

MARCOS AURELIANO SILVA CERQUEIRA

**VALORAÇÃO DA LEMNA (*Landoltia punctata*) NO
POLIMENTO DE EFLUENTE DO SISTEMA DE RECIRCULAÇÃO
AQUÍCOLA**

Ilha Solteira
2021

MARCOS AURELIANO SILVA CERQUEIRA

**VALORAÇÃO DA LEMNA (*Landoltia punctata*) NO
POLIMENTO DE EFLUENTE DO SISTEMA DE RECIRCULAÇÃO
AQUÍCOLA**

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira – UNESP, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre do Programa de Pós-Graduação em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos – ProfÁgua.

Prof. Dr. Tsunao Matsumoto
Orientador

Prof. Dra. Liliane Lazzari Albertin
Co-Orientador

Ilha Solteira
2021

FICHA CATALOGRÁFICA
Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

C416v Cerqueira, Marcos Aureliano Silva.
Valoração da lemna (*Landoltia punctata*) no polimento de efluente do sistema de recirculação aquícola / Marcos Aureliano Silva Cerqueira. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2021
87 f.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Área de conhecimento: Regulação e Governança de Recursos Hídricos, 2021

Orientador: Tsunao Matsumoto
Coorientador: Liliane Lazzari Albertin
Inclui bibliografia

1. Macrófitas. 2. Reuso da água. 3. Aquicultura. 4. Fitorremediação.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: Valoração da Lemna (*Landoltia punctata*) no polimento do efluente do sistema de recirculação aquícola.

AUTOR: MARCOS AURELIANO SILVA CERQUEIRA

ORIENTADOR: TSUNAO MATSUMOTO

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em GESTÃO E REGULAÇÃO DE RECURSOS HÍDRICOS, área: Regulação e Governança de Recursos Hídricos pela Comissão Examinadora:



Prof. Dr. TSUNAO MATSUMOTO

Departamento de Engenharia Civil / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira - UNESP



Prof. Dr. FRANCISCO LLEDO DOS SANTOS

Departamento de Engenharia Civil / Universidade do Estado de Mato Grosso,
Faculdade de Ciências Exatas

Prof. Dr. IVÁN ANDRÉS SÁNCHEZ ORTIZ

Departamento de Recursos Hidrobiológicos /
Universidad de Nariño

Ilha Solteira, 18 de junho de 2021

"A sociedade atuando na gestão dos recursos hídricos, isso é o Comitê de Bacia Hidrográfica. Fazendo a diferença nas nossas vidas, nas gerações futuras e o meio ambiente agradece."

A minha mãe e aos meus filhos, dedico.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha mãe, Sonia Maria, por todo ensinamento e coragem, que foram a sua marca de vida, que me ajudaram a enfrentar todos os obstáculos durante minha jornada até aqui.

Ao meu orientador Professor Dr. Tsunao Matsumoto pela orientação deste trabalho, pela paciência, confiança e oportunidade, sempre acreditando em nosso trabalho e defendendo nossos objetivos, foi uma satisfação ser seu orientado.

Agradeço também a Professora Dra. Liliane, pelo apoio dedicado a este trabalho e pela disponibilidade em sempre me ajudar.

Ao amigo e pesquisador Clovis, Instituto de Pesca, pelas contribuições que me auxiliaram aos entendimentos mais abrangentes sobre questões de gestão dos recursos hídricos.

Agradeço a colega Luiza, pelo apoio na realização das análises laboratoriais.

A Alice pelas consultas e contribuições que me auxiliaram durante o mestrado.

Aos diretores Vander e Ayroza do Instituto de Pesca da Secretaria de Agricultura do Governo do Estado de São Paulo, que me deram incentivos para que pudesse fazer o curso.

Agradeço a Secretaria do Profágua, em especial a Vera, onde sempre fui bem recebido e auxiliado.

O Presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001, agradeço também ao Programa de Mestrado Profissional em Rede em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos – ProfÁgua, Projeto CAPES/ANA AUXPE N°. 2717/2015, pelo apoio técnico científico aportado até o momento.

Enfim, a todos aqueles que de uma forma ou de outra contribuíram para que eu chegasse até aqui, meus sinceros agradecimentos.

RESUMO

A atividade aquícola contemporânea encontra-se diante dos desafios de se moldar aos conceitos das inovações de produtos e processos tecnológicos, e sua viabilidade econômica, sustentabilidade e segurança alimentar. A procura por caminhos que melhorem a qualidade dos efluentes da atividade aquícola e reduzam a demanda por recursos hídricos, aliado à busca de alternativas econômicas e de baixo custo. O uso de macrófitas aquáticas, e o seu potencial de depuração de águas contaminadas, atuando principalmente na remoção de nutrientes, como nitrogênio e fósforo. Visando valorar a biomassa de lemna produzida, este trabalho teve como objetivo avaliar a utilização da lemnácea *Landoltia punctata* no polimento do efluente do Sistema de Recirculação Aquícola (SRA) e propor seu aproveitamento. Deste modo, foram desenvolvidos dois experimentos. Verificou-se a viabilidade técnica do uso sistema de recirculação na atividade no meio urbano e a eficiência do tratamento do efluente do cultivo de Tilápia (*Oreochromis niloticus*), com o uso da lemnácea para a produção de biomassa da lemna, como potencial componente de ração, para fins de sua valoração. O SRA utilizado demonstrou ser uma alternativa para a atividade aquícola periurbana. As lemnas apresentaram resultados promissores no polimento do efluente, para os parâmetros avaliados, com as seguintes eficiências de remoção: NT= 65%, PT= 47%, DQO= 64,5%. Quanto à biomassa de lemnas constatou-se uma produtividade de 70,2kg/ha/dia de matéria seca, ou 25.623kg/ha/ano, com um teor de proteína bruta média de 28%, totalizando 7.174kgPB/ha/ano.

Palavras-chave: macrófitas; aquicultura; reuso da água; fitorremediação.

ABSTRACT

Contemporary aquaculture is facing the challenges of conforming to the concepts of product innovations, technological processes and its economic viability, sustainability and food safety. The quest is to find ways to improve the quality of effluents from aquaculture activities and reduce the demand for water resources, together with the search for economic and low-cost alternatives. The use of aquatic macrophytes, and their potential for purifying contaminated water, acting mainly in the removal of nutrients such as nitrogen and phosphorus is studied. Aiming of valuation of produced the lemna biomass, this work aims to evaluate in use of the *lemnácea Landoltia punctata* in polishing the effluent of the Recirculation Aquaculture System (RAS) and propose its use. Thus, two experiments were developed. The technical feasibility of using a recirculation system for use in the activity in urban areas and the efficiency of the treatment of effluent from the cultivation of Tilapia (*Oreochromis niloticus*), with the use of lemnácea for the production of lemna, as a potential feed component, biomass for purposes of its valuation, were verified. The RAS used proved to be an excellent option for periurban aquaculture activities. The lemnas presented excellent results in the polishing of the effluent, for the evaluated parameters, with the following removal efficiencies: TN= 65%, TP= 47%, COD= 64.5%. As for the lemnas biomass, a productivity of 70.2kg/ha/day of dry matter was found, or 25.623kg/ha/year, with an average protein content of 28%, totaling 7.174kgPB/ha/year.

Keywords: aquaculture; macrophytes; recirculation; effluents treatment.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Os 17 objetivos da Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura	15
Figura 2. Consumo de pescados no mundo.	16
Figura 3. Sistema completo de recirculação aberto.....	22
Figura 4. Cultivo super-intensivo do camarão <i>Litopenaeus vannamei</i> com sistema fechado de recirculação de água.....	23
Figura 5. Tilápia do Nilo (<i>Oreochromis niloticus</i>).....	26
Figura 6. Efluente aquícola lançado em um corpo receptor, em uma fazenda de camarão no Nordeste.....	32
Figura 7. Grupos ecológicos das macrófitas aquáticas.....	34
Figura 8. <i>Landoltia punctata</i>	41
Figura 9. <i>Landoltia punctata</i> , produzida no experimento.....	42
Figura 10. Duas a três raízes saindo da fronde.....	42
Figura 11. Distribuição geográfica da <i>Landoltia punctata</i> no Brasil	43
Figura 12. Área interna do laboratório, com o SRA-TM experimental no Laboratório de Saneamento da Unesp – Campus de Ilha Solteira	45
Figura 13. Detalhamento do funcionamento do SRA-TM.....	46
Figura 14. Conjunto de duas 2 eletrobombas de 34w cada, para recircular a água no sistema	47
Figura 15. Compressor utilizado para levar oxigênio aos peixes	47
Figura 16. Área externa ao Laboratório de Saneamento, com as caixas de 500 L.....	48
Figura 17. Resultados das variações da média, temperaturas, umidade relativa do ar e pluviosidade, durante o experimento.....	49
Figura 18. Valores das concentrações de OD nos pontos do SRA-TM.....	56
Figura 19. Concentração da condutividade elétrica no Sistema.	57
Figura 20. Valores de turbidez no sistema de recirculação.	57
Figura 21. Valores de DQO nos quatros pontos de coleta de amostras no SRA-TM.....	59
Figura 22. Valores médios de NT nos quatros pontos de coleta ao longo do tempo.....	60
Figura 23. Valores de sólidos totais nos pontos SDC, SR, TCP e DDC, do SRA-TM.....	61
Figura 24. Concentrações de FT nos quatros pontos de amostragem do SRA-TM	62
Figura 25. Valores de pH medidos durante todos os dias do experimento	63
Figura 26. Valores de OD apontados durante o experimento	64
Figura 27. Concentração da condutividade nas lagoas de cultivo.....	65
Figura 28. Mudanças nas concentrações de turbidez na Lagoas de acumulação.....	66
Figura 29. Média da redução da DQO nas lagoas de lemnáceas e na lagoa de acumulação.....	67
Figura 30. Eficiência na remoção do nitrogênio pelas lagoas de cultivo	68
Figura 31. Variação na redução média do fósforo nas lagoas em relação a descarga do efluente	69
Figura 32. Variação das concentrações de FT nas lagoas de tratamento ao longo do tempo.....	70
Figura 33. Peso fresco total das plantas nas duas fazes de cultivo, por lagoa de crescimento.....	72
Figura 34. Pesagem da amostra do peso fresco e secagem na estufa.....	73
Figura 35. Lagoas de produção da biomassa de lemna.....	74

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Parâmetros de qualidade de água para peixes tropicais e os padrões legais estabelecidos pela Resolução CONAMA 357/2005.....	31
Tabela 2. Composição da ração com seus principais com níveis de garantia	50
Tabela 3. Metodologias utilizadas para a realização das análises	51
Tabela 4. Definição dos pontos de coleta das amostras	52
Tabela 5. Resultado das análises de sólidos totais das médias, do mínimo e máximo das amostras dos pontos do SRA-TM.....	61
Tabela 6. Variações da temperatura nas lagoas de cultivo.....	63
Tabela 7. Resultado da biometria realizada nos peixes.....	71
Tabela 8. Relação da composição química da <i>Landoltia punctata</i> .1 em 100% de MS.....	74

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

Bio – Biodigestor

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

DB - Dejeito bruto

DBO⁵ - Demanda bioquímica de oxigênio

DDC – Descarga do decantador de coluna

DC – Decantador de coluna

DQO - Demanda química de oxigênio

LC – Lagoa de cultivo

LA – Lagoa de acumulação

N – Elemento nitrogênio

NH₃ - Amônia livre, amônia não ionizada

NH₄⁺ - Amônia ionizada,

N-NH₃ - Nitrogênio amoniacal

N-NO₂ - Nitrogênio em forma de nitrito

N-NO₃ - Nitrogênio em forma de nitrato

NT – Nitrogênio total

NTK - Nitrogênio total Kjeldahl

OD - Oxigênio dissolvido

P – Elemento fósforo

PB – Proteína Bruta

pH - Potencial hidrogeniônico

PT - Fósforo total

SDC – Saída do decantador de coluna

SR – Saída do reator

SRA – Sistema de recirculação aquícola

SRA – DCMABR – Sistema de Recirculação Aquícola – Decantador de Coluna com Reator de Biofilme Aerado com Membranas

ST- Sólidos totais

T - Temperatura

TCP – Tanque de cultivo

TDH – Tempo de Detenção Hidráulica

TCR – Taxa de crescimento relativo

TCE – Taxa de crescimento específico

RA – Reator aeróbio

TCP – Tanque de cultivo de peixes

NTU - (unidade nefelométrica de turbidez)

SUMARIO

1	INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA.....	14
2	OBJETIVOS.....	19
2.1	OBJETIVO GERAL.....	19
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	19
3	REVISÃO DE LITERATURA	20
3.1	AQUICULTURA.....	20
3.1.1	<i>Sistemas aquícolas</i>	<i>20</i>
3.1.1.1	Sistema extensivo	21
3.1.1.2	Sistema semi-intensivo	21
3.1.1.3	Sistemas intensivo e superintensivo	21
3.1.1.3.1	Sistema de recirculação aquícola (SRA).....	21
3.1.1.3.1.1	Aquaponia	24
3.1.2	<i>Tilápia-do-nilo Oreochromis niloticus</i>	<i>25</i>
3.2	QUALIDADE DE ÁGUA NA AQUICULTURA.....	27
3.2.1	<i>Variáveis de qualidade de água relevantes para um SRA</i>	<i>28</i>
3.2.1.1	Temperatura (T)	28
3.2.1.2	Oxigênio dissolvido (OD).....	28
3.2.1.3	Transparência.....	29
3.2.1.4	Turbidez (NTU).....	29
3.2.1.5	Potencial hidrogênico (pH).....	29
3.2.1.6	Nitrogênio amoniacal total	29
3.2.1.7	Fósforo total	30
3.2.1.8	Clorofila.....	31
3.2.2	<i>Impactos da produção aquícola nos recursos hídricos</i>	<i>31</i>
3.2.3	<i>Remoção dos nutrientes</i>	<i>33</i>
3.3	MACRÓFITAS AQUÁTICAS	33
3.3.1	<i>Fitorremediação ou biorremediação</i>	<i>35</i>
3.3.3	<i>Lemnas</i>	<i>36</i>
3.3.3.1	Crescimento das Lemnas	37
3.3.3.2	Valor nutricional e aplicação da biomassa	38
3.3.3.3	Espécie <i>Landoltia punctata</i>	40
4	MATERIAL E PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	434
4.1	LOCALIZAÇÃO	44
4.2	MATERIAL	44
4.2.1	<i>SRA – DCMABR – Sistema de Recirculação Aquícola – Decantador de Coluna com Reator de Biofilme Aerado com Membranas.....</i>	<i>45</i>
4.3	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	48
4.3.1	<i>Monitoramento climatológico.....</i>	<i>48</i>
4.3.2	<i>Operacionalização do SRA-DCMABR.....</i>	<i>49</i>
4.3.3	<i>Biometria</i>	<i>50</i>

4.3.4	<i>Monitoramento e análise da qualidade de água</i>	50
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	54
5.1	TEMPERATURA DO AMBIENTE	54
5.2	AVALIAÇÃO DOS PARÂMETROS DE QUALIDADE DE ÁGUA DO SRA- TM	54
5.2.1	<i>Temperatura</i>	54
5.2.2	<i>Potencial Hidrogiônico (pH)</i>	55
5.2.3	<i>Oxigênio dissolvido (OD)</i>	55
5.2.4	<i>Condutividade elétrica (μS/cm)</i>	56
5.2.5	<i>Turbidez (NTU)</i>	57
5.2.6	<i>Demanda química de oxigênio (DQO)</i>	58
5.2.7	<i>Nitrogênio total (NT)</i>	59
5.2.8	<i>Sólidos totais (ST)</i>	60
5.2.9	<i>Fósforo total (FT)</i>	61
5.3	AVALIAÇÃO DOS PARÂMETROS DA QUALIDADE DE ÁGUA NAS LAGOAS DE CULTIVO	62
5.3.1	<i>Temperatura da água</i>	62
5.3.2	<i>pH</i>	63
5.3.3	<i>OD</i>	64
5.3.4	<i>Condutividade elétrica (μS/cm)</i>	65
5.3.5	<i>Turbidez (NTU)</i>	66
5.3.6	<i>DQO</i>	67
5.3.7	<i>NT</i>	67
5.3.8	<i>FT</i>	69
5.4	DESEMPENHO ZOOTÉCNICO DOS PEIXES	71
5.5	AVALIAÇÃO DA BIOMASSA DAS LEMNAS	72
5.6	COMPOSIÇÃO BROMATOLÓGICA DA LEMNA (<i>LANDOLTIA PUNCTATA</i>)	74
6	CONCLUSÕES	76
7	RECOMENDAÇÕES	77
8	REFERÊNCIAS	78

1 INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

O crescimento da população mundial implicará num incremento da produção e do consumo de alimentos e, conseqüentemente, a ampliação da demanda por recursos hídricos, que por sua vez, provocará a intensificação do estresse hídrico na capacidade de armazenamento das bacias para atender as demandas e ofertas de água para populações (CERQUEIRA *et al.*, 2019).

A Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO, 2018) prevê que as sociedades humanas tenham que enfrentar um imenso desafio, de fornecer alimentos e meios de subsistência para uma população que, em meados do século XXI, excederá em 9 bilhões de pessoas.

As intervenções antrópicas provocam impactos ambientais nas bacias hidrográficas, de acordo com a sua ocupação, disposição econômica e social de cada região. Essas disposições geram perturbações e deterioração da qualidade da água, assim como interferem na quantidade de água disponível.

A capacidade de gerenciar os inúmeros conflitos resultantes da intensificação das atividades humanas e a degradação dos recursos hídricos é uma preocupação constante de pesquisadores, administradores, gerentes e tomadores de decisão. (TUNDISI, 2006, p. 29).

A FAO (2018) avalia que o mundo não está conseguindo avançar, com a celeridade necessária, no cumprimento dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), numa abordagem de transformação e integração para colocar o mundo em um caminho sustentável e contínuo e que a aquicultura tem muito a contribuir para garantir todos os ODS. Os objetivos estão apresentados na Figura 1.

