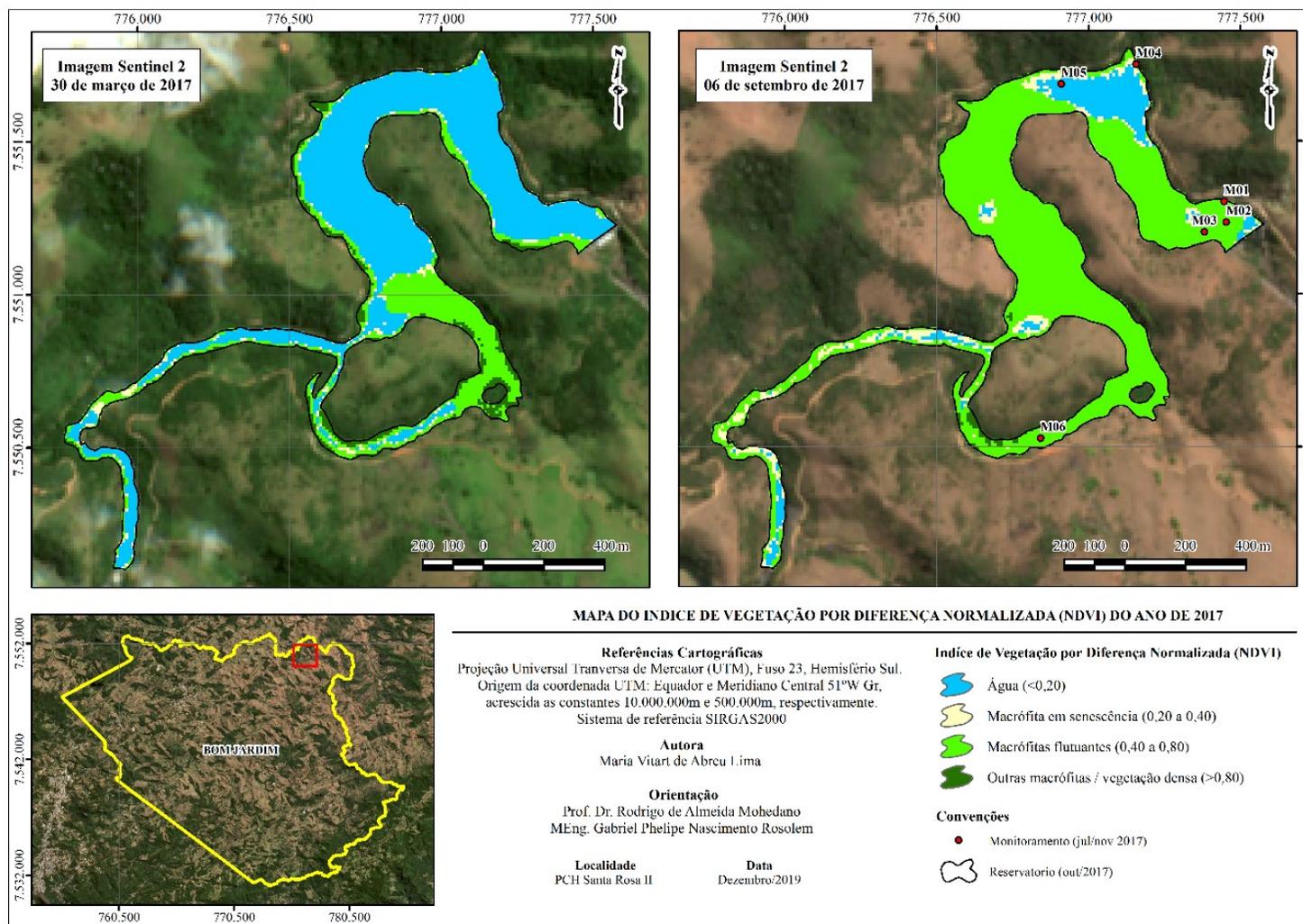
### 4.1 DINÂMICA DE CRESCIMENTO DAS MACRÓFITAS AQUÁTICAS

Entre 25 de julho e 23 de agosto de 2017 foram removidos 3.455 m<sup>3</sup> de macrófitas e material flutuante, suficiente para carregar 691 caminhões (capacidade para 5m<sup>3</sup>/caminhão) (AZURIT, 2019).

As imagens da Figura 3, Figura 4 e Figura 5 representam o resultado da aplicação do método NDVI. O uso do NDVI permitiu a identificação de bancos de macrófitas em estado de senescência ( $0,2 < NDV < 0,4$ ), macrófitas flutuantes ( $0,4 < NDV < 0,8$ ) e um misto de outras macrófitas (não identificadas) e vegetação densa ( $NDVI > 0,8$ ) distinguindo sua ocupação em diferentes períodos, de seca e de chuva, para os períodos analisados entre 2017, 2018 e 2019.

A ocupação total de macrófitas aquáticas pertencentes a categoria de classificação de macrófitas aquáticas flutuantes, identificadas na Figura 3 referente ao período de Março (2017) foi de 13,19 ha, já para Setembro (2017) houve um aumento considerável ocasionando em 42,15 ha identificados. O segundo semestre de 2017 foi marcado pelo acúmulo de macrófitas registrado em toda a extensão do reservatório, mesmo com a retirada mecânica efetuada em julho/agosto e o final do período de seca a presença das macrófitas manteve-se alta.

Figura 3 - Representação do NDVI no reservatório da PCH Santa Rosa II em 2017

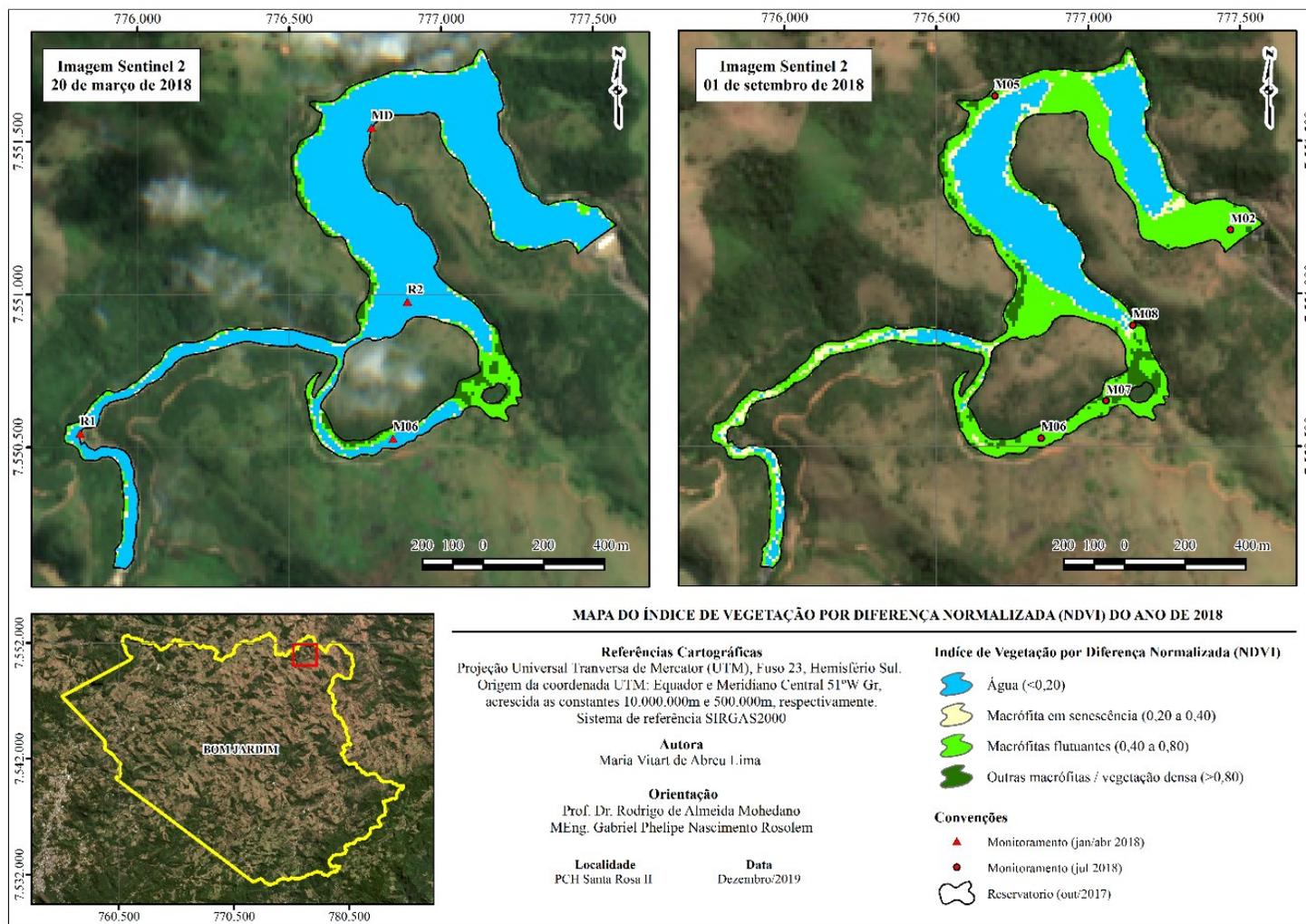


Entre o dia 03 e 24 de outubro de 2018 foram removidos da superfície do reservatório, próximo ao barramento, 3.360 m<sup>3</sup> de macrófitas e material flutuante (2.400 m<sup>3</sup> acrescidos de 40%) suficiente para carregar 672 caminhões (capacidade para 5m<sup>3</sup>/caminhão) (AZURIT, 2019).

Em 2018, a ocupação total de macrófitas flutuantes identificadas na Figura 4 referente ao período de Março foi de 6,57 ha já para Setembro 23,9 ha foram identificados. O primeiro semestre de 2018 apresentou um elevado índice pluviométrico entre os meses de janeiro e abril, motivo este que pode ter relação com a baixa densidade de macrófitas em razão da renovação e movimento da água no reservatório, além da consequente diluição de fósforo e demais nutrientes.

Comparado ao mesmo período de 2017, o segundo semestre de 2018 apresentou um elevado índice pluviométrico, influenciando na redução do acúmulo de macrófitas. Porém, devido à grande presença das macrófitas na região do barramento, foi necessária sua retirada, conforme registrado.