Figura 1. Os 17 objetivos da Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura



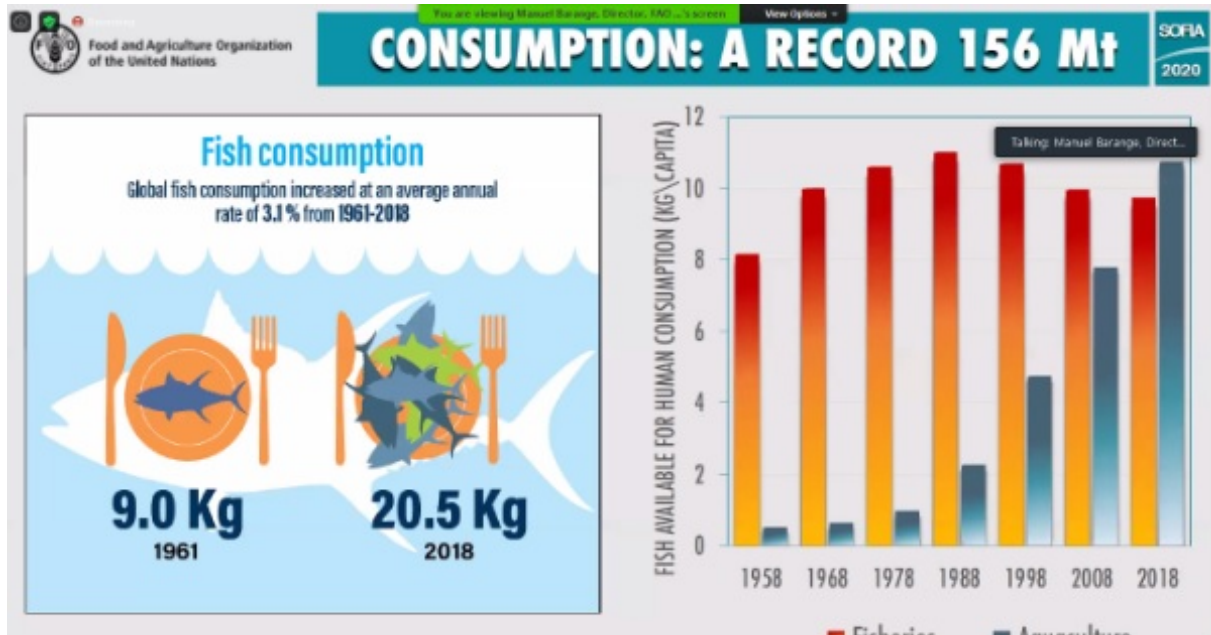
Fonte: Edição ONU/FAO (2018).

Na Declaração e Estratégia de Bangkok (NACA/FAO, 2000) argumenta-se que para a aquicultura atingir seu potencial de contribuição para o desenvolvimento humano, equidade social e ambiental, precisa focar sua produção em um pescado que esteja disponível, aceitável e acessível a todos os setores da sociedade.

A produção mundial da aquicultura aumentou substancialmente de 1 milhão de toneladas de produção anual em 1950 para 110,2 milhões de toneladas em 2016 (FAO, 2018).

A Figura 2 mostra que em 1961, a população mundial consumia 9 kg per capita/ano de pescado, mas em 2018 passou para 20,5 kg per capita/ano, principalmente em razão da expansão da oferta de produtos aquícolas.

Figura 2. Consumo de pescados no mundo.



Fonte: ONU/FAO 2020.

A contínua e crescente demanda pela utilização dos recursos hídricos para produção de peixes tem exigido cada vez mais, o ordenamento e planejamento da aquicultura (CERQUEIRA *et al.*, 2019). Essa estruturação tem o intuito de minimizar os conflitos pelos múltiplos usos de recursos hídricos, atuais e futuros com a poluição dos corpos receptores, ou inviabilidade econômica dos empreendimentos. Sendo assim, é de suma importância à promoção de novas alternativas no tratamento dos efluentes, visando o descarte, nas condições estabelecidas por lei ou seu reuso.

O Brasil é o país com maior potencial para incrementar a atividade aquícola no mundo, pois é “*sui generis*” por conta da sua abundância hídrica e clima favorável. Aliado a isso, há uma crescente demanda por pescados, no mercado interno, nos últimos anos. Contudo, a produção da aquicultura brasileira apresenta números incipientes quando comparada aos grandes produtores mundiais, como a China, Índia, Vietnã e Indonésia.

Apesar das peculiaridades do país para a aquicultura, existem barreiras que dificultam o desenvolvimento do seguimento. Irregularidades na cadeia produtiva,

questões relativas à regularização ambiental e cargas tributárias elevadas (OSTRENSKY *et al.*, 2008)

Com o aumento da demanda na produção de peixes como fonte de proteína animal, o conhecimento de novas técnicas para o manejo de sistemas, com alta densidade de peixes/m³, e alta taxa de arraçoamento, vem sendo de grande importância na viabilidade econômica da aquicultura intensiva e semi-intensiva (SIPAÚBA-TAVARES, 2013).

A atividade aquícola tem sido apontada por órgãos ambientais e alguns pesquisadores como sendo algo negativo ao meio ambiente. A FAO (2018) argumenta que para atingir seus objetivos, de fornecer alimentos e meios de subsistência para a população, precisa focar na produção de pescados, e que estes estejam acessíveis a todos os níveis sociais.

A atividade aquícola brasileira está intrinsecamente relacionada, com a concessão de uso de águas públicas para o seu desenvolvimento, respeitando, assim, a regulamentação jurídica que a permeiam, principalmente no que se refere aos instrumentos da Política Nacional dos Recursos Hídricos e da Política Nacional do Meio Ambiente.

Duas resoluções são importantes quanto às definições de padrões aceitáveis de qualidade de água, utilizados na regularização da atividade aquícola:

Resolução CONAMA Nº 357 de 17 de março de 2005 (BRASIL, 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.

Estabelece as águas de Classe II são destinadas a aquicultura e pesca, e devem possuir as seguintes características:

- 1 – Concentração máxima de demanda bioquímica de oxigênio (DBO) até 5 mg/L;
- 2 – Concentração de OD maiores que 5 mg/L;
- 3 – Concentrações máximas de PT, em ambientes lênticos, até 0,03 mg/L, e em ambientes intermediários, até 0,05 mg/L;
- 4 – Concentrações máximas de NT até 3,7 mg/L quando pH for $\leq$ a 7,5 até 2,0 mg/L com pH entre 7,5 a 8,8 de 1 mg/L com pH $\geq$ a 8,5;

5 – Valor de turbidez até 100 UNT;

6 – Contagem máxima de cianobactérias até 5.000 células/ml.

Resolução CONAMA Nº 430 de 13 de maio de 2011 (BRASIL, 2011), dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005.

No Art. 3º determina que os efluentes de qualquer fonte poluidora somente poderão ser lançados diretamente nos corpos receptores, após o devido tratamento e desde que obedeçam às condições, padrões e exigências dispostos nesta Resolução e em outras normas aplicáveis.

A sociedade e os gestores precisam de ferramentas simples para conhecer a qualidade de água disponível. Logo, caracterizar a qualidade de água para os mais diversos usos é muito importante (ALMEIDA, 2021). Os principais impactos dos efluentes da atividade aquicultura sobre os ecossistemas aquáticos são: o aumento das concentrações de nitrogênio e fósforo na coluna d'água e o acúmulo de matéria orgânica nos sedimentos (MIRES, 1995).

Para tanto, é de fundamental importância que estudos avaliem o tratamento dos efluentes da aquicultura, a redução da utilização de recursos hídricos, bem como o reaproveitamento dos resíduos produzidos pela atividade, que auxiliem na redução dos custos de produção. Monitorar os parâmetros de qualidade de água, oriundos de um efluente de atividade aquícola e propor medidas mitigadoras para reduzir o impacto causado nos corpos receptores são medidas fundamentais para a segurança da atividade.

Deste modo, realizou-se um experimento, no qual se avaliou os resultados, de qualidade de água, de um Sistema de Recirculação Aquícola - SRA, para criação de tilápia. Sendo que os resíduos do efluente foram tratados por um processo de fitorremediação, com a utilização de uma macrófita aquática. No qual foi avaliado o potencial de crescimento desta planta e seu reaproveitamento.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar a utilização da lemnácea (*Landoltia punctata*) no polimento do efluente do Sistema de Recirculação Aquícola com Decantador de Coluna e Reator de Membranas Aeradas (SRA-DCMABR) e propor sua utilização.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- 1) Avaliar as lemnas como alternativa para o polimento do efluente da aquicultura, na remoção de nutrientes e matéria orgânica;
- 2) Verificar a produtividade de biomassa de lemnas geradas durante o processo de tratamento, para subsidiar o manejo de remoção e visando seu potencial de valorização;
- 3) Caracterizar o efluente oriundo do SRA-DCMABR na produção de tilápia; e
- 4) Propor a utilização do SRA-DCMABR, com polimento com macrófitas em produções urbanas e periurbanas.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 AQUICULTURA

A aquicultura é uma atividade antrópica que cultiva organismos aquáticos, em qualquer fase de seu desenvolvimento, e requer o uso dos recursos naturais de água, solo, fauna e flora, interferindo no equilíbrio dos ecossistemas e pode causar desequilíbrios ambientais quando realizada de forma inadequada.

O Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – MAPA (BRASIL, 2019), define a aquicultura como sendo todo cultivo animal no qual a água é habitat obrigatório em todo ciclo de vida do animal ou em partes deste. Então, tem-se a piscicultura (cultivo de peixes, sendo de corte ou ornamental, em água doce e salgada), carcinicultura (cultivo de crustáceos, como os camarões, em água doce, oligosalina e salgada), malacocultura, ranicultura e os cultivos de tartaruga, tracajás, jacarés e por último, a algicultura (BRASIL, 2019).

Para Valenti (2002) a aquicultura é a produção de organismos com habitat predominantemente aquático, em cativeiro, em qualquer um de seus estágios de desenvolvimento que utiliza recursos naturais, manufaturados e humanos, tais como: terra, água, energia, ração, fertilizantes, equipamentos e mão de obra.

Sipaúba-Tavares (2013) define a aquicultura como uma atividade, que envolve ampla variedade de técnicas de criação de peixes, cultivados sob diferentes condições e localidades geográficas, e que nem todas as técnicas têm consequências ambientais negativas, uma vez que muitas são altamente benéficas quando o manejo ambiental é efetivo e sócio-economicamente sustentável.

3.1.1 *Sistemas aquícolas*

A aquicultura pode ser desenvolvida em vários arranjos produtivos, permite fazer uso de diferentes ambientes, utilizando água doce, salgada ou salobra. Os quais variam de intensidade e densidade de animais por metro cúbico de água, da ração utilizada, fluxo de água ou do reuso da mesma. Os viveiros escavados, de

barragens e os de tanques-rede são os mais utilizados. Os sistemas de criação empregados em aquicultura são muito diversificados (LAWSON, 1995).

Na piscicultura brasileira, a classificação por intensificação é a mais utilizada, onde os sistemas podem ser extensivos, semi-intensivos e intensivos de acordo com a produtividade.

3.1.1.1 Sistema extensivo

Os sistemas extensivos caracterizam-se pelo pouco uso de tecnologias, utilizam diversas espécies no mesmo ambiente, com pouca proporção de insumos por área de produção, sendo a alimentação feita de forma natural e com adubação orgânica e restos de alimento (CATI, 2011).

3.1.1.2 Sistema semi-intensivo

O sistema mais utilizado no Brasil são os semi-extensivos, com emprego de métodos mais avançados, com utilização de rações de qualidade e monitoramento da qualidade de água. A produção é feita em viveiros escavados ou em barragens, com controle dos organismos criados e dos recursos hídricos (CATI, 2011).

3.1.1.3 Sistemas intensivo e superintensivo

Existem ainda os sistemas intensivo e superintensivo, com índice de produtividades bem superiores aos demais sistemas, pois utilizam tecnologias mais adequadas e sofisticadas na produção e na gestão. Apresentam controle da entrada e saída da água, retirada eficaz dos dejetos, programa nutricional adequado e controle da qualidade da água (CATI, 2011).

3.1.1.3.1 Sistemas de recirculação aquícola (SRA)

Os SRA são métodos de produção nos quais a água circula por todo o sistema de criação, sendo tratada, em filtros mecânicos e biológicos e reutilizada, retornando por bombeamento contínuo. A utilização do SRA permite a produção com

o reuso total ou parcial da água, reduzindo consideravelmente a quantidade de água utilizada, permitindo desenvolver a aquicultura com maior controle dos impactos ambientais.

Os SRA para a produção de peixes são mais compatíveis com a sustentabilidade ambiental, pois permitem a produção de peixes em relativo isolamento do ambiente circundante, volume reduzido de efluentes e produção de resíduos (MAIGUAL-ENRIQUEZ, 2019).

Para Timmons e Ebeling (2013) os SRA são recomendados para altas densidades de cultivo, pois apresentam custos de implantação em geral mais altos quando comparados aos sistemas de fluxo aberto ou sem tratamento da água residuária.

Para Crepaldi et al., (2006) existem dois modelos de SRA o completo e o verde. O completo é o mais utilizado no qual as pisciculturas são intensivas com produtividade elevada e alta tecnificação e localizadas em galpões fechados próximos aos centros consumidores, utilizando biofiltros compactos, demandando pequenas áreas, água tratada é reintroduzida ao sistema praticamente pura. Na Figura 3 é apresentado o sistema de recirculação.

Figura 3. Sistema completo de recirculação fechado.



Fonte: Sansuy (2021).

O sistema Deckel ou verde, o tratamento biológico da água é realizado em lagoas de tratamento a céu aberto, o que ocasiona uma grande proliferação de microrganismos tornando característica à água com a coloração verde. Esse sistema demanda maiores áreas. Na Figura 4 é apresentado o sistema de recirculação verde.

Figura 4. Cultivo super-intensivo do camarão *Litopenaeus vannamei* com sistema fechado de recirculação de água



Fonte: Autor Robins McIntosh (2021).

No sistema verde acontece uma significativa melhoria na qualidade de água, pois ocorre uma ampla comunidade de microrganismos responsáveis por realizar a decomposição dos resíduos sólidos, enquanto as bactérias nitrificantes, as algas e plantas aquáticas, têm a função de remover a amônia e o excesso de nutrientes da água que será retornada aos tanques de cultivo (KUBITZA, 2006).

Para que se possa reutilizar a água nesses sistemas, são necessários alguns procedimentos que devem ser divididos em três fases: filtração mecânica, para a retirada dos sólidos; a filtração biológica para que as bactérias oxidem a amônia e o nitrito numa composição menos tóxica dos compostos nitrogenados; e por fim a troca gasosa, removendo gás carbônico, proveniente da respiração dos organismos aquáticos, e incorporando oxigênio novamente no sistema. Vale salientar que os

nutrientes removidos de um SRA, podem ser reaproveitados como fertirrigação, produção de biogás.

Na realidade Brasileira, o SRA é mais empregado na resolução de processos específicos como: na quarentena de organismos aquáticos; reprodução e larvicultura de peixes; na depuração de moluscos; na produção de espécies para aquarofilismo, com alto valor agregado em áreas urbanas, para aquaponia e nos laboratórios de pesquisa científica.

Matsumoto e Maigual-Enriquez (2016) concluem que o SRA testado com sistema de tratamento de efluente com decantador de coluna e reator com membrana fluidilizado tipo BAS (biofilm airlift suspension), mostrou-se adequado para remoção de 35,2% nitrogênio amoniacal total, de 48% DBO, de 64,9% DQO, garantindo a manutenção da criação de tilápias, e funcionamento normal do sistema proposto.

Um dos principais problemas nos sistemas de recirculação da aquicultura é o controle da qualidade da água, em relação aos nutrientes, como amônia e nitrito, tóxicos em culturas. Os SRA também foram desenvolvidos para reduzir o uso excessivo de água e melhorar o gerenciamento de resíduos sólidos e dissolvidos.

Em virtude da necessidade de reutilizar a água do cultivo, seja por sua pouca disponibilidade, preocupações ambientais ou mesmo de outros usos da bacia hidrográfica, tem-se motivos de sobra para a utilização de SRA.

3.1.1.3.1.1 Aquaponia

O sistema aquapônico é um meio de produção que reúne as atividades aquícolas e hidropônicas e promove o reuso da água. Assume papel de promotora da produção sustentável, da segurança alimentar e nutricional, assim como, da conservação dos recursos hídricos.

O aproveitamento de espaços e recursos naturais leva ao desenvolvimento de sistemas integrados de produção. A integração da aquicultura com a hidroponia pode se apresentar como uma alternativa para proporcionar o uso da água mais eficiente, incrementando a produção de peixes e vegetais sem aumentar o consumo

de água, evitando o despejo do efluente da aquicultura em corpos d'água, fornecendo um fertilizante natural para a planta de cultivo (MARISCAL-LAGARDA *et al.*, 2012).

Hundley e Navarro (2013) definem a aquaponia como sendo uma modalidade de cultivo que integra a aquicultura à hidroponia em sistemas de recirculação de água e nutrientes. Para Leschen *et al.* (2005) O cultivo de peixes e de plantas aquáticas comestíveis é muito difundido nas cidades do sudeste asiático e, em menor extensão, da África e da América Latina. A produção aquícola está intrinsecamente ligada à sobrevivência de um número significativo de famílias urbanas de baixa renda.

A aquicultura urbana e periurbana é um conceito, derivado da agricultura urbana e periurbana, que abrange diversos aspectos, como produção, transformação e prestação de serviços, cujo objetivo é gerar produtos, oriundos de ambientes hídricos, voltados ao próprio consumo, trocas, doações ou comercialização, de maneira segura, e reutilizando de forma efetiva e sustentável os recursos e bens locais. Apesar da crescente atenção dada à agricultura urbana, a importância e o potencial da produção de peixes e de plantas aquáticas dentro e ao redor das cidades continuam praticamente desconsiderados mesmo entre os profissionais ligados às questões do desenvolvimento (LESCHEN *et al.*, 2005).

3.1.2 Tilápia-do-nilo *Oreochromis niloticus*

A tilápia pertence à família *Cichlidae* do grupo dos *Perciformes*, que é representado por 70 famílias e 700 espécies espalhadas por todo mundo. Trata-se de uma espécie rústica, muito resistente, de crescimento rápido e hábito alimentar onívoro (BEYRUTH *et al.*, 2004). Há diversas variedades desta espécie que são decorrentes de programas de melhoramento genético.

A tilápia é uma espécie nativa do Continente Africano, introduzida no Brasil por volta do ano de 1950, com o povoamento da tilápia do Congo (*Tilapia rendali*). Posteriormente, foi introduzida a tilápia do Nilo (BRASIL, 2011). A Figura 5 mostra

um exemplar de Tilápia do Nilo. Atualmente é a espécie de peixe mais importante da aquicultura nacional.

Figura 5. Tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*)



Fonte: Instituto de Pesca (2020).

As tilápias se reproduzem durante todo o ano, desde que existam condições adequadas. As fêmeas atingem a maturação sexual muito precoce com 3 a 4 meses de vida e de alta fecundidade, pesando no mínimo 100 g e podem chegar a desovar a cada 30 dias. São peixes que aceitam uma grande gama de alimentos; respondem com a mesma eficiência a ingestão de proteínas de origem vegetal e animal (CATI, 2011), além de aproveitar os alimentos naturais (plâncton, perifiton), o que permite a obtenção de bons resultados produtivos.

As características dessa espécie, que a tornam apropriada para a produção aquícola, são: a sua resiliência em condições adversas durante o processo

produtivo; a facilidade reprodutiva; os bons índices de conversão alimentar e sua excelente qualidade de sua carne, branca e sem a presença de espinhos.

Estudos e levantamentos sobre as exigências do consumidor quanto ao consumo de peixes verificaram alguns pontos que merecem destaque: a procura por um peixe de carne branca e macia, porém consistente, com pouco ou nenhum cheiro característico de peixe, sem espinhas, com pouca "gordura" e que oferecesse facilidades de processamento sob formas variadas (MIRANDA; RIBEIRO, 1997), salientando que a tilápia possui todos esses requisitos.

3.2 QUALIDADE DE ÁGUA NA AQUICULTURA

O monitoramento da qualidade de água na aquicultura requer muita atenção, sua avaliação é fundamental para sustentar os requisitos adequados ao cultivo de organismos aquáticos, pois a água possui as características físicas, químicas e biológicas que interagem individualmente e ou coletivamente modificando a produtividade aquícola. A água pode ser adequada a determinado momento e em outro não indicado para atividade.

A água é um solvente efetivo e, pelo tamanho da sua molécula e peso, tem propriedades térmicas que afetam a sua densidade, viscosidade e condutividade elétrica. As moléculas de água são circundadas com forte fonte atrativa, mais do que qualquer outro líquido (SIPAÚBA-TAVARES, 2013).

As variáveis físicas e químicas da água atuam de forma conjunta. Assim, quando o problema é evidenciado dentro dos viveiros de peixe, não pode ser visto como um componente isolado e ocorrido em consequência de um determinado fator específico (SIPAÚBA-TAVARES, 2013).

Parâmetros como OD, pH, alcalinidade, dureza, série nitrogenada, temperatura e transparência têm que ser acompanhados constantemente de forma a promover o melhor desempenho e harmonia de todo o sistema (KUBITZA, 2000).

Para Comeu et al. (2001), os principais parâmetros de qualidade de água a serem monitorados na aquicultura são: transparência, pH, alcalinidade, OD,

condutividade elétrica, T, nutrientes (nitrogênio e fósforo) e clorofila. Dentre as variáveis de qualidade da água, o fósforo é o que apresenta maior dificuldade de retirada em sistemas de tratamento.

As análises e o monitoramento da qualidade da água nos sistemas de recirculação são imprescindíveis, pois são complexos em que as variações limnológicas são oriundas do metabolismo dos peixes e de microrganismos que colonizam esse ambiente.

3.2.1 Variáveis de qualidade de água relevantes para um SRA

3.2.1.1 Temperatura (T)

A faixa de conforto térmico para os peixes tropicais fica entre 20°C a 30°C. Temperaturas acima ou abaixo dessa faixa são desfavoráveis ao desenvolvimento dos peixes, reduzem o apetite e aumentam a incidência de doenças (ONO; KUBITZA, 2003). As espécies tropicais necessitam de temperaturas mais elevadas para o seu desenvolvimento.

A temperatura influencia no metabolismo, nas reações químicas, nos demais parâmetros de qualidade de água, na disponibilidade de nutrientes, na toxicidade de contaminantes e no desenvolvimento de populações de microrganismos do ambiente aquático (CATI, 2011).

3.2.1.2 Oxigênio dissolvido (OD)

O OD é o parâmetro mais crítico na produção aquícola, sendo essencial para a sobrevivência dos organismos aquáticos. Em geral, níveis de oxigênio de 60 a 70% da saturação, ou seja, acima de 4,5 mg/L são necessários para o adequado desempenho e saúde dos peixes tropicais. A tilápia é extremamente tolerante a baixas concentrações de OD. Chegam a suportar níveis de OD próximo de zero por algumas horas. No entanto, a exposição a baixos níveis de OD prejudica o crescimento e a conversão alimentar, até mesmo em espécies tolerantes (KUBITZA, 2017).

3.2.1.3 Transparência

A transparência ou turvação da água representa a medida de penetração da luz na coluna d'água. A luz solar é fonte de energia essencial para os vegetais clorofilados (algas), que produzem substâncias orgânicas, por um processo chamado fotossíntese. Por isso, a transparência é um fator muito importante para a piscicultura (LEIRA et al., 2017).

3.2.1.4 Turbidez

A turbidez da água é o grau de atenuação de intensidade que um feixe de luz sofre ao atravessá-la, devido à presença de sólidos em suspensão, como partículas inorgânicas (areia, silte, argila) e detritos orgânicos (algas, bactérias, plâncton, etc). A alta turbidez reduz a fotossíntese, uma vez que diminui a penetração da luz, consequentemente, diminuindo a disponibilidade de OD na água (CATI, 2011).

3.2.1.5 Potencial hidrogênico (pH)

A concentração de bases e ácidos na água determina o pH. Os peixes sobrevivem e crescem melhor em água com pH entre 6 - 9. Se o pH sair dessa faixa, seu crescimento será afetado; por exemplo, se ocorrer valores abaixo de 4,5 ou acima de 10, poderá ocorrer mortandades (LEIRA et al, 2017).

Para a maioria das plantas, o pH deve estar entre 5,0 e 6,5. A importância do pH está em manter na solução todos os nutrientes em formas disponíveis às plantas. Se o pH subir acima de 6,5 poderá haver precipitação de elementos como o cálcio, fósforo, ferro e manganês, que deixam então de estar disponíveis (ZIESLIN, 1994).

Quanto maior a quantidade de fitoplâncton e plantas aquáticas, maiores e mais frequentes serão as variações do pH, resultando em maior estresse e, consequentemente menor desenvolvimento dos peixes. Mudanças bruscas de pH podem provocar choque e mortandades dos animais (CATI, 2011).

3.2.1.6 Nitrogênio total

A amônia é o principal composto químico da excreção dos peixes, decorrentes do catabolismo das proteínas, e um composto resultante da

decomposição microbiana da matéria orgânica. Apresenta-se no ambiente aquático na forma ionizada (NH_4^+) e não ionizada (NH_3), cuja soma é chamada de nitrogênio total. A amônia não ionizada é considerada mais tóxica, tendo a capacidade de se difundir rapidamente, através das membranas branquiais, e causar danos e mortandades dos peixes (CATI, 2011). A toxidez por amônia compromete a atividade alimentar e aumenta a vulnerabilidade a doenças dos organismos aquáticos.

Em ambientes com pH neutro a ácido, temperaturas entre 25°C e 35°C e altos níveis de OD, a amônia é rapidamente oxidada a nitrito (NO_2^-) e esse a nitrato (NO_3^-) (BOYD; TUCKER, 1998).

A tolerância a toxidez da amônia depende de cada espécie, de modo geral, concentrações de NH_3 acima 0,2mg/L, são consideradas tóxicas, sendo que valores entre 0,7 mg/L a 2,4 mg/L podem ser letais (ONO; KUBITZA, 2003).

Em sistemas de criação, o alimento introduzido na água é o principal fator condicionante da dinâmica do nitrogênio. Fertilizantes nitrogenados amoniacais, como sulfato de amônia, nitrato de amônia, fosfatos e ureia, contribuem para o aumento da concentração de amônia na água (KUBITZA, 1999).

3.2.1.7 Fósforo total

Juntamente com o nitrogênio, o fósforo é um elemento indispensável à formação de proteínas de animais e vegetais.

O fósforo é muito importante para o armazenamento de energia e para a estruturação da membrana celular e sua deficiência pode levar a redução da taxa de crescimento, na eficiência alimentar e na mineralização dos ossos. Por outro lado o nitrogênio é importante para a formação de proteínas. Porém, em excesso, são os dois principais nutrientes responsáveis pelo enriquecimento do meio, pela produtividade primária e pela eutrofização do ambiente aquático (TUNDISI et al., 2002).

Na ração fornecida pela atividade aquícola, uma parcela é consumida e transformada em proteína animal, posteriormente retirada no momento da despesca.

Enquanto outra parcela é transformada em fezes e metabólitos que vão sedimentar no fundo dos ambientes (CATI, 2011).

3.2.1.8 Clorofila

A clorofila é um dos pigmentos responsáveis pelo processo fotossintéticos. A “Clorofila *a*” é considerada a principal variável indicadora de estado trófico dos ambientes aquáticos, representando 1% a 2% do peso seco da biomassa algal (CETESB, 2009).

A comparação dos padrões ideais dos parâmetros de qualidade de água, para o cultivo de espécies de peixes tropicais e a normatização da resolução 357/2005 do CONAMA, conforme demonstra a Tabela 1.

Tabela 1. Parâmetros de qualidade de água para peixes tropicais e os padrões legais estabelecidos pela Resolução CONAMA 357/2005.

Parâmetros de qualidade de água	Padrões para espécies tropicais	Padrões Resolução CONAMA 357/2005 (Classe 2)
Oxigênio dissolvido (mg/L)	≥ 4	≥ 5
Potencial hidrogênico	entre 6,0 a 9,0	entre 6,0 a 9,0
Temperatura °C	entre 26 a 30	< 40 para lançamentos de efluentes
Fósforo total (mg/L)	entre 0,5 a 1,0% da dieta	$\leq 0,030$ ambiente lântico. $\leq 0,050$ ambiente intermediário
Amônia (mg/L)	$\leq 0,2$ para NH_3	3,7 para $\text{pH} \leq 7,5$; 2,0 para $7,5 < \text{pH} < 8,0$; 1,0 para $8,0 < \text{pH} < 8,5$; 0,5 para $\text{pH} > 8,5$
Nitrito (mg/L)	$\leq 0,6$	$\leq 1,0$
Nitrato (mg/L)		≤ 10
DBO (mg/L)		≤ 5
Clorofila total ($\mu\text{g/L}$)		≤ 30
Turbidez (UNT)		≤ 40

Fonte: Adaptado do CATI (2011).

3.2.2 Impactos da produção aquícola nos recursos hídricos

A aquicultura é uma atividade que exerce impacto sobre os recursos hídricos. Os efluentes gerados, de elevado potencial poluidor, atingem os corpos receptores com altas concentrações de compostos nitrogenados e fosfatados, além dos sólidos em suspensão. As águas residuárias oriundas da atividade aquícola, conforme a Figura 6 pode intensificar os processos de degradação dos recursos hídricos, e afetar a qualidade de água para outras necessidades humanas. Segundo Valenti (2002), a aquicultura moderna se baseia em três componentes: a produção lucrativa, a preservação do meio ambiente e o desenvolvimento social.

Figura 6. Efluente aquícola lançado em um corpo receptor, em uma fazenda de camarão no nordeste brasileiro.



Fonte: Revista Panorama da Aquicultura (2021).

Os insumos ofertados, nas dietas dos organismos cultivados pela aquicultura, possuem elevados teores de nutrientes. No entanto, não mais que 25% a 30% do nitrogênio e fósforo aplicado nos viveiros são revertidos em biomassa (BOYD, TUCKER, 1998).

As excretas e às fezes proporcionam um considerável aporte de matéria orgânica e inorgânica aos corpos receptores do efluente dos viveiros de criação (CASILLAS-HENÁNDEZ et al., 2006), que associados aos alimentos não consumidos são convertidos em diferentes compostos como amônia, nitrato, fosfatos, dióxido de carbono e sólidos orgânicos em suspensão (MONTROYA *et al.*, 2000).

O efluente piscícola é semelhante ao efluente doméstico, apresenta elevada DBO, alta concentração de sólidos em suspensão e compostos derivados de nitrogênio e de fósforo, provocando a eutrofização dos corpos aquáticos com aumento nas populações de algas principalmente as tóxicas como as cianobactérias e outras plantas aquáticas (COUTURIER *et al.*, 2009).

3.2.3 Remoção dos nutrientes

A atividade aquícola precisa remover a carga de poluentes, por ela produzida. Essa supressão precisa ser suficiente para atingir as condições de depuração dos corpos d'água e atender as legislações vigentes, necessitando assim de um sistema complementar de remoção de nutrientes.

Os efluentes, provenientes da atividade aquícola, precisam receber tratamentos adequados, a fim de se evitar a sua contribuição para a degradação dos corpos d'água e auxiliar na preservação do meio ambiente. Os métodos de tratamentos das águas residuárias da aquicultura são iguais aos outros tipos de efluentes sendo classificados em físicos, químicos e biológicos (CRAB; AVNIMELECH; DEFOIRDT, 2007).

Para Von Sperling (1996) o tratamento biológico ocorre inteiramente pela ação de microrganismos, os quais metabolizam a matéria orgânica, sendo os principais organismos envolvidos no tratamento dos esgotos as bactérias, protozoários, fungos, algas e vermes.

Na busca por alternativas para a remoção adicional da matéria orgânica, nitrogênio, fósforo, o uso de lagoas com macrófitas flutuantes têm se tornado cada vez mais comum tanto no polimento de esgotos como na recuperação de corpos d'água poluídos (MOHEDANO, 2010).

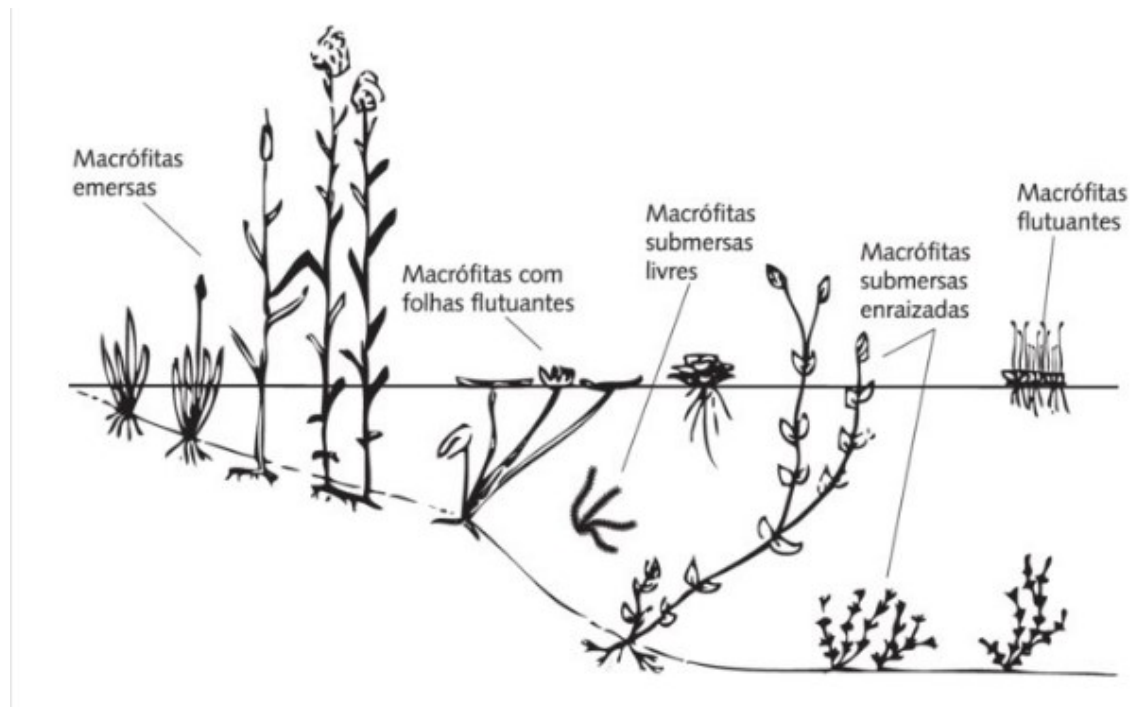
3.3 MACRÓFITAS AQUÁTICAS

As macrófitas aquáticas (macro = grande; fita = planta) são formas macroscópicas de vegetação aquática (WETZEL, 1993), cujas partes fotossinteticamente ativas estão, permanentemente ou por alguns meses do ano, submersas em água ou flutuantes em sua superfície (COOK, 1974).

São várias as terminologias utilizadas para descrever os vegetais observados no ambiente aquático, tais como hidrófitas, *helófitas*, *euhidrófitas*, *limnófitos*, plantas aquáticas, macrófitas, macrófitos aquáticos, entre outros (POMPÊO, 2017). A subfamília Lemnoideae possui cinco gêneros: *Lanoltia*, *Lemna*, *Spindorela*, *Wolffia* e *Wolffiella*.

Em virtude da heterogeneidade filogenética e taxonômica das macrófitas aquáticas, diferentes grupos dessas plantas são reconhecidos no Brasil, e elas são prioritariamente classificadas quanto ao seu biótipo. Essa classificação reflete, principalmente, ao grau de adaptação das macrófitas ao meio aquático (POMPÊO, 2017), como ilustrado na Figura 7.

Figura 7. Grupos ecológicos das macrófitas aquáticas.



Segundo Pompêo (2017) os biótipos de macrófitas aquáticas são:

- A) Macrófitas aquáticas emersas: enraizadas no sedimento, e com folhas atingindo a superfície da água. Exemplo: *Echinochloa*, *Typha*;
- B) Macrófitas aquáticas com folhas flutuantes: enraizadas no sedimento e com folhas flutuantes. Exemplo: *Eichhornia*, *Limnobium*;
- C) Macrófitas aquáticas submersas enraizadas: crescem totalmente submersas na água. Exemplo: *Vallisneria*, *Nitella*;
- D) Macrófitas aquáticas submersas livres: plantas com rizoides pouco desenvolvidos e que permanecem flutuando submergidas na água. Exemplo: *Utricularia*; e

E) Macrófitas aquáticas flutuantes: plantas que flutuam na superfície da água. Exemplo: *Nymphaea*, *Nymphoides*, *Lemnas*.

A flora aquática cumpre um papel importante na ecologia dos ecossistemas aquáticos. As macrófitas aquáticas possuem grande capacidade de adaptação e amplitude ecológica, sendo encontradas nas margens e nas áreas rasas de rios, lagos e reservatórios, nas regiões costeiras, em água doce, salgada e salobra (POMPÊO, 2017).

A colheita das macrófitas pode causar impactos à medida que revolve o sedimento, aumenta a turbidez da água e a coleta direta de muitos organismos aquáticos, como peixes, crustáceos e tartarugas (PITELLI et al., 2002). No caso das lemnáceas, a colheita é mais simples, porque são pouco volumosas e ideais para tanques.

As diversas espécies de macrófitas possuem diferentes capacidades de remoção de nutrientes do meio aquático. Esta capacidade depende de alguns fatores, que variam de espécie para espécie, tais como produção de biomassa, estocagem de nutrientes na biomassa, adaptação às condições climáticas locais e às características físicas e químicas do efluente tratado (TANNER, 1996).

O uso de macrófitas flutuantes em viveiros de peixes é uma alternativa adequada, de baixo custo e ecologicamente correta para reduzir as cargas de nitrogênio e fósforo dos efluentes (OSTI et al., 2020).

3.3.1 Fitorremediação ou biorremediação

O tratamento de efluente utilizando macrófitas aquáticas, na aquicultura é baseado no processo conhecido como fitorremediação, na qual se utilizam plantas aquáticas na absorção dos nutrientes, principalmente nitrogênio e fósforo dissolvidos na água.