Figura 4 – Representação do NDVI no reservatório da PCH Santa Rosa II em 2018

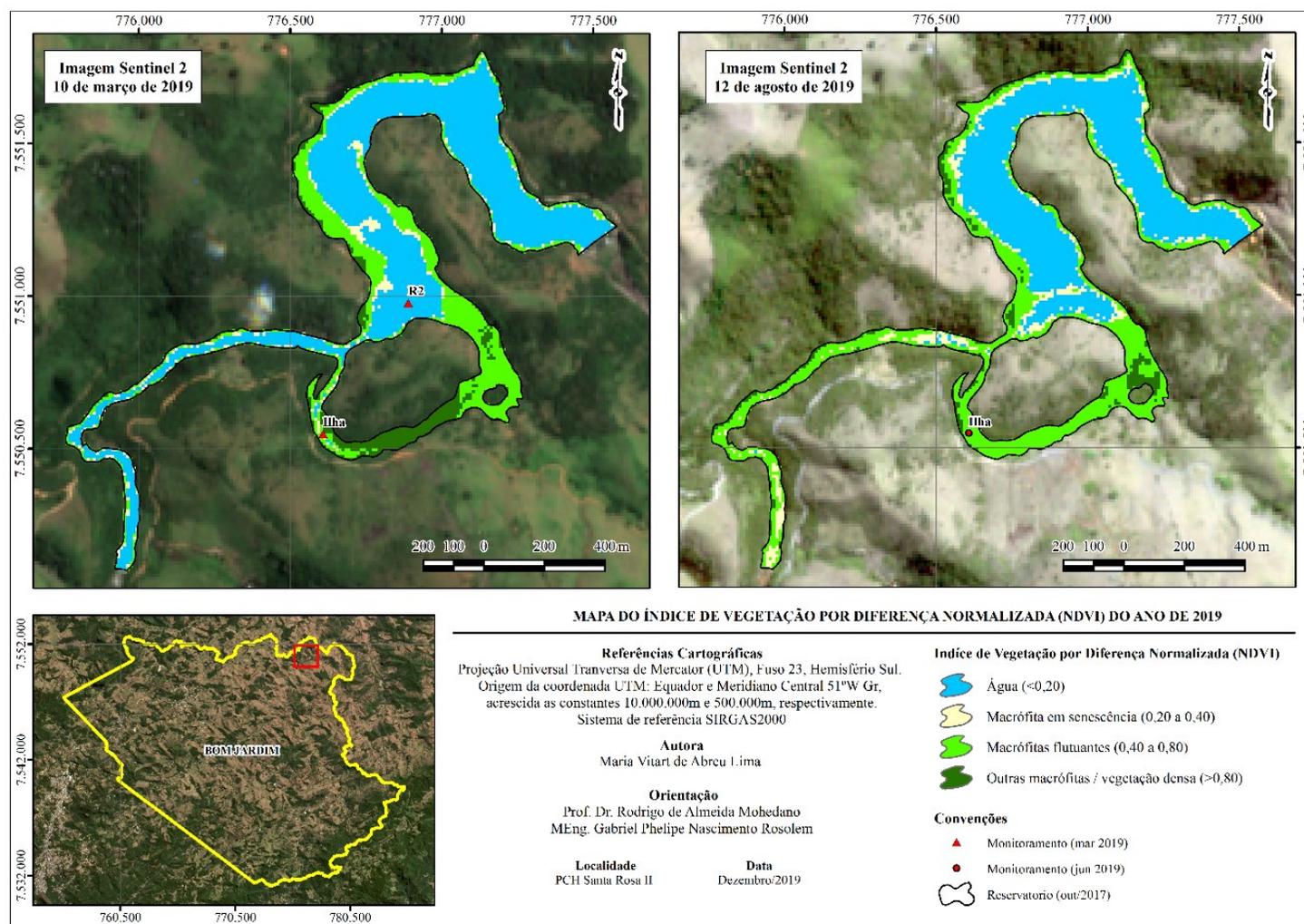


Para o segundo período de 2019 não há citação do georreferenciamento dos pontos P1, P2 e P3, apenas do ponto Ilha, porém este ponto não apresenta dados registrados para monitoramento qualitativo.

A presença das macrófitas flutuantes no primeiro semestre de 2019 pode ser percebida com o aumento de sua ocupação, 14,37 ha, quando comparada aos anos anteriores, principalmente na região das margens, conforme Figura 5.

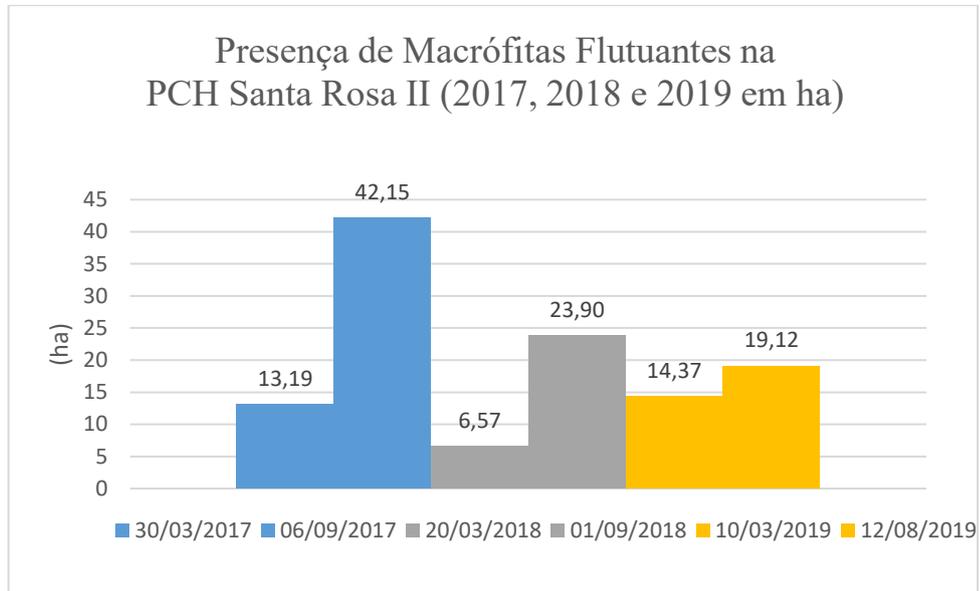
Já para o segundo semestre de 2019, observa-se também na Figura 5 uma redução da ocupação de macrófitas, em relação aos anos anteriores, com cerca de 19,12 ha, localizados sobretudo a montante do reservatório e próximo da região de Ilha.

Figura 5 - Representação do NDVI no reservatório da PCH Santa Rosa II em 2019



Por fim, a Figura 6 traz uma comparação gráfica da dinâmica de crescimento das macrófitas aquáticas para o período analisado.

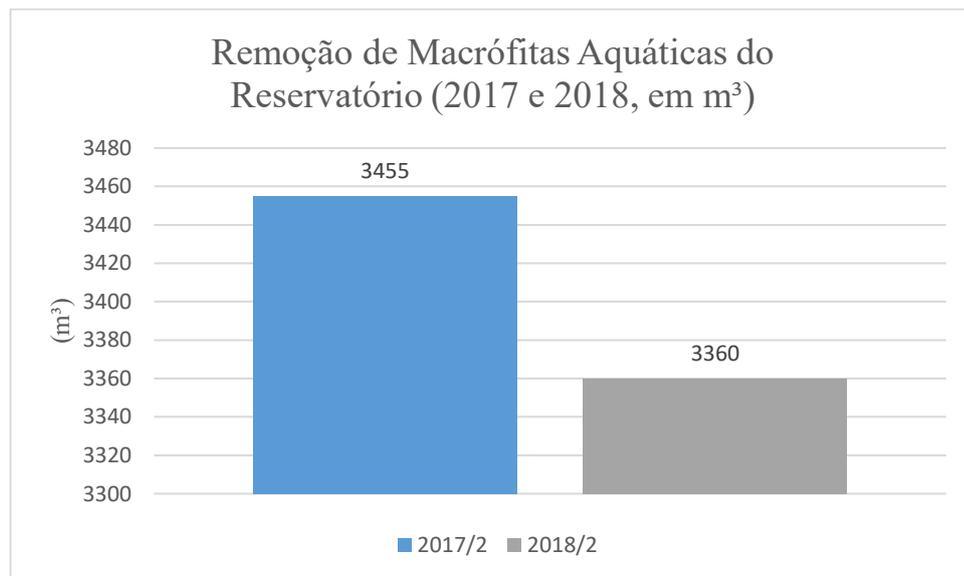
Figura 6 - Dinâmica de crescimento de macrófitas flutuantes



Fonte: Elaborado pela autora com dados de AZURIT (2019).

Já os dados das campanhas para limpeza e remoção de macrófitas da PCH Santa Rosa II podem ser identificados na Figura 7.

Figura 7 - Dados de remoção de macrófitas aquáticas



Fonte: Elaborado pela autora com dados de AZURIT (2019).

A partir da análise da série histórica de imagens, verifica-se que nos meses de março houve melhor delimitação da classe água no reservatório, sobretudo no trecho do rio a montante do reservatório e na área anterior da ilha. Tal fato pode estar atrelado ao rio estar com um maior volume de água, reduzindo as áreas na margem com o leito exposto e/ou com vegetação dentro da delimitação do reservatório proposta.

Ainda cabe destacar que a refletância contida em cada pixel da imagem das bandas do visível e infravermelho próximo do satélite Sentinel-2 são médias da refletância dos alvos contido em uma área de 10 por 10m, 100 m<sup>2</sup>, ou a feição que apresenta maior refletância no terreno, ou seja, locais com elevada heterogeneidade e/ou com alvos menores que 10m tendem a ter pixels de mistura.

Assim, aponta-se que a maior incidência de pixels de mistura podem estar ocorrendo nas imagens de setembro e agosto, quando o reservatório está mais baixo devido ao período de menor precipitação, no trecho do rio a montante do lago do reservatório e na parte anterior da ilha. Por esse motivo, indica-se que a classe de macrófitas em senescência e flutuantes pode estar sendo superestimadas no segundo semestre, uma vez que por análise visual da imagem em composição falsa cor verifica-se uma porcentagem maior de água. Contudo, a classificação contida no lago está com grande correlação, principalmente para o intervalo entre  $0,40 < NDVI < 0,80$ , o qual mostrou-se bem definido, sobretudo para a presença marcante da macrófita *Salvinia auriculata*, validada através de comparação com pontos amostrais e imagens de campanhas de campo.

## 4.2 ESTADO TRÓFICO DO RESERVATÓRIO

Seguindo a metodologia de cálculo do IET proposta pela ANA (2015) e dados de clorofila-*a* e fósforo total disponibilizados aos órgãos ambientais através do Programa de Gestão Ambiental (PGA) chegou-se à classificação do corpo d'água do reservatório em estado de hipereutrofia, conforme Tabela 8 . Este resultado difere dos resultados apresentados nos relatórios da empresa responsável pela elaboração do PGA. Uma das razões levantadas para esta diferenciação poderia estar relacionada a erros de conversão de unidades para aplicação da metodologia do IET.

Tabela 8 - Valores do Índice de Estado Trófico (IET) para o rio Grande, no trecho de inserção da PCH

Período	IET (CL)	IET (PT)	IET	Classe de Estado Trófico
2ºSemestre/2017	79	92	85	Hipereutrófico
1ºSemestre/2018	79	87	83	Hipereutrófico
2ºSemestre/2018	79	88	83	Hipereutrófico
1ºSemestre/2019	79	88	83	Hipereutrófico

Fonte: Elaborado pela autora com dados de AZURIT (2019).

Esta classificação segundo ANA (2015), relaciona-se a corpos d'água afetados significativamente pelas elevadas concentrações de matéria orgânica e nutrientes, com comprometimento acentuado nos seus usos, associado a episódios de florações de algas ou mortandades de peixes, com consequências indesejáveis para seus múltiplos usos, inclusive sobre as atividades pecuárias nas regiões ribeirinhas.

Os valores detectados de clorofila-a permaneceram  $<3,00 \mu\text{g/L}$ , em conformidade com a legislação vigente e classe de enquadramento (Padrão Classe 2), sendo limitado a  $30 \mu\text{g/L}$ . Entretanto, o parâmetro fósforo total apresentou períodos de desconformidade  $>0,03 \text{ mg/l}$ , sobretudo nos meses de jul/2017 (valor máximo  $0,19 \text{ mg/l}$  no ponto "R4"), nov/2017 (valor máximo  $0,22 \text{ mg/l}$  no ponto "J2") e abr/2018 (valor máximo  $0,12 \text{ mg/l}$  no ponto "J1"), citados na seção 3.4.1 Monitoramento Limnológico e de Qualidade da Água e Sedimentos .

A maior ocupação registrada por macrófitas aquáticas no reservatório foi observada no segundo semestre de 2017 e 2018. Concomitantemente, em 2017 foram registrados os maiores valores para concentração de fósforo total presentes no curso d'água e o mantimento dos valores detectáveis  $<0,08 \text{ mg/l}$  ao longo de 2018, porém ainda acima do permitido, podendo inferir sua relação direta com a disponibilidade de nutrientes no curso hídrico e o crescimento da vegetação de macrófitas.