A fitorremediação é um processo de absorção de poluentes, de baixo custo, que converte os nutrientes em biomassa (ZHAO et al., 2014; SMANIOTTO, 2016). No caso das macrófitas aquáticas flutuantes, o processo de remoção de nutrientes ocorre por meio das raízes, denominado de rizofiltração.

A utilização de sistemas com macrófitas aquáticas, no tratamento de efluentes de aquicultura mostra que a remoção desses nutrientes da água pode permitir sua reutilização na atividade aquícola. Segundo (Muller 1995 apud POMPÊO 2017) a remoção de 14 mil t/dia de peso fresco de macrófitas, dos reservatórios de Americana, Bariri, Billings e Barra Bonita, permitiria produzir metano em quantidades suficiente para abastecer 10 mil veículos, com autonomia de 300 km/dia cada um.

Absorção direta da amônia pelas lemnas é uma forma eficiente e de baixo custo para o polimento de efluentes, pois em alguns casos substitui sistemas aerados para remoção de nitrogênio, sendo ideal no ambiente rural onde há mais área disponível e menos recursos financeiros (Osti, et al. 2020).

3.3.3 Lemnas

Originalmente, o termo “Lemna” designa um gênero de plantas aquáticas da subfamília *Lemnoideae* (Antiga família *Lemnaceae*). Com origem no latim, o termo *limnus* significa lago, com relação ao habitat natural destas (SKILCORN et al., 1993).

Para Mohedano (2010), as macrófitas aquáticas da família *Araceae*, subfamília *Lemnoideae*, conhecidas como Lemnas, podem ser utilizadas no polimento de efluentes de lagoas de estabilização, apresentando-se como uma opção eficiente em termos de remoção e de baixo custo. A *Lemnoideae* possui uma grande habilidade na assimilação de nutrientes e na disponibilização de condições favoráveis para a decomposição biológica da matéria orgânica.

O uso de lemnas para tratamento de efluentes despertou interesse devido à sua adaptação e eficiência. Para Cheng et al. (2002a), as principais características que favorecem a utilização desses vegetais na depuração de efluentes orgânicos segundo esses autores, são:

- * Elevada exigência nutricional de nitrogênio e fósforo;
- * Maior velocidade de crescimento entre as plantas vasculares;
- * Remoção de DBO e sólidos suspensos;

- * Reduzem o crescimento e proliferação de algas devido à baixa penetração de luz;
- * Diminuem a proliferação de insetos por barreira física;
- * Apresentam biomassa de elevada qualidade nutricional, agregando valor ao tratamento.

Segundo Iqbal (1999) e Smaniotto (2016), as colheitas frequentes de Lemnas e sua quantidade cumprem um papel importante na eficácia do tratamento e no valor nutricional das plantas. A remoção periódica da biomassa excedente e o manejo adequado nos nutrientes presentes na água garantem a melhoria nas velocidades de reprodução.

A utilização das lemnas como uma tecnologia no tratamento de efluentes está baseada em uma aptidão natural desses organismos a se desenvolverem em ambientes eutrofizados, assim como as lagoas de tratamento. Deste modo, as lemnáceas apresentam rusticidade para suportar elevadas cargas de matéria orgânica, sólidos suspensos e nutrientes, além de variações bruscas no pH (MOHEDANO 2010).

3.3.3.1 Crescimento das Lemnas

Segundo Ge et al. (2012) As Lemnas possuem alta capacidade de crescimento, em torno de 3,5 g/m². dia. As Lemnas por apresentarem crescimento rápido normalmente seguindo taxas exponenciais, podem dobrar sua massa em 2 a 3 dias, em condições ideais de luz, temperatura e nutrientes (SKILICORN et al., 1993; SMANIOTTO, 2016). Em média uma planta gera 20 outros indivíduos. Sua reprodução é principalmente vegetativa, no qual as frondes filhas brotam de bolsos reprodutivos no lado de uma fronde madura (SMANIOTTO, 2016).

As Lemnas crescem rapidamente com rendimentos acima de 44 t/ha/ano (matéria seca) avaliadas sob condições experimentais, com variações de temperatura entre 6° e 33°C (ZHAO et al., 2014; SMANIOTTO 2016).

A produtividade de Lemna pode variar de 10 a 30 t/ha/ano de matéria seca, assumindo uma produtividade anual média de 17,6 t/ha/ano com nível proteico de

37% na matéria seca. A produção de proteína por hectare da Lemna é mais alta do que a maioria dos vegetais cultiváveis e cerca de 10 vezes maior que a da soja (IQBAL, 1999).

Para França (2008), a Lemna em condições de total exposição ao sol e outros fatores ambientais, cessa o seu crescimento e desenvolvimento quando a temperatura está abaixo de 10° ou superior a 40°, apresentou rendimentos em águas fertilizadas em até 168 t/ha/ano de biomassa fresca.

3.3.3.2 Valor nutricional e aplicação da biomassa

As lemnas são reconhecidas pelos altos teores de proteína em sua composição, comparadas com outros vegetais. A produção de proteína depende das condições de crescimento, principalmente concentrações de nitrogênio e fósforo e fatores como clima e incidência solar (SKILICORN et al., 1993). Quando as concentrações de nutrientes são baixas, os teores de proteínas são menores, 15% a 25%, e aumentam os teores de fibras, 15% atingindo até 30%.

Smaniotto et al. (2016) destacam alta produtividade das lemnas na produção de proteína com teor de 45%, superior a teores de outros vegetais como a soja, por exemplo. França (2008) destaca na composição das cinzas quantidades significativamente grandes de potássio, sódio, cálcio e magnésio, pequenas quantidades de alumínio, ferro, cobre, manganês e zinco, valores apresentados para *Lemna valdiviana* cultivada em meio enriquecido com excrementos de aves.

Para Tavares (2004) as lemnas apresentam teores de aminoácidos essenciais como leucina, arginina e valina significativas, nas plantas da família Lemnaceae, em quantidades menores encontram-se metionina, cistina e triptofano. Em relação aos compostos vegetais e outras fontes, as lemnas apresentam altos teores de lisina e metionina. Os teores podem ser comparados com os valores de soja e amendoim.

A produção de biomassa de grande valor nutricional pode chegar a mais de 40% de proteína bruta e apenas 15% de fibras (HASSAN; EDWARDS, 1992). Outros trabalhos mostram também que o teor de amido nessas plantas pode variar de 3 a

75%, variando de acordo com a manipulação das condições de crescimento, como a restrição de nutrientes, o que possibilita o seu aproveitamento em produtos de interesse (CHENG et al., 2002a).

Com concentrações adequadas de nutrientes, níveis de calor e luz, os teores de proteínas chegam a 43% (LENG; STAMBOLIE; BELL, 1995). Segundo estes mesmos autores, os índices de lipídeos são relativamente baixos em relação aos índices de proteínas, na faixa de 5%.

As colheitas regulares asseguram que os nutrientes acumulados sejam continuamente removidos do sistema. Com isso, uma alternativa para tais resíduos provenientes da biomassa de *Lemnas* pode ser o seu uso na incorporação em ração animal ou ser utilizada diretamente na alimentação de peixes, pois a planta apresenta teores de proteína bruta em torno de 35%, o que somado a sua taxa de crescimento e ao elevado teor de proteína, a torna 20 vezes superior que a soja em níveis proteicos (MOHEDANO et al., 2012).

Para Pompêo (2017) existem inúmeras aplicações da biomassa de macrófitas aquáticas. Entre os usos múltiplos estão os, fármacos, bioissorção, fitorremediação, fertilizantes, biogás, adubação de tanques de piscicultura e uso na composição da ração animal e consumo humano. São possibilidades que mostraram efetividade em seu aproveitamento.

De acordo com Costa (2014) a espécie *Landoltia punctata* cultivada em esgoto doméstico tratado, apresentou os teores de Amido 6,53%, Celulose 12,83%, Proteína Bruta 34,27%, e Cinzas 10,5%. De modo geral, em condições que viabilizam o crescimento (rico em nutrientes), a biomassa tem um percentual relativamente baixo de amido, visto que para sua reprodução a energia é adquirida por meio da fotossíntese, que é também necessária para o armazenamento de amido, fazendo com que o acúmulo de amido concorra com o crescimento por energia (XIAO et al., 2013)

3.3.3.3 Espécie *Landoltia punctata*

Les e Crawford (1999) descreveram um novo gênero para a sub-família *Lemnoideae*: o gênero *Landoltia*. Derivado de *Spirodela*, o gênero *Landoltia* foi dado em homenagem a Elias Landolt (HESS; LANDOLT; HIRZEL, 1976; BEPPU et al., 1985; LES; CRAWFORD, 1999; LES et al., 2002). No entanto, em virtude do aprimoramento das técnicas de biologia molecular, mudanças taxonômicas vêm ocorrendo nesse grupo botânico (ILES et al., 2015; NAUHEIMER; METZLER; RENNER, 2012). A espécie utilizada neste trabalho foi *Landoltia punctata*, cuja classificação segundo Mohedano (2010) é:

Reino: Plantae

Divisão: Angiospermae

Classe: Monocotyledoneae

Ordem: Arales

Família: Araceae (Lemnaceae)

Sub-família: Lemnoideae

Gênero: *Landoltia*

Espécie: *Landoltia punctata*

Les e Crawford (1999) descreverem a *Landoltia punctata* da seguinte forma:

Frondes flutuantes na superfície, ovadas a lanceoladas, levemente assimétricas, podendo ser até duas vezes mais longas que largas; fronde inflada ou não inflada com 1 linha de papilas, ao centro, no lado superior da fronde; 2 cavidades reprodutivas ou vegetativas, laterais; às vezes com bordos avermelhados; frondes senescentes com células de pigmentos; 2 a 5 raízes por fronde de 15mm de comprimento.

Na Figura 8 são apresentados detalhes das características morfológicas da *Landoltia punctata*.

Figura 8. *Landoltia punctata*



Fonte: Pereira et al. (2016).

- a. vista adaxial, evidenciando até seis frondes unidas, com papilas;
- b. bordos da fronde às vezes arroxeados;
- c. duas raízes por fronde, nervuras pouco vistas;
- d. fronde clarificada, evidenciando as três nervuras por fronde.

Segundo Smaniotto (2016), a presença ou ausência de raízes é uma das principais diferenças entre as espécies, além do número de raízes por fronde; a espécie *Landoltia punctata* difere-se das demais, pois possui duas ou mais raízes por fronde, em comparação com as espécies do gênero *Lemna* que possuem apenas uma raiz por fronde, e de *Wolffia* e *Wolffiella* que não possuem raízes.

As frondes podem ser observadas nas Figuras 9 e 10, que mostra as lemnas produzidas no experimento.

Figura 9. *Landoltia punctata*, produzida no experimento



Fonte: Elaboração do autor (arquivo pessoal – 30/08/2019).

Figura 10. Duas a três raízes saindo do fronde



Fonte: Peter de Lange (2021).

A distribuição geográfica da *Landoltia punctata*, conforme Figura 11, informada pelo Sistema de informação sobre a biodiversidade brasileira – SiBBr, mostra que a espécie está disposta nas regiões sul e sudeste do Brasil.

Figura 11. Distribuição geográfica da *Landoltia punctata* no Brasil



Fonte: SiBBr (2021)

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 LOCALIZAÇÃO

O experimento proposto foi conduzido na área experimental, localizada no Laboratório de Saneamento do Departamento de Engenharia Civil, da UNESP – Campus de Ilha Solteira, localizado na região noroeste do Estado de São Paulo, Brasil.

4.2 MATERIAIS

Neste experimento foram utilizadas as espécies: tilápia-do-nilo (*Oreochromis niloticus*) e a Lemna (*Landoltia punctata*). Além do SRA-DCMABR.

Optou-se pela tilápia, por ser, reconhecidamente, a espécie que melhor se adapta a diferentes condições de qualidade da água. São tolerantes a baixas concentrações de OD, convivem em uma faixa bastante ampla de acidez e alcalinidade da água, crescem e até mesmo se reproduzem em águas salobras e salgadas e toleram altas concentrações de amônia tóxica comparadas à maioria dos peixes cultivados (KUBITZA, 2000).

Na definição da espécie da *Landoltia punctata* para ser utilizada no polimento do efluente aquícola, observou-se algumas premissas, de acordo com os objetivos propostos: Excelente produtividade de biomassa, alto teor de proteína e elevada eficiência na remoção de nutrientes. A *Landoltia punctata*, é uma espécie de Lemna que se desenvolve durante o ano todo (ZHAO *et al.*, 2014).

Este trabalho foi executado em duas áreas experimentais distintas. Na área interna do Laboratório, utilizou-se o SRA-DCMABR, para o cultivo de tilápias, com a finalidade de produzir efluente, rico em nutrientes. O efluente de descarte foi utilizado como substrato, no cultivo das lemnas. Na área externa ao laboratório, foram empregadas 4 caixas de polietileno de 500L, denominadas de lagoas de cultivos (LC), sendo 3 com lemnas e 1 controle sem lemnas.

A geração dos gráficos e as estatísticas foram feitas com auxílio da planilha EXCEL 2007 (Microsoft).

4.2.1 SRA-DCMABR

O SRA-DCMABR é composto por um tanque de 1.000L, para o cultivo de tilápias, um decantador de coluna (DC) para remoção de sólidos sedimentáveis, e na sequência tem um reator aeróbio MABR com circulação em tubos concêntricos de policloreto de vinila (PVC) para distribuição de água no sistema. A Figura 12 mostra a área interna do laboratório de saneamento, onde está instalado o SRA-DCMABR.

Figura 12. Área interna do laboratório, com o SRA-DCMABR experimental no Laboratório de Saneamento da Unesp – Campus de Ilha Solteira



Fonte: Elaboração do autor. Nota: arquivo pessoal – 30/08/2019.

O DC foi dimensionado com um tubo de PVC de 400 mm de diâmetro, 2,50 m de altura e volume de 0,30 m³ para o sistema de tratamento de efluentes, com

Figura 14. Conjunto de duas eletrobombas de 34w cada, para recircular a água no sistema



a – bombas em seqüência

b – potência das bombas

Fonte: Elaboração do autor (arquivo pessoal – 03/03/2021).

Figura 15. Soprador de ar utilizado para fornecer oxigênio aos peixes



Fonte: Elaboração do autor. Nota: arquivo pessoal – 03/03/2021.

4.2.2 Lagoas de cultivo (LC)

Na área externa ao laboratório, o sistema experimental foi confeccionado por quatro unidades de caixas de polietileno, de formato cilíndrico com um volume de 0,5 m³ cada, denominadas de Lagoas de Cultivo (LC1, LC2, LC3) com utilização das lemnas para tratamento e Lagoa de Acumulação (LA4) sem tratamento das lemnas, controle. As lagoas apresentam uma área total de 3,8 m², as lagoas com Lemnas possuem uma área de 2,85 m², estão dispostas independentes entre si. A Figura 16 ilustra a área externa e as caixas de cultivo.

Figura 16. Área externa ao Laboratório de Saneamento, com as caixas de 500L.



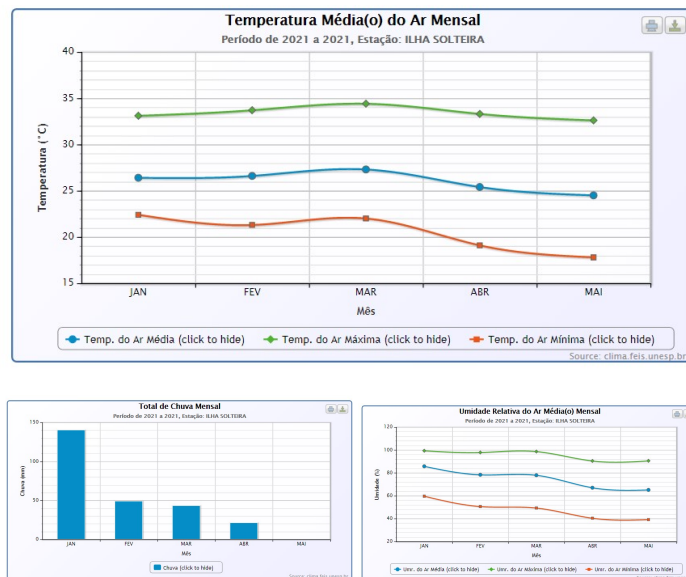
Fonte: Elaboração do autor. Nota: arquivo pessoal – 30/08/2019.

4.3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

4.3.1 Monitoramento climatológico

Os dados climatológicos monitorados, demonstrados na Figura 17, foram: temperatura, umidade do ar e pluviosidade, apenas para considerar as condições externas ao cultivo. Esses dados foram obtidos na Estação Agrometeorologia, UNESP de Ilha Solteira, por meio do site (<http://clima.feis.unesp.br/>).

Figura 17. Resultados das variações da média, temperaturas, umidade relativa do ar e pluviosidade, durante o experimento



Fonte: Unesp (2021).

4.3.2 Operacionalização do SRA-DCMABR

Utilizou-se os testes de recirculação feitos no mesmo reator Silva (2017) e Freddi e Matsumoto (2019) que foi estabelecida uma vazão de ar de 450L/h no difusor, o que gerou uma velocidade de circulação no tubo externo de 6,33cm/s.

O SRA-DCMABR possui um volume total de 1.320L, no qual se tem um tanque de cultivo (TC) com volume de água de 800L, mais 400L do DC e mais 120L do Reator MABR. A vazão de operação do reator MABR foi de 100L/h, portanto, conclui-se que o sistema leva aproximadamente 13h para tratar todo o volume, quase duas renovações completas de água durante o dia.

As coletas das amostras de água do SRA-DCMABR foram realizadas nos pontos: (1) do Saída do DC, (2) saída do RA, (3) na descarga do DC, (4) no tanque de cultivo. O volume do efluente retirado da descarga do fundo do DC foram de 40 litros diariamente, e colocados nas quatro LCs de forma igualitária, conforme Figura 13.

Esses procedimentos representaram uma renovação diária de 3% do volume total de água do SRA-DCMABR. O volume de água para reposição do sistema foi

proveniente da rede de abastecimento urbana, previamente desclorada num tanque de armazenamento e aerado com um soprador de ar de 1,0 cV.

4.3.3 *Biometria*

Foram realizadas três biometrias durante todo experimento, nos quais todos os peixes foram aferidos quanto aos pesos e comprimentos. Os animais foram anestesiados com benzocaina na concentração de 100mg/L de água, definidas por Ross e Geddes (1979). Os peixes foram pesados em balança analítica e medidos por um ictiômetro.

As tilápias foram alimentadas duas vezes ao dia com 3% do seu peso vivo. A Tabela 2 demonstra a composição da ração utilizada durante o experimento. A dieta oferecida foi à ração comercial da Laguna Sport com 28% de proteína bruta.

Tabela 2. Composição da ração e seus principais níveis de garantia

Elementos	Níveis de garantia
Umidade. máx.	130 g/kg
Proteína Bruta. mín.	28 g/kg
Extrato etéreo. mín.	40 g/kg
Fibra bruta. máx.	100 g/kg
Matéria mineral. máx.	140 g/kg
Cálcio. mín. e máx.	10 a 30 g/kg
Fósforo. máx.	2.000 mg/kg

Fonte: Dados da Pesquisa

Os dados de peso (g), comprimento (cm) bem como a quantidade de ração administrada entre biometrias, e durante todo o experimento, foram para análise do desempenho produtivo relacionados com a dieta animal (ração). O peso médio dos peixes cultivados foi calculado por meio da soma dos pesos de todos os peixes e dividido pelo número de peixes.

4.3.4 *Monitoramento e análise da qualidade de água*

O acompanhamento foi realizado durante o período de 26 de janeiro a 16 de março de 2021, dividido em duas etapas de 21 dias cada, para todos os oito pontos amostrados, sendo 4 no SRA-DCMABR e 4 nas LCs. Os parâmetros de qualidade de água analisados foram: pH, T, OD, Condutividade, Turbidez, DQO, Sólidos Totais (ST), Fósforo Total (FT) e Nitrogênio Total (NT).

Os monitoramentos dos parâmetros de pH, temperatura, OD, Condutividade, Turbidez, DQO, tiveram a aferição diariamente, enquanto que os Sólidos Totais, NT, FT, efetuados a cada três dias, no Laboratório de Saneamento. As amostras de água, para avaliação das variáveis de FT e NT foram acondicionadas em recipiente de 500 mL, congeladas e posteriormente levadas para o Laboratório de Referência em Limnologia do Instituto de Pesca, onde foram processadas. As metodologias utilizadas para a realização das análises estão descritas na Tabela 3. Todas as amostras foram coletadas por volta das 9:00h.

Tabela 3. As metodologias utilizadas para a realização das análises

Parâmetros	Metodologias Utilizadas
Temperatura da água (°C)	Sonda Multiparâmetro AK 88. ASCO
pH	Sonda Multiparâmetro AK 88. ASCO
Oxigênio dissolvido (mg/L)	Sonda Multiparâmetro AK 88. ASCO
Condutividade (uS/cm)	Sonda Multiparâmetro AK 88. ASCO
DQO	Método de fluxo fechado – método colorimétrico 5220 – (Standard Methods)
Sólidos Totais	Método 2540 – Standard Methods
Turbidez	Método com turbidímetro
Nitrogênio Total	Método da Digestão de Persulfato – Método 10071(Standard Methods)
Fósforo Total	Método de Redução por Azul de Molibdênio

Fonte: Elaboração do autor

A Tabela 4 traz a descrição dos pontos amostrais definidos para a realização do experimento e assim, verificar a eficiência na remoção dos nutrientes do SRA-DCMABR e do polimento das Lagoas com lemnas.

Tabela 4. Definição dos pontos de coleta das amostras.

Pontos	Descrição dos pontos	Formas de coletas
1	SDC - Saída do decantador de coluna.	500mL da saída da mangueira que retorna para a caixa de cultivo dos peixes. Congeladas em seguida.
2	SR - Saída do Reator.	500mL da saída mangueira que retorna para a caixa de cultivo dos peixes. Congeladas em seguida.
3	DDC - Descarga do decantador de coluna.	Retira-se 40 litros do efluente do fundo decantador, coleta-se 500mL, congeladas em seguida e depois distribuídas entres as Lagoas de Cultivos (LC) para o tratamento com lemnas.
4	TCP - Tanque de cultivos de peixes.	500mL. Água da superfície. Congeladas em seguida.
5	LA1 - Lagoa de acumulação sem lemnas (Controle). Recebe 10 litros de água do DDC, diariamente.	500mL. Água da superfície. Congeladas em seguida.
6	LC2 - Lagoa de cultivo com lemnas, recebe 10 litros de água do DDC, diariamente.	500mL. Água da superfície. Congeladas em seguida.
7	LC3 - Lagoa de cultivo com lemnas, recebe 10 litros de água do DDC, diariamente.	500mL. Água da superfície. Congeladas em seguida.
8	LC4 - Lagoa de cultivo com lemnas. Recebe 10 litros de água do DDC, diariamente.	500mL. Água da superfície. Congeladas em seguida.

Fonte: Elaboração do autor.

4.3.5 Cultivo da *Landoltia punctata*

No experimento utilizou-se o tratamento com a Lemna *Landoltia punctata* para realizar o polimento do efluente da descarga do fundo do DC. Nas LCs 2, 3 e 4 foram plantadas inicialmente 250g de Lemna úmida, em cada uma. LA1 sem Lemnas (controle), apenas com a descarga do DC. Todas as lagoas foram cobertas com tela para impedir a proliferação de mosquitos, e impedir a queda de folhas de árvores próximas.

Inicialmente as lagoas foram preenchidas com os efluentes da descarga do DC até atingirem 20 cm de lamina d'água, que representa um volume de 160L e depois abastecidas diariamente com 40L da descarga do fundo do DC do SRA-DCMABR, sendo 10L para cada LC. O tempo de detenção adotado de 21 dias.

A cada três dias, utilizou-se a colheita das lemnas nas LCs 2, 3 e 4 em uma área de 600cm², que corresponde a 6,31% dá área de cada LC. Dessa forma, os valores obtidos de taxa de crescimento serão para 3, 6, 9, 12, 15, 18 e 21 dias de

cultivo. Esse período de cultivo abrange o tempo de experimento realizado por (CHENG et al. 2002a; TROLEZI, 2019), para espécie *Lemna minor*.

As plantas foram colhidas nas três LCs, utilizando-se peneira e um quadro feito de tubos de PVC, com dimensões de 20X30cm. As lemnas foram deixadas à temperatura ambiente por mais ou menos 1 hora para escoar o excesso de água. Após o período transcorrido foram aferidas quanto ao seu peso fresco. Na sequência, as Lemnas foram colocadas em estufa por 48 horas a 50°C, para secagem e aferição de seu peso seco. No final de cada período de 21 dias todas as lemnas foram coletadas e depois repetidos todos os processos de pesagem e secagem. Após 5 dias do término da primeira etapa, o experimento foi repetido nos mesmos termos.

Ao término do processo de secagem as lemnas foram congeladas, e ao final do experimento as plantas foram encaminhadas para a realização das análises bromatológicas. As amostras foram enviadas para o Laboratório Terra Análises para Agropecuária LTDA e para os Laboratório de Análises Bromatológicas da UNESP – Ilha Solteira, os mesmos utilizados nas metodologias de análise de alimentos, descrita por Weende (1980) e Van Soest, (1967) que consiste em fracionar o alimento em água, cinzas ou matéria mineral (MM), proteína bruta (PB), fibra bruta (FB), extrato etéreo (EE) e extrativo não nitrogenado (ENN) (SMANIOTTO, 2016).

Os parâmetros analisados para determinar a bromatologia das amostras de lemna foram: Cálcio (Ca), Fósforo (F), Umidade, Proteína Bruta (PB), Fibra Bruta (FB), Extrato Etéreo (EE), Matéria Mineral (MM), Nutrientes Digestíveis Totais (NDT), Fibra de Detergente Ácido (FDA), Fibra de Detergente Neutro (FDN).

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 TEMPERATURA DO AMBIENTE

A temperatura ambiental aferida pela Estação Meteorológica da Unesp de Ilha Solteira, apresentou temperaturas médias em torno de 26,5°C, com uma variação entre 21,5 a 34,5°C.

Iqbal (1999) relatou que em temperaturas acima de 35°C pode haver redução da produtividade das plantas pelo estresse causado pelo calor. O autor afirmou ainda que a temperatura mínima para o crescimento das lemnas é de 7°C e que a faixa de temperatura ideal está entre 25°C e 31°C, dependendo da espécie.

Também devem ser considerados alguns fatores de estresse para a população de lemnas citados por Skilicorn et al., (1993), como: ventos fortes, elevadas temperaturas, super densidade, competição com microalgas e predação. (MOHEDANO, 2010). As lemnas crescem rapidamente com rendimentos acima de 44 t/ha.ano (matéria seca) avaliadas sob condições experimentais, com variações de temperatura entre 6° e 33°C (ZHAO *et al.*, 2014; SMANIOTTO, 2016).

Landolt e Kandeler (1987) citaram que o sombreamento de populações de lemnas promove um escurecimento na coloração das frondes, contudo, tanto nas lagoas como para as plantas utilizadas como padrão, a insolação foi direta, sem nenhum bloqueio para radiação solar (presença de árvores, muros, etc.).

Os dados climatológicos aferidos pela Estação Meteorológica da UNESP, durante o período experimental, apresentam boas condições para o desenvolvimento da cultura, não houve nenhum evento crítico significativo.

5.2 AVALIAÇÃO DOS PARÂMETROS DE QUALIDADE DE ÁGUA DO SRA-DCMABR

5.2.1 Temperatura

Os valores das temperaturas observados no SRA-DCMABR, nos quatro pontos amostrados, tiveram em média de 27,33°C, com temperatura máxima de 29°C e mínima de 26,2°C. Não houve mudanças significativas entre os pontos amostrados. A temperatura média durante o experimento ficou dentro de faixa ideal

para o cultivo da espécie Tilápia do Nilo em sistemas de recirculação, que segundo (KUBITZA, 2000) fica entre 24 a 29 °C.

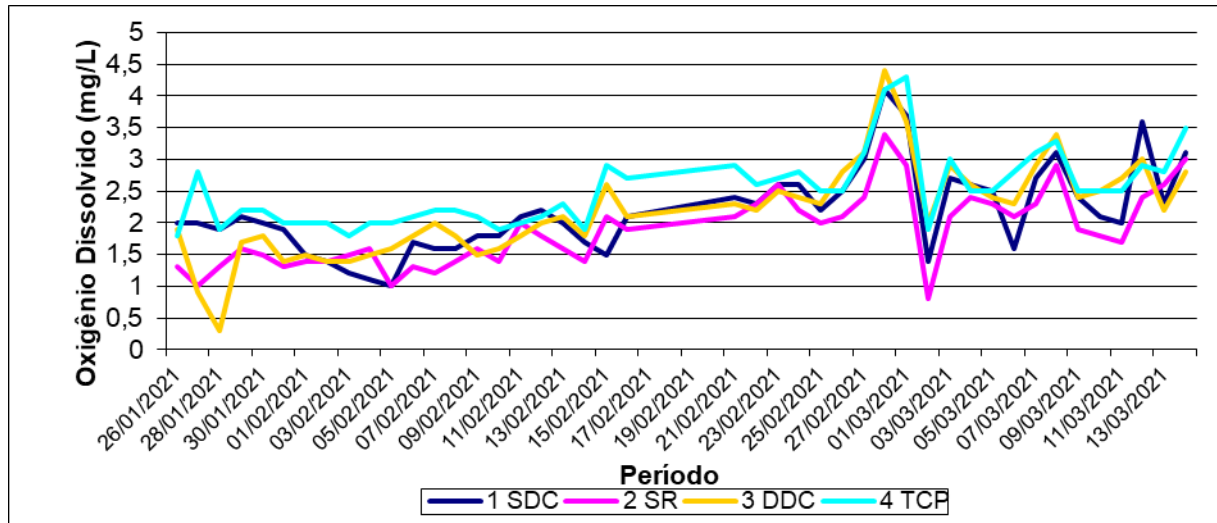
5.2.2 Potencial Hidrogiônico (pH)

Os valores de pH oscilaram dentro da faixa recomendada para o cultivo de tilápias e para o desenvolvimento dos microrganismos úteis para o sistema de tratamento dos efluentes utilizado. Os valores de pH obtidos nos pontos amostrados na média variaram entre 7,4 a 7,7. Sendo que os valores de 6,8 e 8,0, são ideais para o processo de nitrificação (MASSER *et al.*, 1999). Para Boyd (2000), a faixa ideal de pH da água para cultivo de peixes em viveiros vai de 6,5 a 9,0, abaixo ou acima desses valores, há estresse e retardo no crescimento animal. Quando o pH da água de cultivo estiver abaixo de 4,0 ou acima de 11,0, há risco de morte iminente dos animais.

Segundo Pedreira *et. al.* (2009) na biofiltração de água em um SRA o pH é um parâmetro a ser avaliado, pois concentrações muito ácidas ou básicas podem interferir no processo de nitrificação. O autor obteve valores de pH entre 6,9 a 7,5. Almeida (2020) obteve valores médios similares de concentração pH em seu experimento.

5.2.3 Oxigênio dissolvido

Os valores anotados de OD foram obtidos nos quatros pontos: TCP, SDC, SR, e na DDC. Os resultados das concentrações anotados estão apresentados na Figura 18.

Figura 18. Valores das concentrações de OD nos pontos do SRA-DCMABR

Fonte: Dados da Pesquisa.

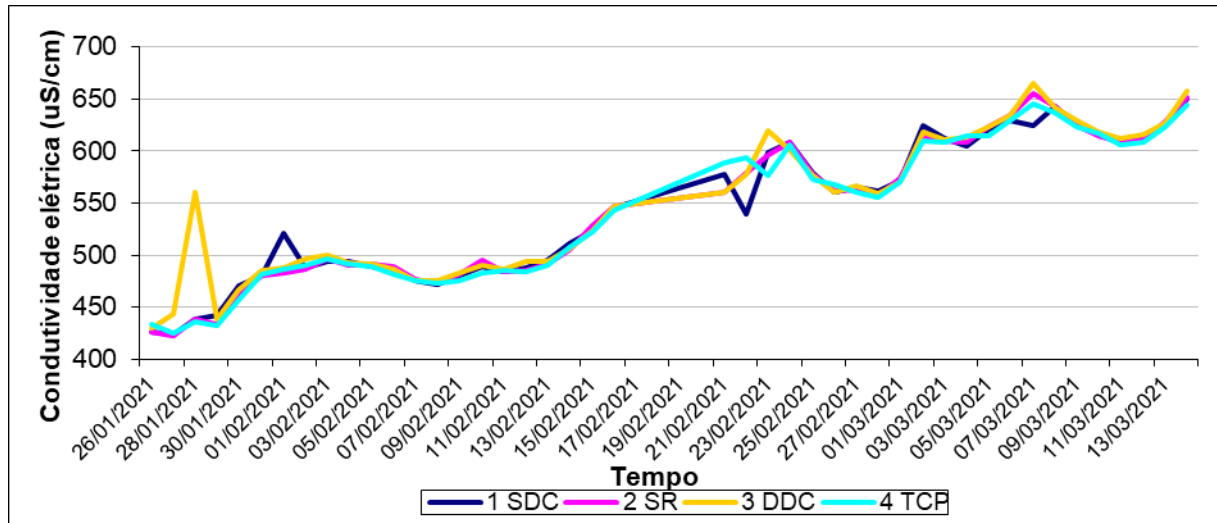
Todos os valores médios obtidos de concentração do OD, nos quatros pontos, ficaram abaixo das necessidades ideais para o cultivo da espécie de Tilápia, que segundo Kubitza (2000) ficam na faixa recomendada de 3.5 a 6.0mg/L. Aparentemente os peixes não demonstravam comportamento característico de falta de oxigênio. De uma forma geral o OD de 2.5mg/L esteve abaixo do aconselhado por especialistas. Almeida (2020) obteve concentrações médias de 3.5 até 5.4mg/L no mesmo sistema.

5.2.4 Condutividade elétrica

A condutividade fornece elementos sobre o metabolismo do tanque, ajudando a detectar fontes poluidoras no sistema. Quando seus valores são altos, indica grau de decomposição elevado, o inverso demonstra acentuada produção primária (algas e microrganismos aquáticos), sendo, portanto, uma maneira de avaliar a disponibilidade de nutrientes nos ecossistemas aquáticos. Sipaúba-Tavares (2013), cita que valores altos de condutividade elétrica indicam grau de decomposição elevado, por outro lado valores reduzidos assinalam acentuada produção primária, sendo, portanto, uma maneira de avaliar a disponibilidade de nutrientes nos ecossistemas aquáticos.

Durante o estudo, constataram-se valores de condutividade elétrica (Figura 19) sempre em constante crescimento.

Figura 19. Concentração da condutividade elétrica no Sistema

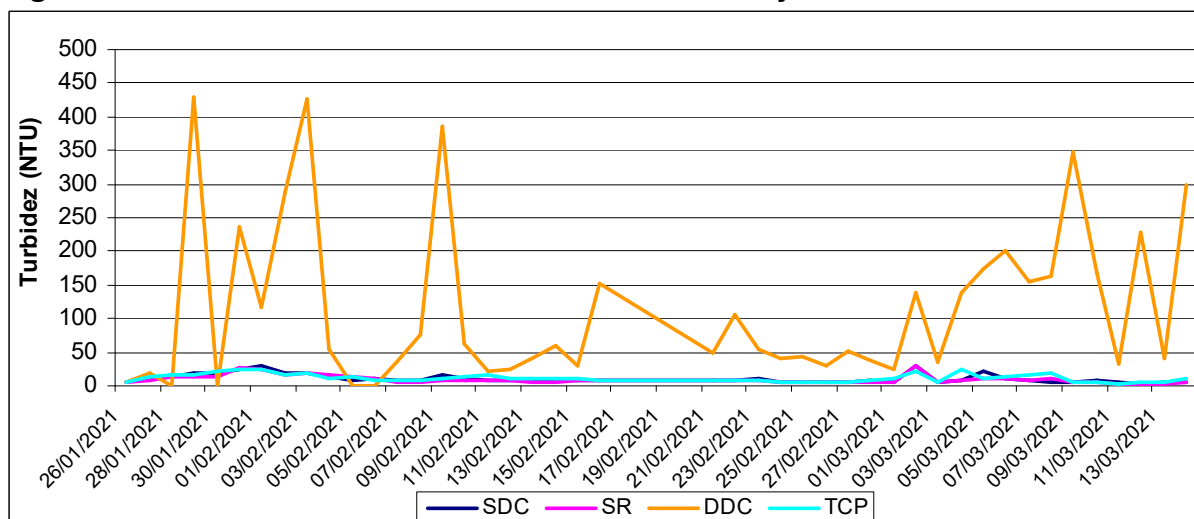


Fonte: Dados da Pesquisa.

5.2.5 Turbidez

Os valores de turbidez nos quatros pontos de coleta do SRA-DCMABR estão apresentados na Figura 20. O gráfico demonstra que a maior concentração média da turbidez está no ponto DDC e corresponde a 91% em relação à média dos demais pontos.

Figura 20. Valores de turbidez no sistema de recirculação



Fonte: Dados da Pesquisa

Os resultados demonstram a eficiência na redução da concentração da turbidez, sendo elevada somente no fundo do decantador de coluna. Para Almeida (2020), em experimentos utilizando o reator aeróbio no tratamento de efluente de um

SRA, obtiveram, em média, remoção igual a 50% para turbidez. Os valores obtidos nesse experimento diferem dos encontrados nesta pesquisa, pois a referência utiliza foi à descarga do decantador, e não a saída do decantador, em relação à média dos demais pontos amostrados.