O rio Grande recebe elevada carga de efluentes domésticos na região à montante do reservatório na qual estão inseridos centros urbanos, com destaque para Nova Friburgo e Bom Jardim (IBGE,2010 apud AZURIT, 2019). O maior afluente do referido corpo d'água é o rio Bengala, o qual atravessa a área central do primeiro município citado, onde residem 182.082 habitantes. Em Bom Jardim esse montante é de 25.398 habitantes

Com localização na mesma bacia hidrográfica e considerado um dos maiores municípios da região serrana, Nova Friburgo (distante cerca de 25 km de Bom Jardim), demonstra deficiência em saneamento básico, onde cerca de 12,5% da população não tem acesso a água e cerca de 16,8% não conta com o serviço de coleta de esgoto para suas residências (SNIS, 2017).

Esta entrada de carga pontual derivada de efluentes domésticos da região, aliada a presença de cargas difusas como resíduos provenientes da agricultura, tais como fertilizantes, herbicidas, inseticidas e fungicidas, entre outros, podem ser apontados como protagonistas para o acúmulo de nutrientes e responsáveis pelo processo de degradação de rios, lagos e reservatórios.

#### 4.3 ABSORÇÃO DE NUTRIENTES, FÓSFORO E NITROGÊNIO

A partir da aplicação do método de pesquisa e seleção nas bases de dados, foram obtidos ao total 150 artigos, teses ou pesquisas científicas no Scopus, Science Direct e Google Acadêmico.

Sobre a pertinência dos artigos em relação ao tema escolhido, dos 150 artigos encontrados, 24 (16%) foram considerados pertinentes. Os resultados encontrados estão apresentados nas tabelas abaixo.

Tabela 9 - Teor em nutrientes (PT e NT) da *Salvinia sp*

Nt	Pt	Unidade	Observação	Fonte
27,90	1,14	g/kg	Lago do Campus Carreiros da FURG, Rio Grande (RS)	TRINDADE, 2008
	6,07	g/kg	Efluente de ETE de Montalvão, Presidente Prudente (SP)	VIEIRA et al., 2017
35,39	2,55	g/kg	Experimento 1, Água residuária, Botucatu (SP)	COELHO, 2017
33,93	3,06	g/kg	Experimento 2, Água residuária, Botucatu (SP)	COELHO, 2017
22,30	2,40	g/kg	Reservatório de Santana, Piraí (RJ), entre 2015 e 2018	PITELLI et al., 2018
3,03	0,31	g/m <sup>2</sup>	Efluente de carnicultura na UNESP, Jaboticabal (SP)	HENARES, 2008
17,00	6,50	g/m <sup>2</sup>	Reservatório de Jurumirim, São Paulo (SP)	COSTA, 2010

A partir do valor médio do teor dos nutrientes da *Salvinia sp.*, para nitrogênio total (10,02 g/m<sup>2</sup>) e fósforo total (3,41 g/m<sup>2</sup>) citado na literatura e os períodos de maior bloom de macrófitas (2017 e 2018), levantados na seção 4.1 Dinâmica de Crescimento das Macrófitas Aquáticas, com predominância marcante de *Salvinia sp.*, esta haveria em sua composição 2.771,2 e 1525,8 kg de N e 942,2 e 518,8 kg de P, respectivamente.

Tomando como base a densidade média da *Salvinia sp.*, Tabela 6, compreendendo períodos de seca e chuva, no ano de 2018 como 3.749 gPS/m<sup>2</sup> e o valor médio total em área estimado para o mesmo período através do uso da metodologia NDVI, 15,23 ha/ano, estima-se que a taxa total produzida no ano de 2018 seria de 44,3 t/ha/ano, valor este superior ao encontrado por REDDY e DEBUSK,1987 (Tabela 10) em corpos hídricos localizados em clima tropical do sul e centro da Flórida (Estados Unidos), razão esta que pode ser associada ao estado trófico do reservatório.

Tabela 10 - Produtividade de Biomassa pela *Salvinia sp.*

Taxa de Crescimento (PS)	Unidade	Local	Fonte
27,0	t/ha/ano	Sul e Centro da Flórida, USA	REDDY e DEBUSK,1987 apud SCHNEIDER, 1995
6,5	t/ha/ano	-	LORENZI, 1991 apud DE LIMA et al., 2003
6,0	t/ha/ano	-	MOURA et al., 2009

#### 4.4 MANEJO SUSTENTÁVEL DE MACRÓFITAS

Tendo em vista a discussão levantada e a possibilidade de valorização da biomassa de macrófitas aquáticas, aliada a um esquema de manejo sustentável, sugere-se o mantimento das macrófitas em regiões que não causem interferências ao funcionamento e operação do reservatório. Regiões estas sob controle do crescimento e que permitam o aproveitamento da biomassa em paralelo com as mudanças de nível do reservatório.

Fora as formas tradicionais de controle de macrófitas (física, química ou biológica), indica-se para pequenos reservatórios o plantio de árvores em suas margens, com copas largas.

Esta vegetação marginal poderia causar sombras provocando a redução significativa da produção de biomassa por esses vegetais aquáticos. Esta solução vai ao encontro do Plano de Recuperação de Área Degradada (PRAD) para a mata ciliar, uma vez que os arredores do Reservatório de Santa Rosa II não apresentam mais grande parte de sua vegetação original ou estão em qualidade de solo exposto/ gramíneas e sob a presença vegetação esparsa.

Para o sucesso do plano de manejo integrado à valorização da biomassa, o monitoramento da saúde ambiental da vegetação aquática deve ser executado de maneira a impedir a formação de bancos de macrófitas em estado de senescência ou até mesmo decomposição, retirando-as antes dessa conformação.

#### 4.5 VALORIZAÇÃO DAS MACRÓFITAS AQUÁTICAS

O descarte da biomassa pode ser pensado sob a ótica da sustentabilidade, de modo que o material além de ser destinado aos locais indicados pela legislação (e.g aterros sanitários) possa também ter seu uso avaliado para determinadas finalidades, desde que não contribua para a degradação ambiental.

No caso particular da PCH Santa Rosa II, a alta densidade de macrófitas no reservatório e o grande volume de biomassa removida mecanicamente, aliada a ausência de aproveitamento deste material, abrem caminho para diferentes alternativas ao atual plano de manejo de macrófitas aquáticas.

Conforme levantado na seção 2.4 Valorização da Biomassa, diferentes soluções poderiam ser empregadas para valorização deste material vegetal rico em matéria orgânica.

##### 4.5.1 Cenários para valorização das macrófitas aquáticas

###### 4.5.1.1 *Suplemento para Ração Animal*

Uma importante atividade na região, a atividade agropecuária, poderia ser beneficiada com o uso de macrófitas como aditivo para ração de animais, conforme levantado por Silva et al, (2012) e Antonelo et al (2019) para a macrófita *Eichhornia* sp., e por Proença (2015) para a macrófita *Salvinia* sp., este último obtendo bons resultados como complemento nutricional na alimentação de peixes.

A partir dos testes realizados pela Azurit (2019) no ano de 2017 e 2018, não há presença de metais pesados no curso hídrico, reduzindo o risco de toxicidade para o uso destas macrófitas como em ração animal.

Conforme salientado por Henry Silva & Camargo (2002) as macrófitas *Eichhornia sp.* e *Salvinia sp.* apresentam valores superiores a 90% de água em seus tecidos e deficiência para suprimento total das necessidades proteicas para animais, quando em uso isolado, sendo indicadas como suplemento alimentar ou como um item a ser acrescentado em rações.

A Tabela 11 apresenta uma estimativa da quantidade de proteína bruta para a massa de macrófitas flutuantes, *Salvinia sp.*, presentes nos dois maiores períodos de proliferação de macrófitas no reservatório.

Tabela 11 - Proteína Bruta - *Salvinia sp.*

Ano	Massa Macrófita Flutuante (t)	Proteína Bruta (%) <sup>*</sup>	Massa em Proteína Bruta (t)
2018/2	1.184	10,62	125,70

<sup>1</sup>Fonte: LAPAD/LabNutri (UFSC),.

Dados cedidos pelo pesquisador Augusto Medeiros (ENS-UFSC).

A partir de estudos da composição química tendo como objetivo o aproveitamento nutricional para ruminantes e formulação de rações a partir das macrófitas, Henry Silva & Camargo (2002) sugerem a remoção de raízes e rizomas de *Eichhornia sp.* e *Salvinia sp.*, visando apenas ao aproveitamento de suas lâminas foliares para formulação de rações para gado.

Em termos de proteína bruta, para animais com 600 kg de peso vivo e produção leiteira de 10kg/dia, seria necessária a ingestão/dia de 14% de proteína bruta (GARCIA et al., 2000), neste cenário pode ser sugerido o emprego da *Salvinia sp.* como complemento nutricional aliado ao uso de outros materiais, como por exemplo o milho. O milho é a fonte de energia mais empregada na produção de rações no Brasil, em razão de seu alto teor em carboidratos, caroteno e xantofila, possuindo cerca de 4% de extrato etéreo e 8% de proteína bruta e elevado valor nutricional (SENAI, 2016).

#### 4.5.1.2 Fertilizante Orgânico

Em visita ao local entre 11 e 13 de setembro fora identificada a prática intensa de ‘queimadas’ na região, justamente em período de seca, ocasionando perdas significativas à vegetação local. É nesta realidade onde ações de recuperação de áreas degradadas mostram-se de extrema importância. As macrófitas podem ter seu uso como biofertilizantes agindo diretamente no enriquecimento a partir da oferta de nutrientes e atuando na melhoria da qualidade do solo e vegetação aos quais são expostas.

Conforme mencionado anteriormente, uma vez que não foi detectada a presença de metais pesados, em concentrações de risco, no curso hídrico há possibilidade do uso destas macrófitas também como fonte de nutrientes para plantios realizados na região.

Uma das principais fontes orgânicas de nitrogênio utilizadas na agricultura convencional é o esterco (cama de aviário). Porém nem todo produtor tem animais em sua propriedade, o que dificulta a obtenção do insumo (EMBRAPA, 2018). A Tabela 12 apresenta o teor de nitrogênio total encontrado por diferentes pesquisadores para a macrófita *Salvinia sp.*

Tabela 12 - Teor de Nitrogênio Total, com base na literatura - *Salvinia sp.*

NT	Unidade	Observação	Fonte
1,95	%PS	Rios da Amazônia Central (AM)	HOWARD-WILLIAMS e JUNK, 1977 apud PALMA-SILVA et al., 2012
1,28	%PS	Composição química da Fração Total	PIEIDADE et al., 1997
1,61	%PS	Represa de Aquicultura da UNESP, Jaboticabal (SP)	PISTORI,2005
1,45	%PS	Projeto piloto com solução nutritiva em baixa concentração	PISTORI,2009
1,80	%PS	Efluente de Piscicultura	MUZITANO,2015

Já a Tabela 13 apresenta uma comparação quanto a concentração de nitrogênio para diferentes fertilizantes orgânicos e a *Salvinia sp.*

Tabela 13 - Comparação da quantidade de N entre diferentes Fertilizantes Orgânicos -

<i>Salvinia sp.</i>	
Fonte <sup>1</sup>	Quantidade de N (% de PS)
Esterco Bovino	1,5
Esterco de Frango	2,5
Espécies de Leguminosas ( <i>N-verde Embrapa</i> )	4,0
Macrófita ( <i>Salvinia sp</i> ) <sup>2</sup>	1,6

<sup>1</sup> EMBRAPA, 2018.

<sup>2</sup> Valor médio obtido através da literatura, Tabela 12.