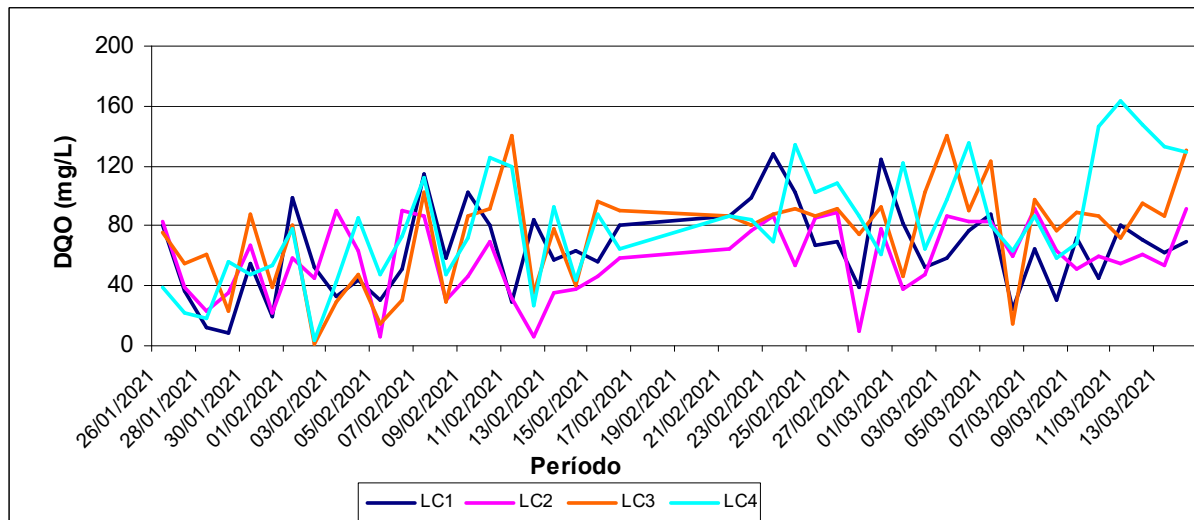
As concentrações de turbidez medidas, nos pontos SDC, SR, e TCP, durante todo o experimento foram satisfatórias ficando dentro de uma faixa ideal de sobrevivência dos peixes. Mercante et al 2007, obteve valores constantes de 90NTU abaixo de 100NTU que é o valor limite na Resolução CONAMA 357/2005. Tais resultados demonstram a eficiência do SRA-DCMABR na redução da concentração a turbidez nesses pontos e o acúmulo no fundo do decantador de coluna, facilitando assim a sua remoção.

Os resultados das análises de turbidez no ponto DDC, levando em consideração a Resolução 357/2005, estão fora do permitido pela legislação. A Resolução indica como valor máximo de turbidez da água a ser descartada, 100NTU.

5.2.6 Demanda química de oxigênio

As concentrações e padrões observados da DQO nos pontos SDC, SR e TCP demonstram valores médios muito próximos da média entre eles de 62 mg/L. Os resultados demonstram uma eficiência na redução da concentração em relação aos valores médios do ponto DDC. A água que retorna para os peixes apresenta uma concentração de DQO bem inferior após o tratamento no decantador e no reator do SRA-DCMABR. Conforme os dados apresentados na Figura 21.

Figura 21. Valores de DQO nos quatros pontos de coleta de amostras no SRA-DCMABR.



Fonte: Dados da Pesquisa.

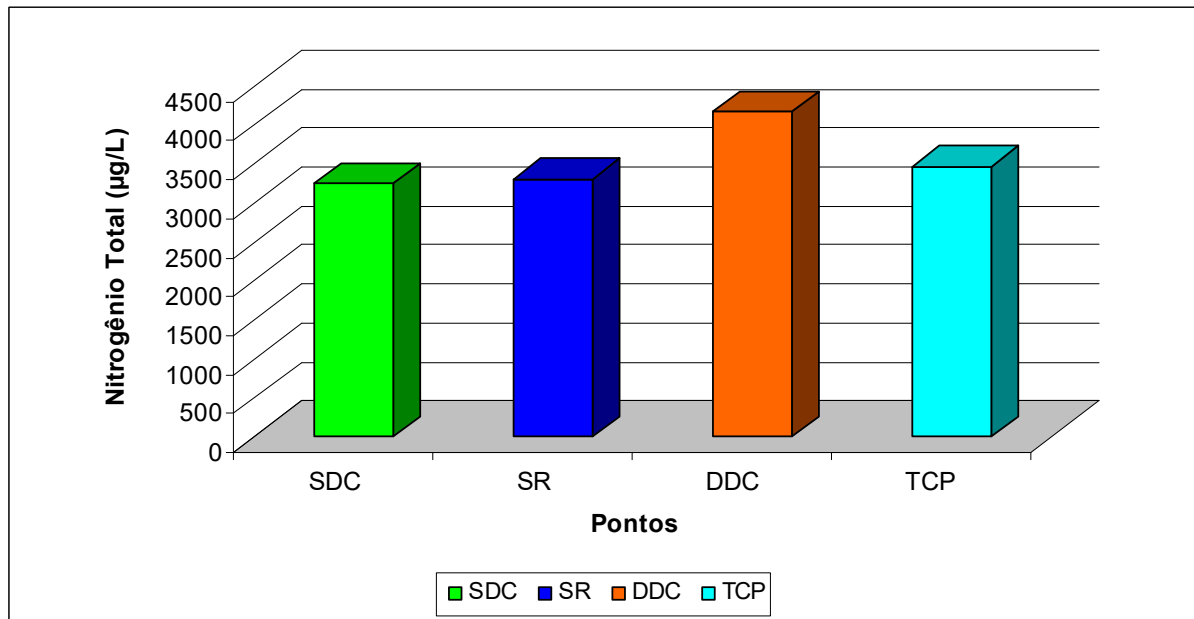
Os resultados encontrados na remoção das concentrações de DQO durante o experimento demonstraram ser satisfatórias para o cultivo de peixes, resultante da descarga diária de 40 litros do DC e da eficiência redutora do SRA-DCMABR, desta forma, pode-se concluir que o SRA se mostrou eficaz na remoção da DQO obtendo-se no final uma remoção média de 68% das concentrações da DQO, Matsumoto e Sánchez Ortiz (2016) obtiveram resultados semelhante na remoção de 64,9%.

5.2.7 Nitrogênio total

Em sistemas de recirculação aquícola é muito importante à redução das concentrações de amônia na água, devido a sua constante produção por um resíduo metabólico por parte dos peixes e resíduos de ração, consequentemente há um acúmulo desse composto tóxico no sistema (PORTO, 2010).

Os valores obtidos e analisados de NT nos pontos de coleta SR e SDC demonstram uma redução de concentração média de 21% em relação à encontrada no ponto DDC (Figura 22). Esse resultado foi o mesmo encontrado, por Almeida, (2020), sendo que para Freddi e Matsumoto (2019) essa redução foi de 35%. A perda do nitrogênio por volatilização de amônia e por desnitrificação, juntas, podem representar entre 28 e 40% da remoção total, dependendo da carga inicial (ZIMMO et al., 2000).

Figura 22. Valores médios de NT nos quatros pontos de coleta ao longo do tempo.



Fonte: Dados da Pesquisa.

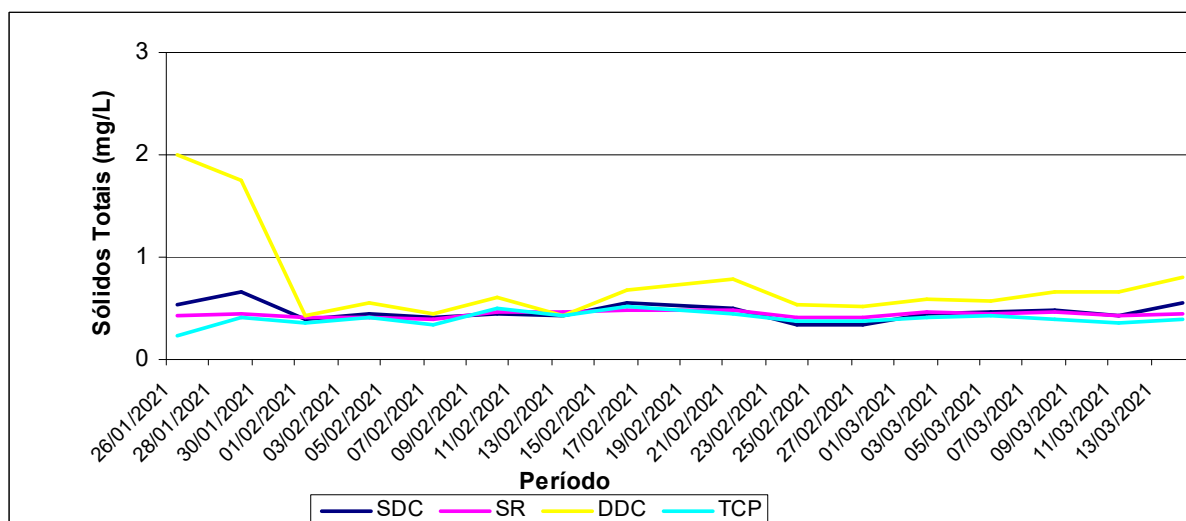
Na Tabela 22 são apresentados os valores médios de NT nos diferentes pontos amostrados neste estudo. No caso de NT, a eficiência de remoção foi de 22,2% para o período após a estabilização das concentrações de NT no SRA-DCMABR. Esse resultado foi inferior se comparado com os resultados alcançados por Matsumoto e Sánchez Ortiz (2016), que obtiveram remoção de 35,2% no SRA-DCMABR.

Com os resultados encontrados, foi possível afirmar que o sistema apresentou eficiência na redução da concentração de NT. Pode-se concluir que o SRA-DCMABR foi parcialmente eficaz na remoção desse nutriente.

5.2.8 Sólidos totais

Os valores obtidos para este parâmetro físico quanto às concentrações estão apresentados na Figura 23. Os dados da média, máxima e mínima (Tabela 5) calculados nos pontos SDC, SR, DDC e TCP, demonstram uma eficiência na remoção média de 33,72%. Almeida (2020) e Maigual-Enriquez (2013) obtiveram remoção média de 9% a 11% (0-35%) e 22,71% a 69,47%, respectivamente.

Figura 23. Valores de sólidos totais nos pontos SDC, SR, TCP e DDC, do SRA-DCMABR.



Fonte: Dados da Pesquisa

A remoção efetiva dos sólidos em um SRA é provavelmente o mais complexo processo, para se ter sucesso econômico em longo prazo. A ineficiência na remoção dos sólidos implica na qualidade da água e, conseqüentemente, o desempenho dos peixes e compromete o perfeito funcionamento do biofiltro (EBELING et al, 2006).

Tabela 5. Resultado das análises de sólidos totais das médias, do mínimo e máximo das amostras dos pontos do SRA-DCMABR.

Sólidos totais	SDC	SR	DDC	TCP
Média	0.457	0.441	0.666	0.408
Mínimo	0.334	0.396	0.430	0.336
Máximo	0.668	0.490	1.744	0.512

Fonte: Dados da Pesquisa

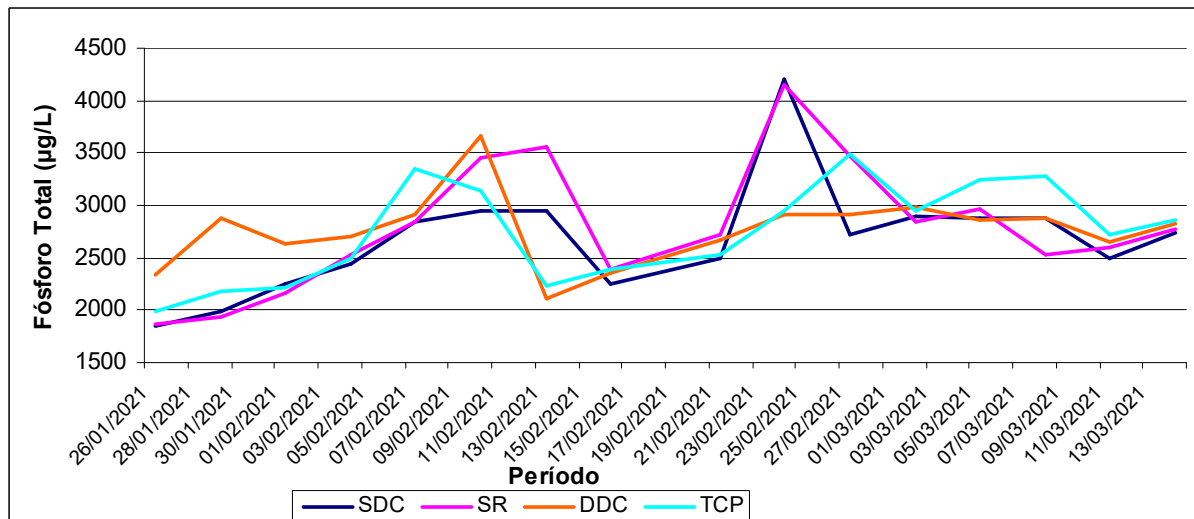
Pode-se dizer que os resultados observados na redução dos sólidos totais, demonstraram que o SRA-DCMABR teve uma eficiência significativa, pois reduziu as concentrações de sólidos totais e as manteve baixas.

5.2.9 Fósforo total

Segundo Almeida (2020), para que haja remoção biológica do fósforo é necessário que os organismos acumuladores de fosfato sejam expostos a ambientes anaeróbio e aeróbio. Sun et al. (2015), obteve eficiência de 85% na remoção de

fósforo, quando utilizou no seu trabalho aeração intermitente com 5 horas de aeração seguido de 4 horas sem aeração, e posterior aeração por mais 3 horas fechando o ciclo de 12 horas para o reator em batelada.

Figura 24. Concentrações de FT nos quatros pontos de amostragem do SRA-DCMABR



Fonte: Dados da Pesquisa.

Os resultados obtidos pelas análises, para esse parâmetro, nos quatro pontos amostrados, apresentaram um constate aumento nas concentrações de FT durante todo experimento. Assim, pode-se afirmar que não houve eficiência de remoção de FT. O sistema apresenta tendência de acúmulo deste nutriente. As concentrações de fósforo nos quatros pontos de coleta do SRA-DCMABR (Figura 24) exprimem uma tendência de alta. Não houve diferença significativa entre os pontos amostrados ao longo do tempo.

5.3 AVALIAÇÃO DOS PARÂMETROS DA QUALIDADE DE ÁGUA NAS LAGOAS DE CULTIVO

5.3.1 Temperatura da água

Os valores observados de temperatura da água (Tabela 6) se mantiveram constantes e muito próximos em todas as LCs, com pequenas variações, durante todo o experimento. A manutenção da temperatura constante é um fator importante, durante o andamento dos ensaios, pois afeta diretamente a atividade fotossintética.

Landolt e Kandeler (1987) relatam que a temperatura ótima para *Landoltia punctata* está entre 21 e 30°C.

Tabela 6. Variações da temperatura nas lagoas de cultivo.

Temperatura	LA1	LC2	LC3	LC4
Média	27.6	27.8	28.1	28.2
Mínima	24.6	24.7	24.6	24.7
Máxima	30.2	30.8	31.2	31.2

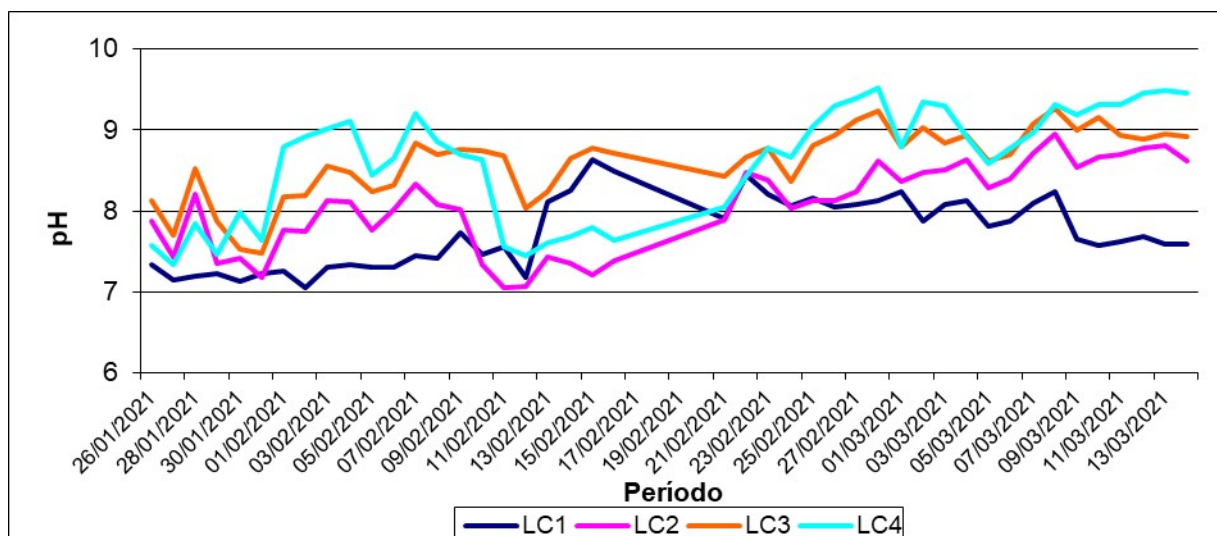
Fonte: Dados da Pesquisa

As variações de temperatura observadas interferiram negativamente na atividade fotossintética e no desenvolvimento da *Landoltia punctata*, pois ficaram entre a faixa de 24,6°C a 31,2°C no decorrer de todo o experimento, e apresentam uma média de 28°C. Driever et al. (2005) citam que a temperatura influencia o crescimento de forma linear, onde temperaturas abaixo de 5°C e acima de 26°C podem comprometer o desenvolvimento das plantas.

5.3.2 Potencial Hidrogiônico (pH)

O pH influencia diretamente no processo de absorção direta de nitrogênio amoniacal pelas macrófitas, pois em pH elevado a amônia apresenta efeito tóxico às lemnas (CAICEDO, 2005). Os valores de pH observados nesse experimento (Figura 25) com o tratamento com a *Landoltia punctata*, demonstram média de pH 8,4.

Figura 25. Valores de pH medidos durante todos os dias do experimento



Fonte: Dados da Pesquisa.