Após análises laboratoriais, Embrapa,2018 atribui a eficiência do fertilizante vegetal N-verde em 10% no primeiro ciclo, resultado este similar aos demais fertilizantes orgânicos. Portanto, estimando um resultado semelhante a 6%, de eficiência para um fertilizante a base de *Salvinia sp.* significaria que a cada 100 kg de fertilizante disponíveis para as plantas, a mesma seria capaz de absorver 6 kg. Logo, para as 44,3 t/ha/ano produzidas no ano de 2018, caso aplicadas nas plantas, teríamos 2,6 toneladas de nitrogênio capazes de serem absorvidas pelas plantas no primeiro ciclo.

Os fertilizantes orgânicos apresentados na Tabela 13, como o esterco bovino e o esterco de frango, possuem custo elevado e são de difícil obtenção em algumas regiões (EMBRAPA,2018). Este fator poderia ser solucionado com o aproveitamento da biomassa de macrófitas aquáticas, as quais apresentam elevado grau de crescimento e disponibilidade atemporal .

#### 4.5.1.3 Biocombustível (Biogás)

De maneira paralela, tanto a *Salvinia sp.* quanto a *Eichhornia sp.* apresentam estudos na linha de produção de biogás (Tabela 14) e metano (Tabela 15) a partir de digestão anaeróbia em consórcio com outros materiais, atuando de maneira a complementar a concentração de diferentes elementos minerais e orgânicos necessários a produção. Vale ressaltar que nos sistemas biológicos de tratamento, cerca de 80% da matéria orgânica presente no substrato é convertida em biogás, composto majoritariamente por metano (CHERNICHARO, 2007) para

tanto fora calculada a produção de biogás e metano com base em 80% de eficiência média de conversão dos Sólidos Voláteis, logo para os 90% SV presentes na biomassa da *Salvinia sp.* 72% poderá ser convertido.

O poder calorífico foi calculado

Tabela 14 - Produção de Biogás - *Salvinia sp.*

Ano	Massa Macrófita Flutuante (t)	%SV <sup>1</sup>	Produção Volumétrica de Biogás (LN.kgSV-1)	Biogás Total (m <sup>3</sup> )	Poder Calorífico (kcal.m <sup>3</sup> )
2018/2	1.184	72	210	178.960,27	17.596.320,00

<sup>1</sup>Fonte: LAPAD/LabNutri (UFSC), experimento em andamento.

Tabela 15 - Produção de Metano - *Salvinia sp.*

Ano	Massa Macrófita Flutuante (t)	%SV <sup>1</sup>	Produção Volumétrica de Metano (LN.kgSV-1)	CH4 Total (m <sup>3</sup> )
2018/2	1.184	72	150	127.828,77

<sup>1</sup>Fonte: LAPAD/LabNutri (UFSC), experimento em andamento.

A título de comparação, a Tabela 16 apresenta os valores esperados de equivalência energética entre diferentes fontes (gasolina, diesel e eletricidade) e o biogás (*Salvinia sp.*), estimado com base na produção de biogás (m<sup>3</sup>) esperada para o segundo semestre de 2018. Considera-se para que o poder calorífico do biogás seja de aproximadamente 21.600 kJ/m<sup>3</sup> ou 6,0 kWh/m<sup>3</sup> (FARRET, 1999).

Tabela 16 - Tabela comparativa entre diferentes matérias primas - *Salvinia sp.*

Fonte	Equivalência energética de 1 m <sup>3</sup> de biogás	Equivalência ao biogás total estimado
Diesel <sup>1</sup>	0,66 (L)	118.113,78 (L)
Gasolina <sup>1</sup>	0,70 (L)	125.272,19 (L)
Eletricidade <sup>2</sup>	6,0 (kWh)	1.073.761,65 (kWh)

Fonte<sup>1</sup>: (EMBRAPA, 2019).

<sup>2</sup>(FARRET, 1999).

Considerando o cenário do segundo maior bloom de macrófitas, ocorrido em 2018/2 com a ocupação de 23,90 ha de macrófitas flutuantes (expressivamente de *Salvinia sp.*) e 4.952 gPS/m<sup>2</sup> de densidade média (Tabela 6) seriam esperados 1.184 toneladas de macrófitas, as quais poderiam ser aproveitadas para a geração de biogás. Para tanto, a partir da equivalência entre biogás (*Salvinia sp.*) e a gasolina, expressa na Tabela 16, estima-se que para um veículo de

passeio com capacidade para 45 L seria possível abastecê-lo 3.480 vezes à gasolina com tanque completo, considerando a equivalência energética entre as duas fontes citada por Embrapa, 2019 e desconsiderando fatores como eficiência do motor quanto a cada combustível.

Quando comparada a quantidade de energia elétrica equivalente apenas para o período de 2018/2, ao esperado para a produção de biogás, a mesma corresponderia ao equivalente ao consumo de uma população de 427 habitantes, tomando como base o consumo per capita de 2.514 kWh/hab registrado para o Brasil no ano de 2016 (EPE, 2017).

#### 4.5.1.4 Fitodepuração (Fitoextração de N e P)

O manejo periódico de remoção de biomassa, contribui para a fitorremediação do reservatório, uma vez que para cada tonelada de macrófitas removidas estima-se a remoção de 29,90 kg de nitrogênio e 3,0 kg de fósforo. Isso totalizou 4,3 e 1,5 toneladas removidas no período entre 2017 e 2018 para N e P respectivamente.

As macrófitas também podem ser utilizadas na PCH Santa Rosa II como parte integrante de um sistema de fitodepuração, objetivando a melhoria da qualidade do rio, captura de metais (quando detectado) e uso como bioindicador da qualidade da água, através de estratégia conciliada ao plano de manejo de macrófitas aquáticas.

## 4.6 CONCLUSÃO

Nas condições em que foi conduzido o presente levantamento de macrófitas aquáticas com tratamento dos dados pode-se concluir que:

- Os mapas provenientes do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), ao longo do período de estudo revelam a intensa presença de macrófitas flutuantes no período compreendido ao segundo semestre para 2017, 2018 e 2019.
- Tendo como base a produtividade de biomassa da *Salvinia sp.*, e o valor total em área estimado através do uso da metodologia NDVI, infere-se que o total estimado para produção de biomassa anual em 2018 seria de 44,3 t/ha.

- A evidência trazida pelo Índice de Estado Trófico (IET) do reservatório e a consequente classificação de estado de hipereutrofização, enfatizam a elevada carga de nutrientes disponíveis no reservatório, neste caso mais especificamente fósforo total. Este resultado traz um alerta para a tomada de providências.
- O manejo periódico de remoção de biomassa, contribui para a fitorremediação do reservatório, uma vez que para cada tonelada de macrófitas removidas estima-se a remoção de 29,90 kg de nitrogênio e 3,0 kg de fósforo. Isso totalizou 4,3 e 1,5 toneladas removidas no período entre 2017 e 2018 para N e P respectivamente.
- A elaboração e execução de um plano de manejo de macrófitas aquáticas faz-se necessária, onde a participação público-privada é essencial. Através de medidas de controle na fonte, como investimentos em estações de tratamento de esgotos com eficiência na remoção de nutrientes e programas de gerenciamento de bacias. Estas são soluções ideais e preventivas para contenção do crescimento descontrolado de macrófitas aquáticas.
- A extensa gama de possibilidades para valorização da biomassa das macrófitas demonstra seu potencial de adaptação a diferentes meios e culturas nas quais pode ser submetida, abrindo espaço para novas pesquisas.

#### 4.7 RECOMENDAÇÕES

Para futuros estudos, recomendam-se alguns aspectos que poderiam ser abordados de modo a enriquecer o trabalho, como:

- Uma das possibilidades para limitação do crescimento de macrófitas seria através da variação de nível do reservatório, seria interessante fazer um paralelo com os resultados encontrados para o índice NDVI e a variação do nível d'água;
- Foi utilizado um sensor com resolução espacial de até 10m, o Sentinel-2, recomenda-se para maior confiabilidade em termos da acurácia o uso de um sensor com melhor resolução espacial, como o RapidEye com resolução superior a 6,5 e posterior comparação dos resultados;

- Inspeção em campo com sonda para medição *in situ* do potencial de absorção de nutrientes pelas macrófitas aquáticas;
- Projeto piloto para incorporação e enriquecimento de ração animal com uso de *Salvinia auriculata* e *Eichhornia Crassipes*;
- Projeto piloto para recuperação de áreas degradadas da região fazendo uso de biofertilizante enriquecido de macrófitas como *Salvinia auriculata* e *Eichhornia Crassipes*;
- Projeto piloto para geração de biogás a partir da biomassa de macrófitas aquáticas *Salvinia auriculata* e *Eichhornia Crassipes*, integrando o uso de seu resíduo para valorização como fertilizante;
- Programas de conscientização e educação ambiental como uma ferramenta de aproximação entre a comunidade local e os empresários detentores da posse das pequenas centrais hidrelétricas da região, ambos afetados diretamente com a qualidade da água dos mananciais;
- Parcerias público-privadas com instituições de ensino locais para o aprofundamento no estudo das características das macrófitas presentes na região e sua possibilidade de aproveitamento.

## REFERÊNCIAS

(INMET), I. N. DE M. **Gráficos, chuva acumulada anual**. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=tempo/graficos>>. Acesso em: 11 nov. 2019.

AFFONSECA, M. E. P. [UNESP]. Avaliação da viabilidade e aplicabilidade de macrófitas aquáticas para polimento de efluentes de estações de tratamento de esgoto doméstico – estudo em escala real. 4 jul. 2016.

AGÊNCIA EMBRAPA DE INFORMAÇÃO TECNOLÓGICA, E. **Biogás**. Disponível em: <<https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/agroenergia/arvore/CONT000fbl23vn102wx5eo0sawqe3qf9d0sy.html>>. Acesso em: 20 nov. 2019.

AGÊNCIA ESPACIAL EUROPEIA (ESA). **Introduzindo o Sentinel-2**.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). Portal da Qualidade das Águas. Indicadores de Qualidade - Índice do Estado Trófico (IET). 2015.

AGOSTINHO, A. .; GOMES, L. C.; PELICICE, F. M. **Ecologia e manejo de recursos pesqueiros em reservatórios no Brasil**. [s.l.] Universidade Estadual de Maringá, 2007.

AGOSTINHO ET AL. Relações entre macrófitas aquáticas e fauna de peixes. In: THOMAS, S.M.; BINI, L.M. In: **Ecologia e manejo de macrófitas aquáticas**. Maringá: UEM, 2003.

AMORIM, A. M. P. B. et al. Eficiência de um sistema piloto utilizando áreas alagadas no pós-tratamento do lixiviado gerado no Aterro Sanitário de Curitiba, Curitiba, Paraná, Brasil. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 23, n. 3, p. 535–542, jun. 2018.

ANDREOLI, C. V. CARNEIRO, C. . Gestão integrada de mananciais de abastecimento eutrofizados. In: SANEPAR (Ed.). . Curitiba: [s.n.].

ANEEL, A. N. DE E. E. **BIG - Banco de Informações de Geração**. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.cfm>>. Acesso em: 17 set. 2019.

ANTONELO, F. .; LOUREIRO, M. A.; JOHANN, G. Biomassa de Eichhornia crassipes e Lemna minuta para alimentação animal. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 14, n. 2, p. 338–342, 22 jul. 2019.

AZURIT. **Relatório consolidado do monitoramento da qualidade da água, macrófitas aquáticas e sedimento: PCH Santa Rosa II**. Belo Horizonte: [s.n.].

BARBOSA, A. H. DA S. ET AL. Aplicação do NDVI para a Análise da Distribuição Espacial da Cobertura Vegetal na Região Serrana de Martins e Portalegre – Estado do Rio Grande do Norte. In: **Revista do Departamento de Geografia da USP**. São Paulo: [s.n.].

BEYRUTH, Z. Macrófitas aquáticas de um lago marginal ao rio Embu-mirim, São Paulo, Brasil. **Revista de Saude Publica**, v. 26, n. 4, p. 272–282, ago. 1992.

BEZERRA, U. A. ET AL. Comparativo do Índice de Vegetação de Diferença Normalizada (NDVI) entre os Sensores OLI - Satélite Landsat-8 e MSI – Satélite Sentinel-2 em Região Semiárida. **Anuário do Instituto de Geociências, UFRJ**, v. 41, n. 3/2018, p. 167–177, 2018.

BRASIL, C. N. DO M. A. - C. Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. In: **Diário Oficial da União, 18 mar**. Brasília: [s.n.].

BRONZATO, G. R. F. Investigação da biomassa de Eichhornia crassipes (aguapé) para a obtenção de etanol de segunda geração como um processo mitigatório da poluição aquática. **Faculdade de Ciências Agrônômicas (FCA)**, 18 jul. 2016.

BRUSSEAU, M. L.; TICK, G. R. **Environmental and pollution science**. San Diego: Elsevier, 2006.

CALOW, P.; PETTS, G. River biota diversity and dynamics. **Blackwell Science**, 1996.

CARLSON, R. E. **A trophic state index for lakes. Limnology and Oceanography**. [s.l: s.n.].

CERVEIRA JÚNIOR, W. R. Uso de herbicidas no controle de plantas aquáticas ancoradas. 5 jul. 2017.

CHERNICHARO, C. A. L. **Reatores Anaeróbios. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental: UFMG**. [s.l: s.n.].

COELHO, J. C. **Macrófitas aquáticas flutuantes na remoção de elementos químicos de água residuária**. [s.l: s.n.].

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). **Qualidade das Águas Interiores no Estado de São Paulo. Apêndice D Índices de Qualidade das Águas Índice**. [s.l: s.n.].

COOK, C. D. K. *Water Plants of the World*. The Hague: Dr. Junk Publisher. p. 561, 1974.

CRUZ, C.; NADER-NETO, A.; GIRIO, A. C. F.; PITELLI, R. A. Eficácia do glyphosate no controle de macrófitas flutuantes e efeitos sobre organismos bioindicadores. **XXVIII Congresso Brasileiro da Ciência das Plantas Daninhas na ERA da Biotecnologia, Campo Grande (MS)**, 2012.

CRUZ, C.; SILVA, A. F.; LUNA, L. V.; YAMAUCHI, A. K. F.; GARLICH, N.; PITELLI, R.; A. Glyphosate Effectiveness in the control of macrophytes under a Greenhouse Condition. **Planta Daninha**, v. 33, n. 2, p. 241–247, 2015.

CTG BRASIL, C. T. G. C. **CTG Brasil**. Disponível em: <<https://www.ctgbr.com.br/ctg-brasil-investe-r-46-milhoes-em-projeto-para-transformar-plantas-aquaticas-em-biocombustivel/>>. Acesso em: 17 set. 2019.

CUI, W.; CHENG, J. J. Growing duckweed for biofuel production: a review. **Plant Biology**, v. 17, p. 16–23, jan. 2015.

CULTIVANDO ÁGUA BOA, (CAB). **Cenário local – a bacia do paraná 3**. Disponível em: <<http://www.cultivandoaguaboa.com.br/o-programa/cenario-local-a-bacia-do-parana-%0A3>>.

DE LIMA, M. R.; REISSMANN, C. B.; TAFFAREL, A. D. FITORREMEDIAÇÃO COM MACRÓFITAS AQUÁTICAS FLUTUANTES. **SANEPAR**, v. Capítulo 1, 2003.

DEZOTTI, M. **Processos e técnicas para o controle ambiental de efluentes líquidos**. Rio de Janeiro: [s.n.].

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, E. **Pesquisa desenvolve fertilizante orgânico a partir da biomassa de plantas - Portal Embrapa**. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/37485979/pesquisa-desenvolve-fertilizante-organico-a-partir-da-biomassa-de-plantas>>. Acesso em: 21 nov. 2019.

EPE, E. DE P. E. **Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2017 ano base 2016 2017 Statistical Yearbook of electricity 2016 baseline year MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA**. [s.l: s.n.].

ESTEVES, F. A. **Fundamentos de limnologia**. 3. ed. Rio de Janeiro: Interciência/FINEP, 2011.

FAO, W. Expert Committee on Food Additives. Sixty-first meeting. Food and Agriculture Organization and World Health Organization of the United Nations. 2004.

FARIA, O. B. **Utilização de macrófitas aquáticas na produção de adobe: um**

**estudo de caso no reservatório de Salto Grande (Americana - SP).** São Carlos: Biblioteca Digital de Teses e Dissertações da Universidade de São Paulo, 28 out. 2002.

FARIAS, W. M. et al. Utilização de macrófitas aquáticas em substrato para a produção de mudas de moringa. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 36, n. 85, p. 25, 31 mar. 2016.

FARRET, F. A. **Aproveitamento de pequenas fontes de energia elétrica. Santa Maria: UFSM.** [s.l: s.n.].

FASSET, N. . A manual of aquatic plants. In: **Madison University of Wisconsin.** [s.l: s.n.].

FOLONI, L. L. .; PITELLI, R. A. Avaliação da sensibilidade de diversas espécies de plantas daninhas aquáticas ao carfentrazone-ethyl, em ambiente controlado. **Planta Daninha**, v. 23, n. 2, p. 329–334, 2005.

GARCIA, M. . et al. Aguapé (*Eichhornia crassipes*): Uma alternativa alimentar para bovinos de pequenas propriedades no perímetro da represa Biljings - Escado de São Paulo, Brasil. **Rev. Educ. Contin. CRMV-SP**, v. 3, n. 3, p. 37–43, 2000.

GENTELINI, A. L. Tratamento de efluente de piscicultura orgânica utilizando macrófitas aquáticas *Eichhornia crassipes* (mart. Solms) e *Egeria densa* (Planchon.). 15 fev. 2007.

GETTYS, L. A.; HALLER, W. T.; BELLAUD, M. **Biology and control of aquatic plant: A best management practices handbook.** [s.l.] Marietta GA, 2014.

HENRY-SILVA, G. G. .; CAMARGO, A. F. M. Valor nutritivo de macrófitas aquáticas flutuantes (*Eichhornia crassipes*, *Pistia stratiotes* e *Salvinia molesta*) utilizadas no tratamento de efluentes de aquicultura. **Acta Scientiarum**, v. 24, n. 2, p. 519–529, 2002.

INÁCIO, D. V. Avaliação do uso de macrófitas aquáticas na recuperação do solo e no desenvolvimento de espécies arbóreas do cerrado em áreas degradadas adjacentes ao reservatório utilizado pela Usina Hidrelétrica Corumbá IV. 29 jun. 2012.

IRGANG, B. E.; C.V.S, G. J. Macrófitas aquáticas da planície costeira do RS. In: Porto Alegre: Botânica, UFRGS, 1996. p. 290.

JENSEN, J. R. Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres. Tradução da 2. ed. pesquisadores do INPE. 2011.

LAMPARELLI, M. C. **Grau de trofia em corpos d'água do estado de são paulo: avaliação dos métodos de monitoramento.** [s.l.] Universidade de São Paulo, 2004.

LIMA, JOSIVAN DE OLIVEIRA ET AL. USO DO SENSORIAMENTO REMOTO NO MONITORAMENTO DE PLANTAS AQUÁTICAS. **Conex.Ci. e Tecnol. Fortaleza/CE**, v.11,n.1, p.49, 2017.

LINS, L. P. **PRODUÇÃO DE BIOGÁS A PARTIR DE RESÍDUOS DE BOVINOCULTURA LEITEIRA POR MEIO DA CODIGESTÃO COM MACRÓFITAS DA ESPÉCIE *Salvinia***. [s.l.] Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2017.

LIU, L. et al. Effects of Vertical Mixing on Phytoplankton Blooms in Xiangxi Bay of Three Gorges Reservoir: Implications for Management. **Water Research**, v. 45, n. 7, p. 2121–2130, 2012.

LUNA, L. A. V; CARRASCHI, S. P.; CUBO, P.; NADER-NETO, A.; SCHIAVETTI, B. L. .; PANCELLI, M. L.; GIRIO, A.C.F; CRUZ, C.; PITELLI, R. A. . **Efeitos da aplicação de glifosato para o controle de macrófitas sobre a qualidade da água e a comunidade perifítica em condições de mesocosmos**. XXVII Congresso Brasileiro da Ciência das Plantas Daninhas, Ribeirão Preto-SP, 2010

MAIA, A. A. D.; CARVALHO, S. L.; CARVALHO, F. T. Comparação de dois índices de determinação do grau de trofia nas águas do Baixo Rio São José dos Dourados, São Paulo, Brasil. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 20, n. 4, p. 613–622, 2015.

MARCONDES ET AL. Estudo para manejo integrado de plantas aquáticas no reservatório de Jupia. In: THOMAZ, S.M.; BINI, L.M., In: UEM (Ed.). . **Ecologia e manejo de macrófitas aquáticas**. Maringá: [s.n.].

MARIA, M. A. **AVALIAÇÃO DA UTILIZAÇÃO DO GLIFOSATO PARA MANEJO DE MACRÓFITAS AQUÁTICAS**. [s.l.] UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS, 2017.

MASE, E. M. et al. **Estudo do potencial de destinação de macrófitas aquáticas invasoras para processamento termoquímico**. Curitiba: [s.n.].

MATEO-SAGASTA, J.; BURKE, J. Agriculture and water quality interactions: a global overview. **SOLAW Background Thematic Report**, v. TR08 FAO., 2010.

MEDEIROS, A. Experimento em andamento. **LAPAD/LabNutri**. UFSC, 2019.

MIYAZAKI, D. M. Y. .; PITELLI, R. A. Estudo do potencial do pacu (*Piaractus mesopotamicus*) como agente de controle biológico de *Egeria densa*, *E. najas* e *Ceratophyllum demersum*. *Planta daninha*. v. 21, p. 53–59, 2003.

MOREIRA, C. D. Potencial bioherbicida de plantas e de fungos sobre o controle de macrófitas. 9 abr. 2016.

MOURA, M. A. . et al. MANEJO INTEGRADO DE MACRÓFITAS AQUÁTICAS. **Biológico**, v. 71, n. 1, p. 77–82, 2009.

MURPHY, K. J. .; BARRETT, P. R. . Chemical control of aquatic weed. In: PIETERSEN, A.H.; MURPHY, K.J. In: **Aquatic weeds: the ecology and management of nuisance aquatic vegetation**. Oxford: Oxford University Press, 1990. p. 136–173.

NEGRISOLI, E. . et al. Estudo da degradação da biomassa de três espécies de plantas aquáticas no reservatório da UHE de Americana-SP. *Planta Daninha*. v. 24, n. 2, p. 221–227, 2006.

OLALEYE, V. F. .; AKINYEMIJU, O. A. Effect of a Glyphosate (N-(Phosphonomethyl) glycine) Application to control *Eichhornia crassipes* Mart. On Fish Composition and Abundance in Abiala Creek, Niger Delta, Nigeria. **Journal of Environmental Management**, v. 47, n. 115–122, 1996.

PASCHOAL, S. S. L. .; DA SILVA, F. M. VARIAÇÃO ESPAÇO-TEMPORAL DO ÍNDICE DE VEGETAÇÃO POR DIFERENÇA NORMALIZADA (NDVI) EM ÁREA SOB O RISCO DE DESERTIFICAÇÃO NO RIO GRANDE DO NORTE. 62º Reunião Anual da Sociedade Brasileira Para o Progresso da Ciência (SBPC) . 2010.

PEREIRA, N. DE C. Análise das condições político institucionais para inovação tecnológica na construção civil : adobe produzido com macrófitas aquáticas em Palmas - TO. 2008.