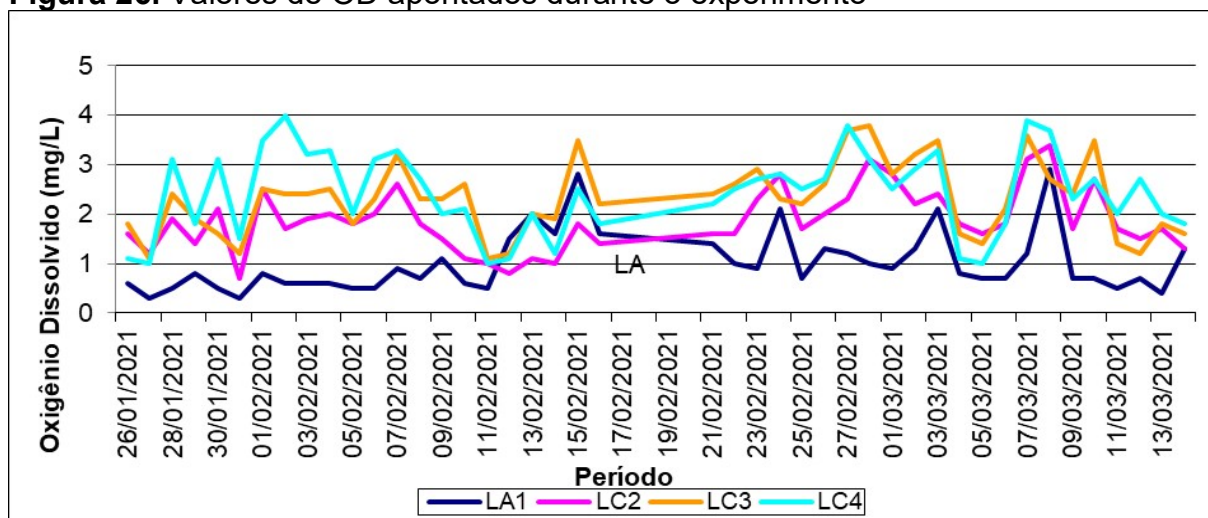
Mohedano (2010) ressalta que, para um pH 8, a amônia não deve ultrapassar 50mg/L, assim em pH 7 as lemnas toleram concentrações de 100mg/L. Por outro lado, Cheng et al. (2002b) reportam que *Landoltia punctata* podem desenvolver-se mesmo sob uma concentração de 240mg/L N-NH₄⁺.

Os valores de pH nas lagoas de cultivo, LC2, LC3 e LC4, que tinham tratamento com as lemnas, apresentaram números bem superiores e com tendência de alta crescente em relação aos dados atingidos pela lagoa LA1, que não possui tratamento. Wendeou et al. (2013) mostrou que os valores de pH aumentaram ligeiramente quando tratados, é devido à fotossíntese que consome gás CO₂ e eleva o pH.

5.3.3 Oxigênio dissolvido

As medidas realizadas do OD (Figura 26) nas lagoas de lemnas foram feitas dentro de cada lagoa próxima a superfície. Durante todo o estudo, a concentração média de OD observada nas LCs 2, 3 e 4 foi de 2,2mg/L. Teles (2016) obteve, no seu trabalho, uma média nos pontos amostrados de 2,4 mg/L. Na Figura 24 são apresentados os resultados do OD. A presença de OD em lagoas de lemnas é um ponto divergente entre os autores, conforme descrevem Mohedano et al. (2012), ao mesmo tempo em que a atividade fotossintética favorece a oxigenação a cobertura vegetal diminui a superfície de contato com a atmosfera reduzindo a difusão do oxigênio.

Figura 26. Valores de OD apontados durante o experimento



Fonte: Dados da Pesquisa.

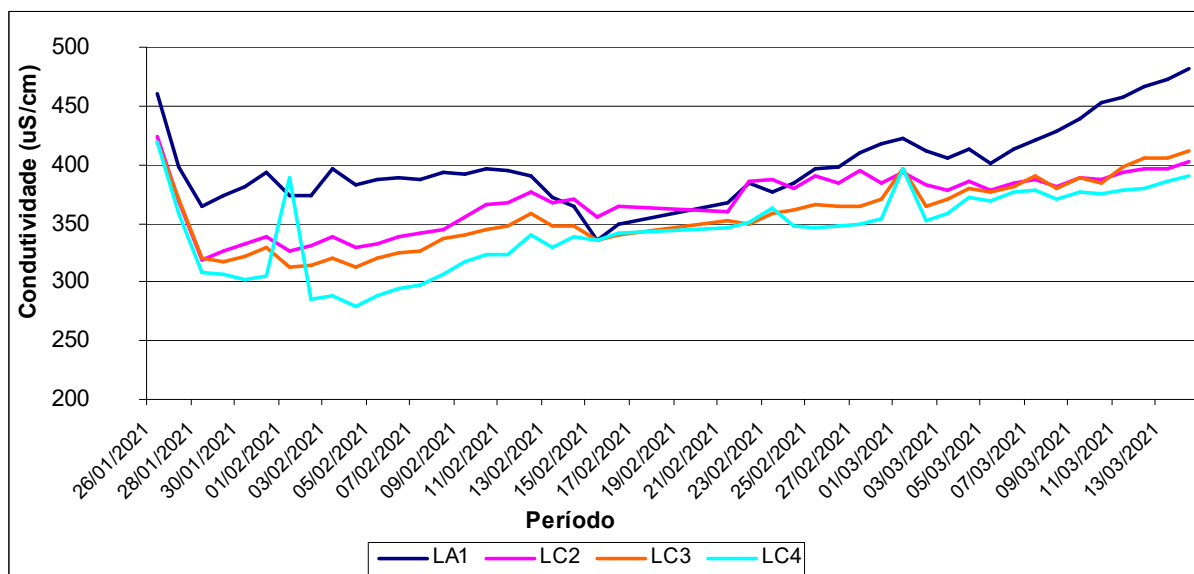
A lagoa de acumulação (LA1) controle, mostra níveis médios de OD de 1 mg/L, bem abaixo das demais lagoas LCs 2, 3 e 4, evidenciando nesse trabalho que as lemnas da espécie *Landoltia punctata* favorecem a fixação de oxigênio nas lagoas de tratamento.

5.3.4 Condutividade elétrica

A condutividade está intrinsecamente associada a absorção de água e nutrientes afetando no acúmulo de matéria seca e na produtividade podendo deixar a planta suscetível a distúrbios fisiológicos. Concentrações elevadas de sais podem acarretar a diminuição do potencial osmótico da solução, acúmulo de íons tóxicos, diminuição da quantidade de OD e diminuição de absorção de macro e micronutrientes por parte das plantas (Godim et al., 2010; Lenz et al., 2017).

Para Polisel (2005), o desempenho de lagoa de maturação utilizando lentilha d'água apresentou um aumento de 10,6% (777 para 859 dS/m) na condutividade e que a lagoa de estabilização que obteve um aumento de 1,3% (777 para 787 dS/m) de incremento, fato não observado neste trabalho, pois os valores de condutividade (Figura 27) provenientes do efluente lançado nas lagoas, apresentaram uma redução de 35% nas lagoas com lemnas e de 24% para a lagoa sem lemnas.

Figura 27. Concentração da condutividade nas lagoas de cultivo



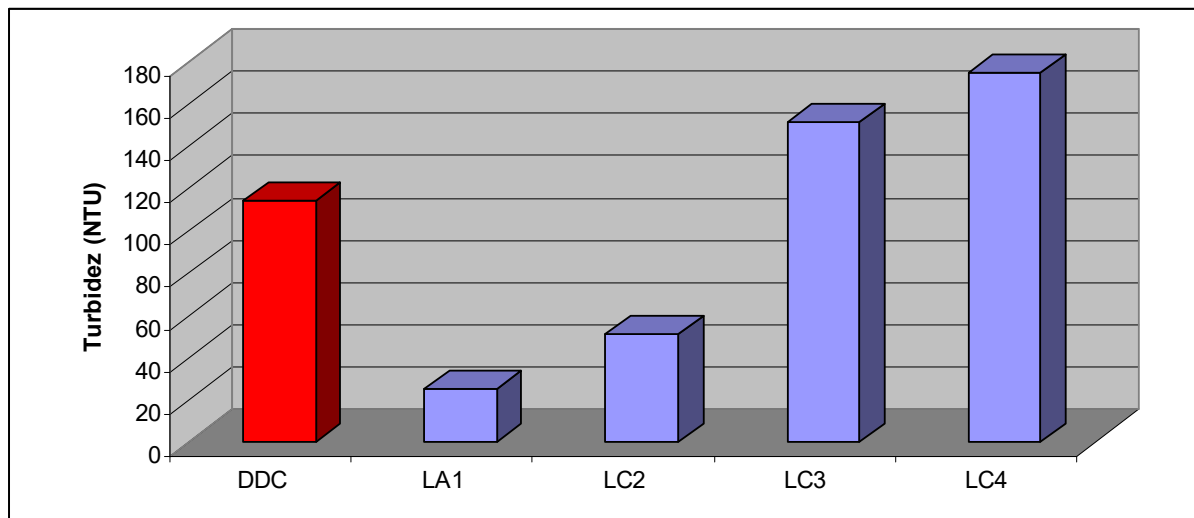
Fonte: Dados da pesquisa

5.3.5 Turbidez

Valores elevados de turbidez da água podem reduzir a produção de peixe, pois a turvação diminui a penetração da luz solar na água, e, portanto, reduz a produção de oxigênio das plantas. A turbidez está relacionada com a quantidade de material insolúvel e em suspensão existente na água e que impede a passagem da luz, esse material pode ser composto de material inorgânico (argila, por exemplo) ou fitoplâncton, a turbidez pode ser expressa em mg/L ou em NTU (unidade nefelométrica de turbidez) (BALDISSEROTTO, 2009).

A Figura 28 mostra em evidência que as lagoas de polimento LC3 e LC4 apresentaram um aumento significativo da turbidez, em relação à lagoa de acumulação, essa diferença se dá em função da presença das lemnas e em virtude da maior incidência da proliferação de algas.

Figura 28. Mudanças nos valores de turbidez nas Lagoas de acumulação



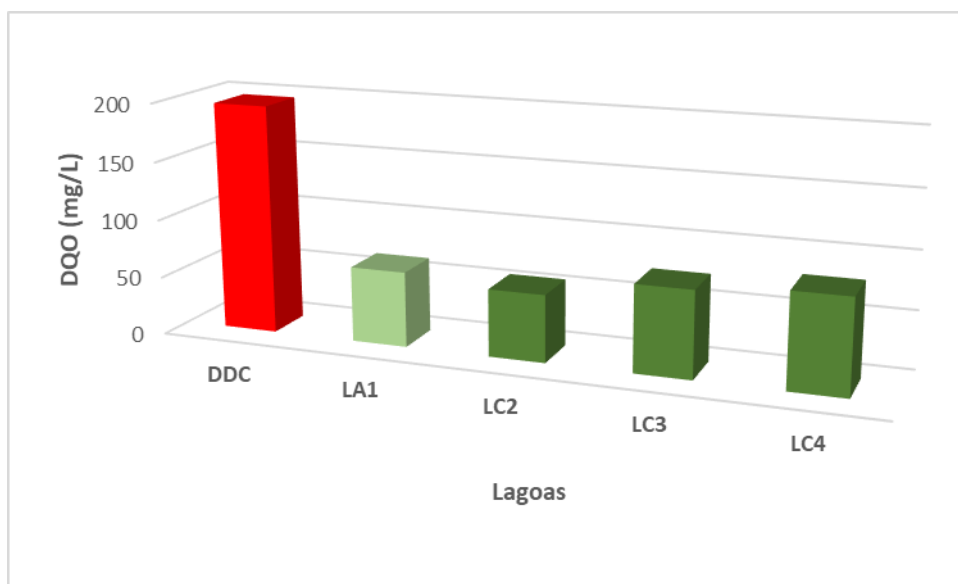
Fonte: Dados da Pesquisa

As lagoas de lemnáceas aquáticas utilizadas para o tratamento de efluentes removem com eficiência a sua turbidez pela boa remoção de sólidos suspensos presentes no efluente (VAN DER STEEN et al., 1999; BRUGNAGO, 2014). Os resultados da remoção da turbidez foram mascarados pela presença de algas no experimento.

5.3.6 Demanda química de oxigênio

A avaliação da concentração de DQO no experimento, notou-se uma concentração de média de 197 mg/L de DQO na descarga do SRA-DCMABR conforme a Figura 29. As concentrações médias das lagoas LC2, 3 e 4, observadas durante todo o período experimental foram de 71 mg/L de DQO e para a lagoa de acumulação a concentração foi de 65 mg/L de DQO. A eficiência de remoção foi de 64,5% nas lagoas de tratamento com *Landoltia punctata*, na lagoa de acumulação (LA1) a redução foi de 67,1%, não havendo redução significativa entre os tratamentos. Smaniotto (2016) obteve eficiência de remoção de 77,4%, em experimento de tratamento de esgoto doméstico com a utilização da *Landoltia punctata*.

Figura 29. Média da DQO nas lagoas de lemnáceas e na lagoa de acumulação



Fonte: Dados da Pesquisa

5.3.7 Nitrogênio total (NT)

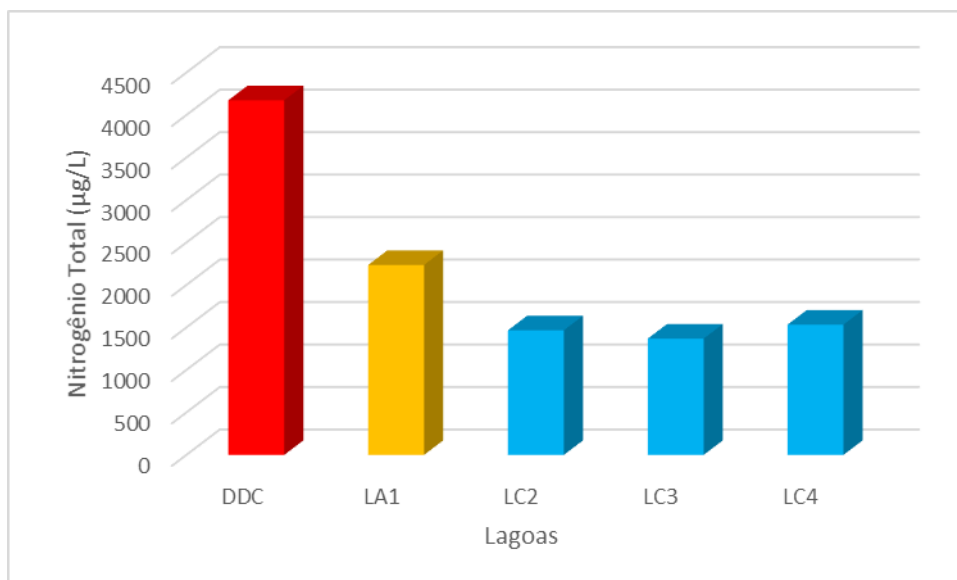
A remoção do nutriente nas lagoas com lemnas apresentou resultados satisfatórios. Nota-se que as concentrações de NT sofreram uma considerável redução nas lagoas durante o período de monitoramento. Obteve-se remoção média de 65% do efluente do SRA-DCMABR nas lagoas de cultivo com lemnas e na lagoa

de acumulação essa diminuição foi de 46%, provavelmente em virtude da volatilização e desnitrificação da amônia (Figura 30).

O experimento conduzido por Maranzatto Junior (2017) que teve como objetivo principal avaliar a eficiência que uma lagoa de lemnas tem na remoção, principalmente de carga nitrogenada, demonstrou ser bastante eficiente apresentando uma eficiência de remoção média para NTK e nitrogênio amoniacal de 48,79% e 37,67%. A diminuição da concentração do nitrogênio por volatilização de amônia e por desnitrificação, juntas, podem representar entre 28 e 40% da remoção total, dependendo da carga inicial (ZIMMO et al., 2000; SMANIOTTO, 2016). Provavelmente o fator mais importante na remoção de nitrogênio em lagoas de lemnas seja a absorção direta da amônia, pois diversos autores confirmam que as lemnáceas absorvem preferencialmente a amônia ($\text{NH}_3 + \text{NH}_4^+$) em relação ao nitrato (NO_3) (CULLEY, et al. 1981; PORATH E POLLOCK, 1982; CAICEDO et al., 2002; MOHEDANO, 2010).

Cheng et al., (2002b) reportam que *Landoltia punctata* podem desenvolver-se mesmo sob uma concentração de 240mg/L NT. Geralmente os efluentes orgânicos possuem pouco OD e por isso a maior parte do nitrogênio inorgânico encontra-se na forma de amônia.

Figura 30. Eficiência na remoção do nitrogênio pelas lagoas de cultivo



Fonte: Dados da Pesquisa

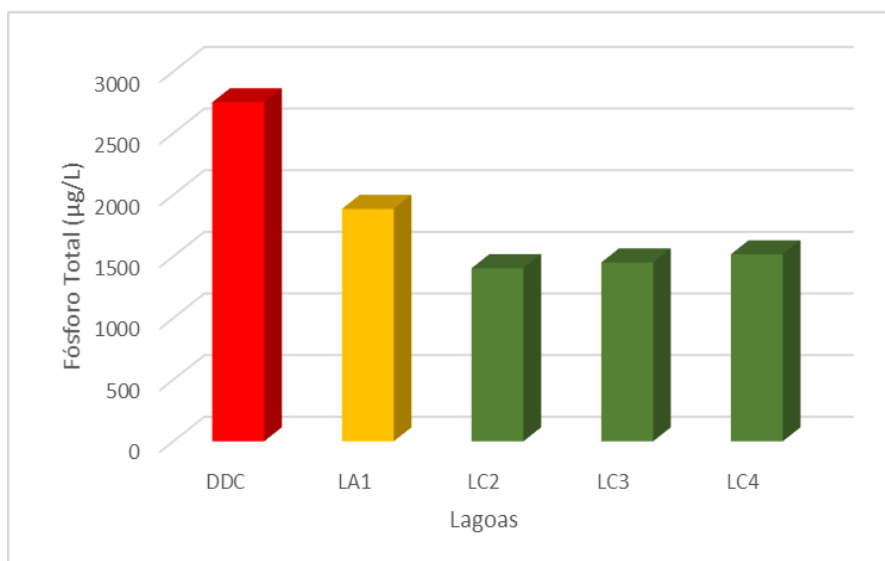
Para Korner e Vermaat (1998) verificaram uma remoção de 73% até 97% de NTK em um experimento com esgoto doméstico, utilizando *Lemna gibba*, em

bandeja plástica com 8cm de profundidade. Segundo Zimmo et al., (2004) a contribuição na absorção direta de nitrogênio pelas lemnas é maior em períodos mais quentes, sendo que também ocorrem processos de nitrificação/desnitrificação, por microrganismos fixados na rizosfera, além da volatilização da amônia, Cedergreen e Medsen (2002) complementam com a informação de que as lemnas podem absorver nitrato e amônia diretamente pelas folhas (frondes) ou pelas raízes dependendo apenas da área superficial.