PITELLI, R. A. **Macrófitas Aquáticas do Brasil, na condição de problema**. (IBAMA, Ed.)Brasília: 1998

PITELLI, R. A. et al. AVALIAÇÃO DAS CONCENTRAÇÕES DE NUTRIENTES E METAIS PESADOS NAS PRINCIPAIS MACRÓFITAS AQUÁTICAS DO RESERVATÓRIO DE SANTANA – RJ NO PERÍODO DE TRÊS ANOS. **Semioses: Inovação, Desenvolvimento e Sustentabilidade**, p. 112–126, 2018.

PITELLI, R. L. DE C. M. **Abordagens Multivariadas no estudo da dinâmica de comunidades de macrófitas aquáticas**. [s.l.] Universidade Estadual Paulista, 2006.

POMPEO, M. O Controle da Flora e Fauna Aquáticas pela Resolução CONAMA 467: Considerações Sobre a Normativa Brasileira. **Revista do Departamento de Geografia Universidade de São Paulo**, p. 24–35, 2017.

POMPÊO, M. MONITORAMENTO E MANEJO DE MACRÓFITAS AQUÁTICAS.

**Oecologia Brasiliensis - Monitoramento biológico em ecossistemas aquáticos continentais**, v. 12, p. 406–424, 2008.

POTT, J. V.; POTT, A. Potencial de uso de plantas aquáticas na despoluição da água. **Embrapa Gado de Corte - Documentos (INFOTECA-E)**, p. 25p., 2002.

PROENÇA, M. . A biomassa de macrófitas flutuantes como suplemento alimentar para o cultivo de organismos aquáticos: estratégia de manejo que favorece o rendimento econômico e ambiental na piscicultura. 3 fev. 2015.

ROSA, C. N. **Índice de Vegetação Aplicado no Mapeamento das Macrófitas Aquáticas do Reservatório de Itaipu**. [s.l.] UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA, 2018.

ROUSE, J. J. et al. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. 1974.

SANTOS, R. P. Análise da utilização de resíduos sólidos de marmoraria em consórcio com macrófitas aquáticas na recuperação de áreas degradadas por mineração de argila vermelha. 2 mar. 2017.

SCHNEIDER, I. A. H. **Biossorção de metais pesados com a biomassa de macrófitos aquáticos**. [s.l: s.n.].

SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM INDUSTRIAL, S. Alimentos para animais. **SENAI-SP**, p. 88, 2016.

SETTI, A. A. ET AL. **Introdução ao gerenciamento de recursos hídricos**. Brasília: Agência Nacional de Energia Elétrica/Agência Nacional das Águas, 2001.

SILVA, A. A. L. ET AL. Obtenção e caracterização de concentrado protéico alimentar obtido a partir de eichhornia crassipes (aguapé) colhidas no rio Apodi/ Mossoró. **I Encontro Regional De Química: Ciência, Tecnologia e Sociedade**, 2012.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO (SNIS). **Diagnóstico dos serviços de Água e Esgoto de 2017** . Disponível em: <<http://snis.gov.br/diagnostico-agua-e-esgotos/diagnostico-ae-2017>>. Acesso em: 12 nov. 2019.

SOUZA, I. V. A.; SOUZA, R. DE O.; PAULINO, W. D. **Cálculo do índice de estado trófico em reservatório com estudo de caso no reservatório Acarape do Meio**. São Carlos,SP: [s.n.].

TAVARES, P. A. ET AL. APLICAÇÃO DE ÍNDICES DE VEGETAÇÃO PARA IDENTIFICAÇÃO DE VEGETAÇÃO AQUÁTICA EM LAGOS URBANOS NA AMAZÔNIA. **Anais do XIX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, 2019.

TÉCNICAS, A. B. D. N. NBR 9896: Glossário de Poluição das Águas. In: Rio de Janeiro: [s.n.].

THOMAZ, S. M.; BINI, L. M. **Ecologia e Manejo de Macrófitas Aquáticas**. Maringá: [s.n.].

TONON, G. **AVALIAÇÃO DE LAGOAS DE LEMNAS PARA O POLIMENTO DE ESGOTO DOMÉSTICO: EMISSÕES DE GEE E VALORIZAÇÃO DE BIOMASSA NA PRODUÇÃO DE BIOMETANO**. [s.l.] Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), 2016.

TRINDADE, C. R. T. Biomassa, produtividade e nutrientes de *Salvinia herzogii* de la Sota e *Azolla filiculoides* Lam., em dois corpos rasos subtropicais (Rio Grande, RS-Brasil). **Universidade Federal do Rio Grande**, 2008.

TUNDISI, J. G.; TUNDISI-MATSUMURA, T. Lagos e reservatórios. In: **Limnologia**. São Paulo: Oficina de Texto, 2008. p. 632.

UFSCAR. **O que são Macrófitas aquáticas**. Disponível em: <[http://www.ufscar.br/~probio/info\\_macrof.html](http://www.ufscar.br/~probio/info_macrof.html)>. Acesso em: 23 set. 2019.

USEPA (UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY). Introduction to phytoremediation. **EPA/600/R-99/107**., p. 72, 2000.

VELINI, E. . et al. Monitoramento dos problemas com plantas aquáticas em dez reservatórios dos rios Tietê, Grande, Pardo e Mogi Guaçu. p. 4, [s.d.].

VIEIRA, MARCELA DO CARMO SANTOS, CARLOS HENRIQUE PINAFFI, C. D.; MORAIS, MARIA HELENA LEONARDO, A. DA S. **REMOÇÃO DE N E P DE EFLUENTE DOMÉSTICO POR PLANTAS AQUÁTICAS FLUTUANTES**. [s.l: s.n.].

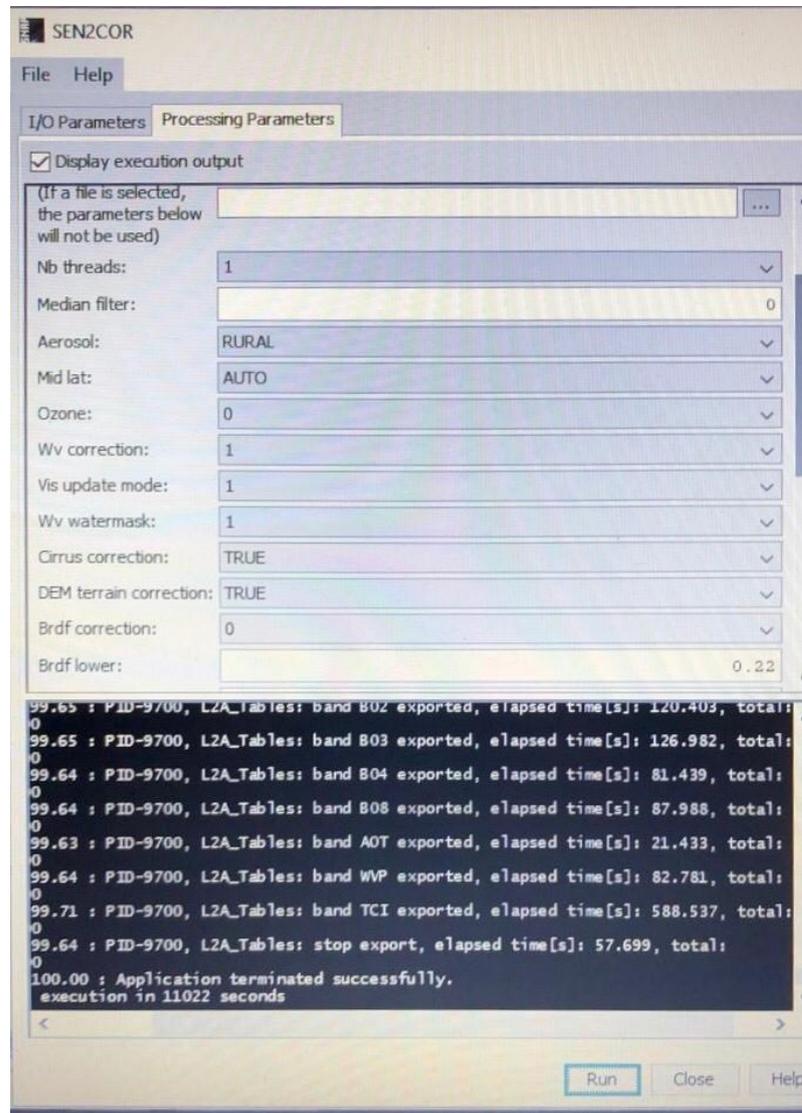
VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 3 ed. v.1 ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Universidade Federal de Minas Gerais, 2005.

XUE, J.; SU, B. **Significant remote sensing vegetation indices: A review of developments and applications** *Journal of Sensors* Hindawi Limited, , 2017.

YANG, X. et al. Mechanisms and assessment of water eutrophication. **Journal of Zhejiang University Science**, v. 9, n. 3, p. 197–209, 2008.

## ANEXOS

Figura 8 - Parâmetros de Correção Atmosférica - Sen2Cor



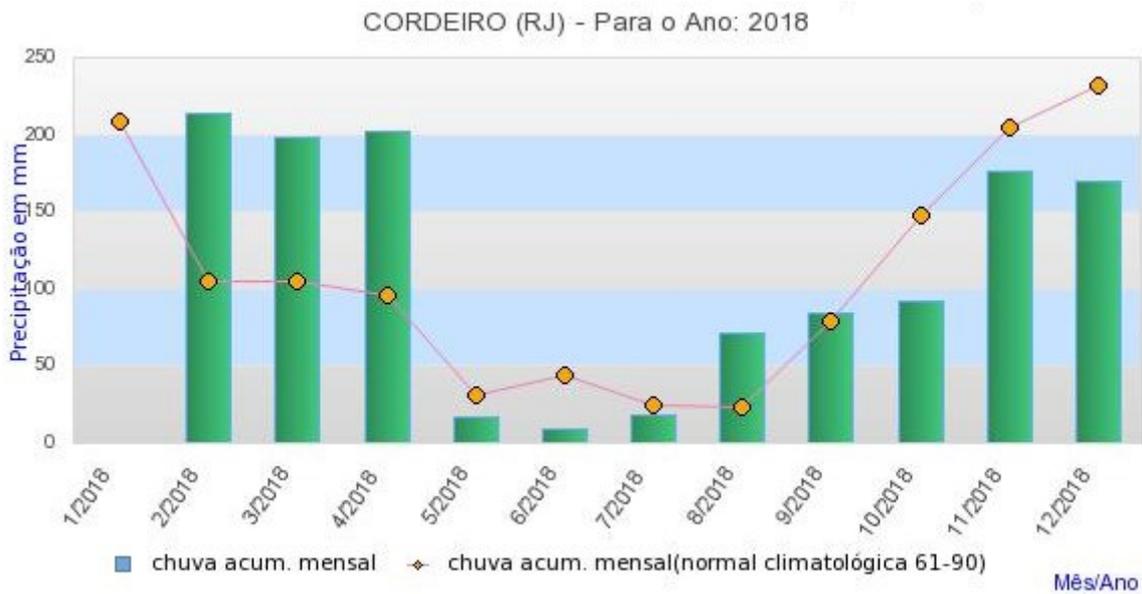
Fonte: Aplicativo *SNAP* (2019).

Figura 9 - Chuva Acumulada Mensal x Chuva (Normal Climatológica 61-90), Cordeiro (RJ) - 2017



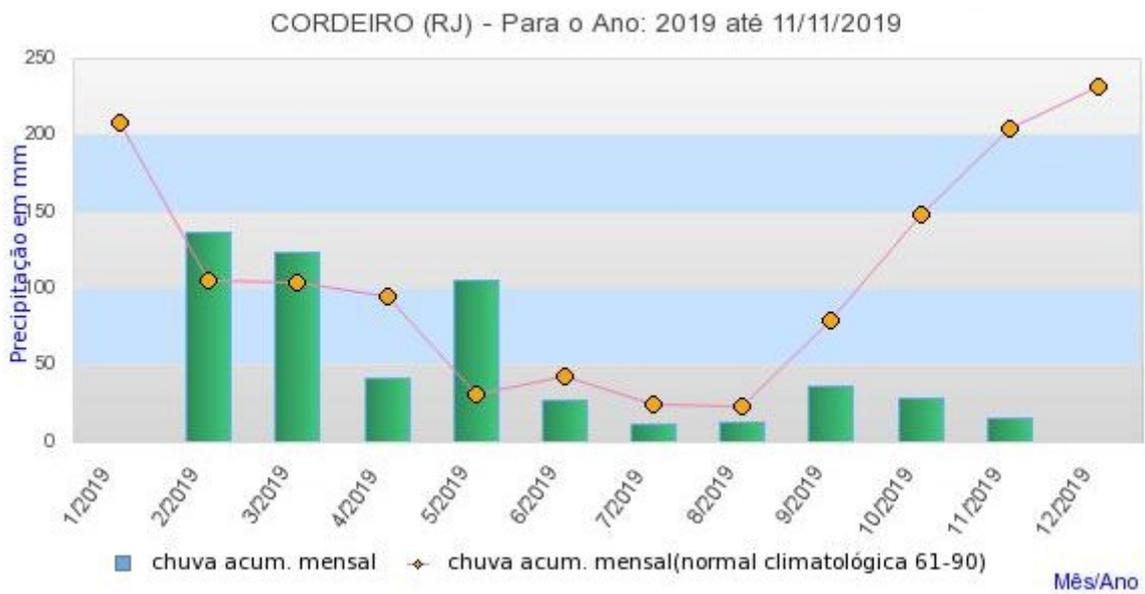
Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia (INMET,2019).

Figura 10 - Chuva Acumulada Mensal x Chuva (Normal Climatológica 61-90), Cordeiro (RJ) -2018



Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia (INMET,2019).

Figura 11 - Chuva Acumulada Mensal x Chuva (Normal Climatológica 61-90), Cordeiro (RJ)  
-2019



Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia (INMET,2019).



Figura 12 - Parâmetros Físico Químicos, bacteriológicos e biológicos analisados no rio Grande (2017, 2018 e 2019) - Relatório Semestral da Azurit ao INEA

Parâmetro	Unidade	Padrão Classe 2	Ponto amostral													
			R1							R2						
			jul/17	nov/17	jan/18	abr/18	ago/18	dez/18	mar/19	jul/17	nov/17	jan/18	abr/18	ago/18	dez/18	mar/19
Condutividade Elétrica	uS/cm	-	71,00	32,80	51,70	46,60	57,50	45,10	60,90	69,70	30,10	52,30	63,20	60,20	59,10	61,8
Oxigênio Dissolvido	mg/l	< 5,0	5,86	5,60	5,30	5,95	2,97	2,26	2,60	5,65	4,90	6,40	6,43	3,41	1,70	2,90
pH	upH	6 – 9	6,73	6,80	7,40	7,88	7,78	6,40	7,56	6,95	6,60	7,70	8,17	7,93	6,90	7,70
Temperatura	°C	-	18,20	20,90	27,00	21,70	18,90	21,90	24,10	18,40	21,80	31,50	25,00	19,50	25,30	27,50
Transparência	cm	-	446	426	175	105	2	55	80	102	98	235	119	2	16	89
Saturação de Oxigênio	%	-	62,20	59,40	64,80	65,40	33,00	26,00	34,40	60,10	52,10	80,90	76,00	38,10	19,00	38,50
Amônia	mg/l	-	<0,04	0,17	<0,04	0,09	0,08	<0,04	0,26	<0,04	0,28	<0,04	<0,04	0,12	<0,04	0,26
Clorofila-a	µg/l	30 µg/l	<3,00	<3,00	<3,00	<3,00	<3,00	<3,00	<3,00	<3,00	<3,00	<3,00	<3,00	<3,00	<3,00	<3,00
Nitrogênio Orgânico	mg/l	-	<0,50	<0,40	<0,40	<0,40	<0,60	<0,80	<0,60	<0,50	0,56	<0,40	<0,40	<0,60	<0,60	<0,60
Nitrogênio Inorgânico	mg/l	-	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50
Nitrogênio Total Kjeldahl	mg/l	-	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50
Ortofosfato	mg/l	-	<0,08	0,10	<0,08	<0,08	<0,005	<0,08	<0,08	<0,50	0,12	<0,08	<0,08	<0,005	<0,08	<0,08
Comunidade Bentônica	ind.	-	-	21	-	4	0	0	0	-	4	-	<1	0	0	0
Densidade Cianobactérias	cel./ml	50.000	172	<1	100	<1	0	0	1.443	554	<1	<1	<1	0	0	2.542
Comunidade Fitoplanctônica	cel./ml	-	55	7	19.800	3	4	0	113.643	3.054	25	30.200	2	4	0	120.601
Comunidade Zooplanctônica	org./ml	-	-	<1	<1	<1	0	0	33	-	<1	<1	<1	0	0	50
Coliformes Fecais	NMP/100 ml	1.000	70,00	31,00	<1,80	<1,80	20,00	170,00	<1,80	46,00	26,00	<1,80	<1,80	<1,80	92,00	4,00
Coliformes Totais	NMP/100 ml	-	350,00	46,00	<1,80	<1,10	16.000,00	390,00	2,00	70,00	40,00	<1,80	<1,10	13.000,00	200,00	6,80
Cor Aparente	uH	-	38,80	38,80	22,40	22,40	18,30	790,00	140,00	38,80	26,50	30,60	14,20	51,00	790,00	82,00
DBO	mg/l	5	4,17	32,42	53,26	43,00	<3,00	7,37	<3,00	9,88	110,91	38,39	39,26	<3,00	17,75	<3,00

Continua

Fonte- Azurit (2019).

Figura 13 - Parâmetros Físico Químicos, bacteriológicos e biológicos analisados no rio Grande (2017, 2018 e 2019) - Relatório Semestral da Azurit ao INEA

*Continuação*

Parâmetro	Unidade	Padrão Classe 2	Ponto amostral													
			R4							J1						
			jul/17	nov/17	jan/18	abr/18	ago/18	dez/18	mar/19	jul/17	nov/17	jan/18	abr/18	ago/18	dez/18	mar/19
Condutividade Elétrica	uS/cm	-	190,10	78,80	51,50	48,40	98,8	45,20	62,10	67,90	63,50	54,00	52,00	62,80	50,00	68,10
Oxigênio Dissolvido	mg/l	< 5,0	5,06	3,10	8,10	5,96	3,51	2,83	3,30	6,63	5,40	3,80	6,32	3,16	3,56	2,90
pH	upH	6 – 9	7,14	6,82	7,90	8,61	8,30	9,20	7,34	7,00	6,73	7,45	7,73	7,93	7,50	8,01
Temperatura	°C	-	19,80	23,50	27,90	24,50	20,10	24,30	28,10	18,40	22,20	27,50	23,20	20,30	23,90	28,80
Transparência	cm	-	63	60	28	123	1	30	89	ND	ND	ND	ND	ND	90	37
Saturação de Oxigênio	%	-	55,50	34,00	104,70	71,20	37,40	28,00	43,10	70,10	53,20	47,80	73,00	35,60	41,00	0,50
Amônia	mg/l	-	<0,04	0,18	<0,04	0,04	<0,04	<0,04	0,29	<0,04	0,25	<0,04	0,06	0,09	<0,04	0,27
Clorofila-a	µg/l	30 µg/l	<3,00	<3,00	<3,00	<3,00	<3,00	<3,00	<3,00	<3,00	<3,00	<3,00	<3,00	<3,00	<3,00	<3,00
Nitrogênio Orgânico	mg/l	-	<0,50	0,51	<0,40	<0,40	<0,60	<0,60	<0,60	<0,50	0,65	<0,40	<0,40	<0,60	<0,60	<0,60
Nitrogênio Inorgânico	mg/l	-	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50
Nitrogênio Total Kjeldahl	mg/l	-	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<5,0	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50
Ortofosfato	mg/l	-	<0,080	<0,080	<0,080	<0,080	<0,005	<0,080	<0,080	<0,080	<0,080	<0,080	<0,080	<0,005	<0,080	<0,080
Comunidade Bentônica	ind.	-	-	22,00	-	<1,00	0	0	0	-	18,00	<1,00	-	0	0	0
Densidade Cianobactérias	cel./ml	50.000	704	<1	<1	<1	0	0	3.052	461	<1	<1	<1	0	0	357
Comunidade Fitoplanctônica	cel./ml	-	3.402	4	152.600	1	3	0	115.963	589	4	120.700	2	2	0	32.470
Comunidade Zooplanctônica	org./ml	-	-	<1	<1	<1	0	0	233	41	100	<1	<1	0	0	13.333
Coliformes Fecais	NMP/100 ml	1.000	70,00	11,00	<1,80	<1,80	<1,80	20,00	<1,80	<1,80	17,00	<1,80	<1,80	20,00	68,00	6,80
Coliformes Totais	NMP/100 ml	-	350,00	21,00	<1,80	<1,10	92.000,00	68,00	4,00	<1,80	26,00	<1,80	<1,10	2.400,00	120,00	7,00
Cor Aparente	uH	-	14,20	14,20	22,40	14,20	26,50	680,00	210,00	26,50	47,00	26,50	14,20	14,20	255,00	89,00
DBO	mg/l	5	23,55	69,20	7,69	36,51	6,99	47,63	<3,00	<3,00	24,62	32,81	46,04	13,29	7,24	16,78

Fonte- Azurit (2019).

Figura 14 - Parâmetros Físico Químicos, bacteriológicos e biológicos analisados no rio Grande (2017, 2018 e 2019) - Relatório Semestral da Azurit ao INEA

Parâmetro	Unidade	Padrão Classe 2	Ponto amostral													
			J2							J3						
			jul/17	nov/17	jan/18	abr/18	ago/18	dez/18	mar/19	jul/17	nov/17	jan/18	abr/18	ago/18	dez/18	mar/19
Condutividade Elétrica	uS/cm	-	72,80	61,20	54,80	47,20	54,40	43,10	79,10	49,20	49,90	6,32	42,10	38,00	40,10	54,20
Oxigênio Dissolvido	mg/l	< 5,0	5,58	6,30	4,20	5,54	3,22	3,03	2,50	7,50	5,80	6,32	5,67	3,46	2,69	3,60
pH	upH	6 – 9	6,78	7,00	6,32	7,31	7,78	7,90	7,75	7,30	7,19	7,20	7,66	8,31	7,40	8,14
Temperatura	°C	-	18,30	22,90	34,20	21,60	20,20	29,60	23,80	19,60	23,30	30,70	24,50	20,30	27,10	24,60
Transparência	cm	-	330	310	95	75	2	65	1	ND	ND	ND	ND	1	94	70
Saturação de Oxigênio	%	-	58,90	66,50	62,80	60,50	34,70	35,00	30,70	60,00	77,50	86,20	64,70	37,50	31,00	42,30
Amônia	mg/l	-	<0,04	0,23	<0,04	0,06	0,04	<0,04	0,24	<0,04	<0,04	<0,04	0,07	0,08	<0,04	0,28
Clorofila-a	µg/l	30 µg/l	<3,00	<3,00	<3,00	<3,00	<3,00	<3,00	<3,00	<3,00	<3,00	<3,00	<3,00	<3,00	<3,00	<3,00
Nitrogênio Orgânico	mg/l	-	<0,50	0,70	<0,40	<0,40	<0,60	<0,60	<0,60	<0,50	0,45	<0,40	<0,40	<0,60	<0,60	<0,60
Nitrogênio Inorgânico	mg/l	-	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50
Nitrogênio Total Kjeldahl	mg/l	-	<0,50	<5,00	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<5,00	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50
Ortofosfato	mg/l	-	<0,080	0,100	<0,080	<0,080	<0,005	<0,080	<0,080	0,430	0,100	<0,080	<0,080	<0,005	<0,080	<0,080
Comunidade Bentônica	ind.	-	-	23,00	-	4,00	0,00	0,00	0,00	-	2,00	-	0,00	12,00	0,00	15,00
Densidade Cianobactérias	cel./ml	50.000	485	<1	<1	<1	0	0	204	549	<1	1.000	22	0	0	262
Comunidade Fitoplanctônica	cel./ml	-	734	6	55.600	3	4	0	27.831	734	2	40.000	2	2	0	18.554
Comunidade Zooplanctônica	org./ml	-	34	3500	<1	<1	0	0	67	52	700	<1	687	0	0	13
Coliformes Fecais	NMP/100 ml	1.000	<1,80	21,00	<1,80	<1,80	<1,80	40,00	4,00	200,00	31,00	<1,80	<1,80	<1,80	92,00	9,20
Coliformes Totais	NMP/100 ml	-	<1,80	33,00	<1,80	<1,10	330,00	68,00	6,80	3.500,00	70,00	<1,80	<1,10	54.000,00	170,00	17,00
Cor Aparente	uH	-	14	35	34	27	51	720	85	15	55	18	22	39	750	82
DBO	mg/l	5	<3,00	77,31	24,01	38,15	8,21	<3,00	17,86	24,39	79,12	51,71	40,74	<3,00	15,06	6,71

Fonte- Azurit (2019).

Figura 15 - Parâmetros Físico Químicos, bacteriológicos e biológicos analisados no rio Grande (2017, 2018 e 2019) - Relatório Semestral da Azurit ao INEA

Parâmetro	Unidade	Padrão Classe 2	Ponto amostral													
			R1							R2						
			jul/17	nov/17	jan/18	abr/18	ago/18	dez/18	mar/19	jul/17	nov/17	jan/18	abr/18	ago/18	dez/18	mar/19
DQO	mg/l	-	<50,00	88,90	131,39	96,67	<50,00	<50,00	<50,00	<50,00	265,70	95,92	89,06	<50,00	<50,00	<50,00
Fósforo Total	mg/l	0,03 mg/l	<0,08	0,14	<0,08	0,07	<0,08	<0,08	<0,08	0,16	0,19	<0,08	0,08	<0,08	<0,08	<0,08
Fenóis	mg/l	0,003	<0,010	0,010	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,010	0,011	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005
Nitrato	mg/l	10	<10,00	<10,00	<10,00	<10,00	<10,00	<10,00	<10,00	<10,00	<10,00	<10,00	<10,00	<10,00	<10,00	<10,00
Nitrito	mg/l	1	<0,02	<0,02	0,06	<2,00	<0,02	<0,02	0,02	<0,02	<0,02	0,04	<0,02	0,04	<0,02	0,23
Nitrogênio Amonical	mg/l	*	<0,04	0,14	<0,04	0,08	0,07	<0,04	0,22	<0,04	0,23	<0,04	<0,04	0,10	<0,04	0,22
Óleos e Graxas	mg/l	V.A.	<7,00	<7,00	<7,00	<7,00	<7,00	<7,00	<7,00	<7,00	<7,00	<7,00	<7,00	<7,00	<7,00	<7,00
Sólidos Dissolvidos Voláteis	mg/l	-	<10,00	112,00	<10,00	<10,00	82,00	<10,00	35,00	10,00	130,00	<10,00	<10,00	78,00	46,00	30,00
Sólidos Dissolvidos Fixos	mg/l	-	10,00	22,00	20	<10,00	42,00	<10,00	40,00	50,00	16,00	50,00	<10,00	39,70	64,00	50,00
Sólidos Suspensos Fixos	mg/l	-	<10,00	25,00	<10,00	<10,00	<10,00	<10,00	<10,00	<10,00	35,00	<10,00	<10,00	<10,00	38,00	<10,00
Sólidos Suspensos Voláteis	mg/l	-	<10,00	<10,00	<10,00	<10,00	<10,00	<10,00	<10,00	<10,00	<10,00	20,00	<10,00	<10,00	10,00	<10,00
Sólidos Totais	mg/l	-	38,00	120,00	10,00	<10,00	50,00	<10,00	75,00	68,00	20,00	<10,00	<10,00	16,00	<10,00	80,00
Sulfato	mg/l	250	<10,00	<10,00	<10,00	<10,00	<10,00	<10,00	<10,00	<10,00	<10,00	<10,00	<10,00	<10,00	215,18	<10,00
Tubidez	UNT	100	1,00	16,00	2,00	6,00	<1,0	14,00	9,00	<1,00	24,00	2,00	4,00	<1,00	29,00	7,00

Continua

Fonte- Azurit (2019).

Figura 16 - Parâmetros Físico Químicos, bacteriológicos e biológicos analisados no rio Grande (2017, 2018 e 2019) - Relatório Semestral da Azurit ao INEA

Parâmetro	Unidade	Padrão Classe 2	Ponto amostral													
			R4							J1						
			jul/17	nov/17	jan/18	abr/18	ago/18	dez/18	mar/19	jul/17	nov/17	jan/18	abr/18	ago/18	dez/18	mar/19
DQO	mg/l	-	81,66	182,07	<50,00	84	<50,00	100,99	<50,00	<50,00	71,22	80,71	106,05	<50,00	<50,00	<50,00
Fósforo Total	mg/l	0,03 mg/l	0,19	0,20	<0,08	0,06	<0,08	<0,08	<0,08	<0,08	0,13	<0,08	0,12	<0,08	<0,08	<0,08
Fenóis	mg/l	0,003	<0,010	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,010	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005
Nitrato	mg/l	10	<10,00	<10,00	<10,00	<10,00	<10,00	<10,00	<10,00	<10,00	<10,00	<10,00	<10,00	<10,00	<10,00	<10,00
Nitrito	mg/l	1	<0,02	<0,02	0,05	<0,02	0,03	<0,02	0,06	<0,02	<0,02	0,05	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
Nitrogênio Amonical	mg/l	*	<0,04	0,15	<0,04	0,04	<0,04	<0,04	0,24	<0,04	0,21	<0,04	0,05	0,08	<0,04	0,22
Óleos e Graxas	mg/l	V.A.	<7,00	<7,00	<7,00	<7,00	<7,00	<7,00	<7,00	<7,00	<7,00	<7,00	<7,00	<7,00	<7,00	<7,00
Sólidos Dissolvidos Voláteis	mg/l	-	35,00	82,00	<10,00	<10,00	70,00	10,00	10,00	<10,00	102,00	<10,0	<10,00	80,00	<10,00	35,00
Sólidos Dissolvidos Fixos	mg/l	-	<10,00	32,00	55,00	<10,00	32,06	100,00	100,00	10,00	<10,00	35,00	<10,00	41,43	<10,00	25,00
Sólidos Suspensos Fixos	mg/l	-	<10,00	20,00	10,00	<10,00	<10,00	<10,00	<10,00	<10,00	<10,00	10,00	<10,00	<10,00	<10,00	<10,00
Sólidos Suspensos Voláteis	mg/l	-	<10,00	<10,00	<10,00	<10,00	<10,00	<10,00	<10,00	<10,00	30,00	<10,00	<10,00	<10,00	<10,00	<10,00
Sólidos Totais	mg/l	-	72,00	80,00	15,00	<10,00	32,00	110,00	110,00	50,00	130,00	25,00	66,00	28,00	<10,00	80,00
Sulfato	mg/l	250	<10,00	<10,00	15,00	<10,00	<10,00	<10,00	<10,00	<10,00	<10,00	<10,00	<10,00	<10,00	<10,00	<10,00
Tubidez	UNT	100	<1,00	13,00	2,00	3,00	<1,00	11,00	11,00	1,00	30,00	3,00	3,00	<1,00	21,80	8,00

Continua

Fonte- Azurit (2019).

Figura 17 - Parâmetros Físico Químicos, bacteriológicos e biológicos analisados no rio Grande (2017, 2018 e 2019) - Relatório Semestral da Azurit ao INEA

*Continuação*

Parâmetro	Unidade	Padrão Classe 2	Ponto amostral													
			J2							J3						
			jul/17	nov/17	jan/18	abr/18	ago/18	dez/18	mar/19	jul/17	nov/17	jan/18	abr/18	ago/18	dez/18	mar/19
DQO	mg/l	-	<50,00	194,74	60,44	86,53	<50,00	<50,00	<50,00	76,94	204,88	123,33	91,60	<50,00	<50,00	<50,00
Fósforo Total	mg/l	0,03 mg/l	<0,08	0,22	0,09	0,05	<0,08	<0,08	<0,08	0,53	0,17	<0,08	<0,05	<0,08	<0,08	<0,08
Fenóis	mg/l	0,003	<0,010	0,017	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,010	0,007	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005
Nitrato	mg/l	10	<10,00	<10,00	<10,00	<10,00	<10,00	<10,00	<10,00	<10,00	<10,00	<10,00	<10,00	<10,00	<10,00	<10,00
Nitrito	mg/l	1	<0,02	<0,02	0,04	<0,02	<0,02	<0,02	0,02	0,03	<0,02	<0,02	0,03	<0,02	<0,02	0,02
Nitrogênio Amoniacal	mg/l	*	<0,04	0,19	<0,04	0,05	0,04	<0,04	0,20	<0,04	<0,04	<0,04	0,06	0,07	<0,04	0,23
Óleos e Graxas	mg/l	V.A.	<7,00	<7,00	<7,00	<7,00	<7,00	<7,00	<7,00	<7,00	<7,00	<7,00	<7,00	<7,00	<7,00	<7,00
Sólidos Dissolvidos Voláteis	mg/l	-	<10,00	68,00	<10,00	<10,00	74,00	<10,00	30,00	<10,00	70,00	<10,00	<10,00	56,00	<10,00	40,00
Sólidos Dissolvidos Fixos	mg/l	-	30,00	54,00	40,00	<10,00	36,71	<10,00	55,00	50,00	52,00	24,00	<10,00	32,99	<10,00	40,00
Sólidos Suspensos Fixos	mg/l	-	<10,00	<10,00	10,00	<10,00	<10,00	<10,00	<10,00	<10,00	<10,00	<10,00	<10,00	<10,00	<10,00	<10,00
Sólidos Suspensos Voláteis	mg/l	-	<10,00	<10,00	<10,00	<10,00	<10,00	<10,00	10,00	<10,00	30,00	<10,00	<10,00	<10,00	<10,00	<10,00
Sólidos Totais	mg/l	-	60,00	100,00	20,00	66,00	36,00	<10,00	85,00	60,00	100,00	<10,00	<10,00	38,00	<10,00	80,00
Sulfato	mg/l	250	<10,00	<10,00	<10,00	<10,00	<10,00	<10,00	<10,00	<10,00	<10,00	<10,00	<10,00	<10,00	<10,00	<10,00
Tubidez	UNT	100	2,00	11,00	3,00	4,00	<1,00	6,00	9,00	<1,00	12,00	2,00	3,00	<1,00	11,00	8,00

Fonte: Padrão Classe 2 conforme Resolução CONAMA nº 357/2005 (BRASIL, 2005).

Nota: \* Nitrogênio amoniacal: 3,7 mg/l para pH ≤ 7,5; 2,0 mg/l para 7,5 < pH ≤ 8,0; 1,0 mg/l para 8,0 < pH ≤ 8,5 e 0,5 mg/l para pH > 8,5. V.A. - virtualmente ausente; ND - não detectável; Fósforo total - 0,03 mg/l para ambientes lênticos; Valores destacados em vermelho correspondem às desconformidades.

Fonte- Azurit (2019).