5.3.8 Fósforo total

A capacidade de absorção de fósforo pelas plantas depende da taxa de crescimento, frequência de coleta e disponibilidade de ortofosfato na água. Quando a temperatura é mais alta, a taxa de crescimento e a remoção de fósforo são maiores (ZIMMO et al., 2004). A eficiência das lagoas de lemnas na redução das concentrações de fósforo foi relevante, onde a diferença da concentração entre a entrada e a saída da série de lagoas foi de 47%. Na Figura 31 pode-se observar a redução da concentração média de PT entre a entrada com o efluente do SRA-TM e a saída nas lagoas de lemnas e na lagoa de acumulação. Körner e Vermaat (1998) afirmam que as lemnáceas, utilizadas em experimento de águas residuárias não diluídas, foram responsáveis por 52% da remoção do fósforo total e as bactérias presentes no biofilme fixado nas raízes das plantas contribuíram com 31-71%.

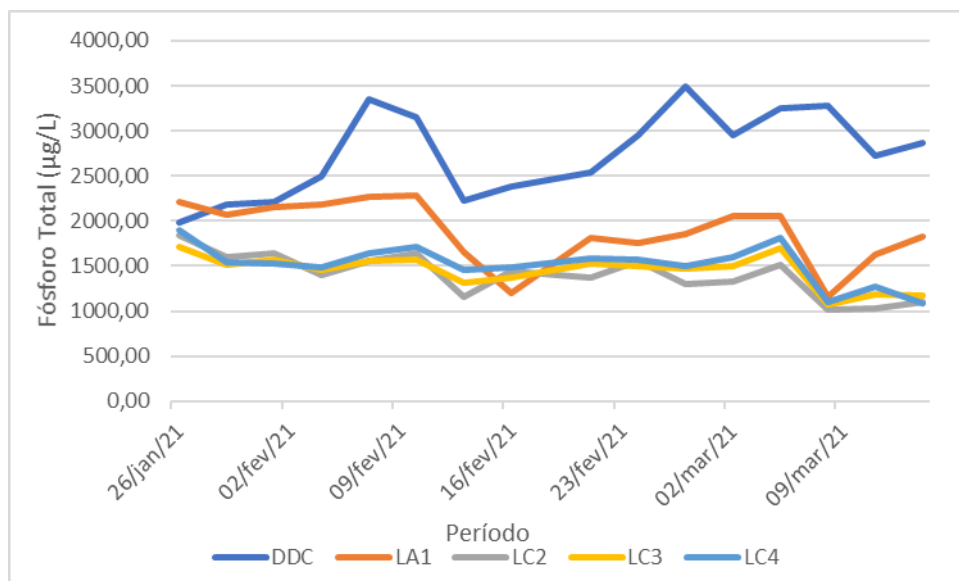
Figura 31. Variação na redução média do fósforo nas lagoas em relação à descarga do efluente



Fonte: Dados da Pesquisa.

O fósforo apresentou variações expressivas em sua concentração ao longo do tempo, a Figura 32 indica que no final do período experimental houve uma redução importante quanto a sua quantidade, na comparação ao início do experimento.

Figura 32. Variação das concentrações de FT nas lagoas de tratamento ao longo do tempo



Fonte: Dados da Pesquisa.

As lagoas de tratamento utilizando as lemnas obtiveram uma redução média do fósforo acumulado de 38% em relação ao início dos trabalhos. Vale ressaltar que a lagoa de acumulação também apresentou redução de 14%. Destaca-se que essa redução foi observada em apenas 42 dias de duração do experimento. Dessa maneira, pode-se concluir que as mesmas plantas foram responsáveis por 57% da remoção do FT, em relação ao efluente de entrada oriundo da descarga do SRA-DCMABR e o restante foi absorvido pelas bactérias presentes na coluna d'água e no sedimento, Mohedano (2010) obteve uma redução de fósforo de 63% a 83% por meio de sistema de tratamento de efluente de suinocultura. Segundo Hausser (1984) a remoção do fósforo é proporcional a necessidade da planta que em geral não excede 65%.

5.4 DESEMPENHO ZOOTÉCNICO DOS PEIXES

Foram realizadas três biometrias nos quais foram avaliados o seu peso, comprimento e sanidade, uma no início do experimento, outra no final da primeira etapa e a outro no encerramento. Os organismos não apresentaram nenhuma evidência visual enfermidade durante todo período dos trabalhos, os valores de peso e comprimento estão na Tabela 7.

Os dados iniciais da biometria das tilápias apresentaram peso médio de 215g, comprimento médio de 22,55 cm, ao final das biometrias os peixes foram devolvidos ao tanque de cultivo.

Tabela 7. Resultado da biometria realizada nos peixes.

Biometria dos peixes			
Data	Comprimento cm	Peso g	Nº de amostra
26/01/2021	22.55	214	40
16/02/2021	24.28	266	32
14/03/2021	24.67	294	36

Fonte: Dados da Pesquisa.

Ao final do experimento, foram contabilizados 36 exemplares de tilápia, no qual o valor médio de comprimento final foi de 24.67 cm e o peso final 294g. Os peixes apresentaram um ganho de biomassa de 37%. A taxa de sobrevivência obtida durante o experimento foi de 90%. A biomassa total produzida ao final do experimento foi de 10,6kg/m³.

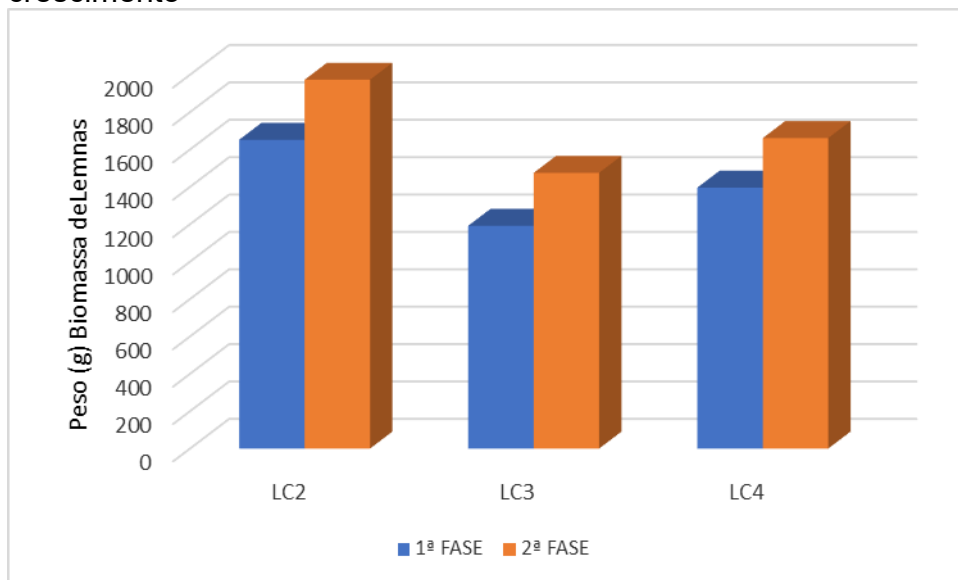
Os resultados obtidos por Ortiz (2018) sugerem que a tilápia GIFT pode ser criada com densidade de 132 peixes/m³ em ambientes com concentrações de até 0,89 NH₃ mg/L sem comprometer a sobrevivência dos peixes, mas espera-se que os ganhos de peso diários sejam entre 30 e 41% menores que os reportados para condições de cultivo ótimas.

A capacidade de suporte e máxima biomassa de peixes capaz de ser sustentada em uma unidade de produção são feitas com base nos resultados de cultivos anteriores ou pode ser estimada por meio dos dados de produção obtidos em outras pisciculturas ou mesmo obtidos em publicações técnicas. Em geral, a capacidade de suporte no cultivo de tilápias com recirculação de água gira entre 20 a 60kg/m³. O risco de perdas de peixe por falha instrumental ou por doenças aumenta nos sistemas de recirculação, exigindo do piscicultor uma atenção maior quanto aos pontos críticos do sistema (KUBITZA, 2018).

5.5 AVALIAÇÃO DA BIOMASSA DAS LEMNAS

A avaliação da biomassa da lemna produzida durante o experimento foi realizada por meio da determinação quantitativa e qualitativa. A observação quantitativa refere-se às velocidades de crescimento e produção, com base no peso seco. Os resultados apresentados na Figura 33 são referentes às fases de crescimento, e representam os valores médios de peso fresco da planta em relação aos períodos de cultivo, por cada lagoa.

Figura 33. Peso fresco total das plantas nas duas fases de cultivo, por lagoa de crescimento



Fonte: Dados da Pesquisa

O melhor desempenho observado durante os 42 dias de cultivo para cada fase de 21 dias, correspondente ao peso úmido (Figura 34) foi na LC2, que obteve 1652g na 1ª fase e 1973g, seguida pela LC4 com 1396g e 1661g e por último a LC3 com 1192g e 1475g. O peso total fresco foi de 9,05kg, nas três lagoas. Esses resultados são referentes à soma das colheitas realizadas, a cada três dias, mais a colheita final, retirado o peso das plantas que foram inoculadas no início de cada fase do experimento.

Figura 34. Pesagem da amostra do peso fresco e secagem na estufa.



Fonte: Dados da Pesquisa

A produção total do peso seco da biomassa de lemnas no período do experimento foi de 841g em 2,85m². Sabendo-se que cada lagoa tem 0,95m², calculou-se que a produção da biomassa seca total foi de 70,2Kg/ha por dia, equivalente a 7.174kgPB/ha/ano. As lemnas após secagem em estufa obtiveram-se uma composição média de 92% de água, e 8% de biomassa seca.

O desempenho dos tanques contendo as lemnas foi satisfatório, mas mostrou-se um pouco suscetível as condições climatológicas da região, pois a média de 28°C da temperatura do ar foi um pouco acima do ideal para o crescimento que é de 26°C.

Sabendo-se que as concentrações de nitrogênio e de fósforo no efluente da aquicultura são muito elevadas era de se esperar uma melhor produtividade da biomassa nas lagoas de cultivo. Porém, a disponibilidade de fósforo, nitrogênio e outros fatores como: disponibilidade de luz e temperatura, a espécie utilizada e a densidade da população determinam o crescimento das lemnas (LANDOLT e KANDELER, 1987; SKILICORN et al., 1993; LANDESMAN et al., 2005; MOHEDANO, 2010).

A *L. punctata* têm nichos ecológicos sobrepostos, então há certa competição entre eles quando crescem em um recurso hídrico limitado. Experimentos mostram que tanto o estresse biótico quanto o abiótico podem afetar significativamente o processo de crescimento dos organismos e reduzir a biomassa de organismos estressados (Li et al. 2020).

Na Figura 35, demonstra o esquema de produção das lemnas nas lagoas de cultivo.

Figura 35. Lagoas de produção da biomassa de lemna

Fonte: Dados da Pesquisa

5.6 COMPOSIÇÃO BROMATOLÓGICA DA LEMNA (*Landoltia punctata*)

O conhecimento do teor de proteína produzida pelas lemnas, durante o tratamento, é o ponto chave para mensurar a valorização da biomassa. Os componentes que foram avaliados para caracterizar a composição química da planta estão apresentados na Tabela 8.

Tabela 8. Relação da composição química da *Landoltia punctata*.¹ em 100% de MS

NUTRIENTES (%)	LC2	LC3	LC4
Matéria Seca	95,38	93,82	93,87
Cinzas ¹	93,82	18,74	20,27
Extrato Etéreo ¹	2,50	3,76	1,96
Proteína Bruta ¹	26,83	29,48	27,75
Nitrogênio ¹	4,29	4,72	4,44
Fibra Bruta ¹	35,47	43,67	39,97
Extrato não Nitrogenado ¹	7,29	4,34	10,06
NDT ¹	44,38	50,69	50,07
FDN ¹	26,14	17,84	22,66
FDA ¹	20,77	14,65	14,47
Hemicelulose ¹	5,37	3,20	8,20
Celulose ¹	8,61	11,59	11,17
Lignina ¹	5,88	1,63	1,61
Fósforo ¹	1,21	1,15	1,15
Cálcio ¹	3,04	1,66	1,54

Fonte: Dados da Pesquisa.

Smaniotto (2016) encontrou na biomassa da *Landoltia punctata*, proteína bruta média de 43% (matéria seca). Para (MOHEDANO, 2010; CHEN et al., 2012) encontraram resultados sobre o teor de proteína na biomassa de lemnas que variam

entre 6,8 a 45,0%. Para Matos et al. (2014) em estudo com *Landoltia punctata* em esgoto doméstico, encontraram um teor de 38,08% (matéria seca) de proteína bruta. Já Chen et al. (2012) obtiveram 16,27% (matéria seca) em condições naturais de crescimento e Tao et al. (2013) encontraram um valor 29,6% (matéria seca) em solução nutritiva padrão em média foi de 43% (matéria seca).

Diante desses resultados, pesquisadores testaram a eficiência das lemnas na alimentação de animais, principalmente aves e peixes (CULLEY et al., 1981; HASSAN; EDWARDS, 1992). A forma mais comum e difundida é para peixes, podendo a biomassa ser fornecida fresca, como único alimento, ou desidratada, em combinação com outras fontes de alimento em cultivos de carpas e tilápias (IQBAL, 1999).

6 CONCLUSÕES

O SRA-DCMABR apresentou bons resultados para o cultivo de tilápia, podendo ser facilmente adaptado para servir como opção em sistema de aquicultura urbana e periurbana.

O tratamento com lagoas de lemnas demonstrou ser eficiente para o polimento dos nutrientes do efluente do SRA-DCMABR.

A remoção de nitrogênio e fósforo, pelo tratamento com as lemnas teve eficiências médias de 65% e 38% respectivamente.

O pH elevado, nas lagoas com lemnas, com médias acima de 8, também pode ter contribuído para reduzir a eficiência na remoção dos nutrientes.

A composição química da *Landoltia punctata* apresentou valor médio de proteína bruta 28%, considerando sua produção em efluente, baixo custo, como alternativa para ração animal.

O sistema de lagoas de lemnas avaliado demonstrou ser bastante eficiente para o polimento do efluente do SRA-DCMABR.

A espécie *Landoltia punctata* apresentou rusticidade para suportar elevadas concentrações de amônia, comuns em atividades aquícolas, reforçando potencialidade desta espécie no tratamento de efluentes.

De acordo com as avaliações da produtividade de proteína nas lemnas foi constatada a potencialidade de valorização do tratamento, pelo aproveitamento da biomassa de lemnas como alimento proteico. Além da produção como adubo orgânico, um subproduto do sistema de tratamento.

As lagoas de lemnas podem contribuir para a sustentabilidade sócio-econômica da atividade aquícola.

7 RECOMENDAÇÕES

Assim conclui-se que o SRA-DCMABR é uma opção tecnológica promissora para a aquicultura urbana e periurbana. Contudo, serão necessárias algumas adaptações, para atender as necessidades e demandas no meio urbano. A valorização da biomassa da lemna apresenta muitas possibilidades na sua aplicação, sendo principalmente para o pequeno produtor.

Diante deste quadro, a aquicultura reage com tecnológicas para aumentar o isolamento da operação de cultivo e reduzir sua dependência sobre os recursos naturais, visando a aumentar a segurança sanitária e financeira do negócio.

Os resultados do trabalho serão de grande valia para produtores aquícolas, pesquisadores e para serem introduzidos como ferramentas nas políticas públicas. Tais resultados poderão demonstrar a eficiência do tratamento dos efluentes, o reaproveitamento dos resíduos, bem como a incorporação de conceitos nas boas práticas aquícolas.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, J. C. R. **Sistema de recirculação para aquicultura com reator de biofilme aerado em membrana na produção intensiva de tilápia**. 2020. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Estadual Paulista, UNESP, Ilha Solteira, São Paulo, 2020. 85 f.

ALMEIDA, R. A. S. **Índices de qualidade de água**. Cruz das Almas: EDUFRB, 2021. 114 p.

BEPPU T.; YANASE D.; NOBUCHI T; et al. A revision of *Lemna paucicostata* group in Japan. **Acta Phytotaxonomica et Geobotanica**, Kyoto, v. 36, p.45-58, 1985.

BEYRUTH, Z.; MAINARDES-PINTO, C. S. R.; FUSCO, S. M., FARIA, F. C.; SILVA, A. L. Utilização de alimentos naturais por *Oreochromis niloticus* em tanques de terra com arraçoamento. **Instituto de Pesca**, São Paulo, v. 30, n.1, p. 9-24, 2004.

BALDISSEROTTO, B. **Fisiologia de peixes aplicada à piscicultura**. 2. ed. Santa Maria: Ed. da UFSM, 2009. 352 p.

BOYD, C. E.; TUCKER, C. S. **Pond aquaculture water quality management**. Boston: Kluwer, 1998. 700p.

BOYD, C. E. **Water quality**: an introduction. Norwell: Kluwer Academic Publishers, 2000.

BRASIL 2011. Ministério do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA nº 430, de 13 de maio de 2011**. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementam e alteram a Resolução no 357, de 17 de março de 2005. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=646>. Acesso em: 15 maio 2021.

BRASIL 2011. Ministério da Educação. **Técnico em Aquicultura**. Brasília, DF, 2001. Disponível em: http://redeetec.mec.gov.br/images/stories/pdf/eixo_rec_naturais/aquicultura/181012_piscicult.pdf. Acesso em: 13 maio 2021.

BRASIL 2019. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Definição de aquicultura**. Brasília, DF, 14 mar. 2019. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/assuntos/aquicultura-e-pesca/aquicultura>. Acesso em: 21 dez. 2019.

BRUGNANO, N. **Avaliação de Lagoas de Lemnas (*Landoltia punctata*) para o polimento de Esgoto Sanitário e Fixação de Gás Carbônico**. 2014. Dissertação (Pós Graduação em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2014.

CAICEDO, J. R.; ESPINOSA, C.; ANDRADE, M.; GIJZEN, H. J. Effect of anaerobic pretreatment on environmental and physiochemical characteristics of duckweed based stabilization ponds. **Water Science and Technology**, London, v. 45, n. 1, p. 83-89, 2002.

CAICEDO, J.R. **Effect of Operational Variables on Nitrogen Transformations in Duckweed Stabilization Ponds**. Tese. Delft, The Netherlands. 163pp. 2005.

CASILLAS-HERNÁNDEZ, R.; MAGALLÓN-BARAJAS, F.; PORTILLO-CLARCK, G.; PÁEZ-OSUNA, F. Nutrient mass balances in semi-intensive shrimp ponds from Sonora, Mexico using two feeding strategies: Trays and mechanical dispersal. **Aquaculture**, v. 258, p. 289-298, 2006.

CASTELLANI, D.; ABIMORAD E. G.; SCORVO-FILHO, J. D.; FRASCÁ-SCORVO, C. M. D.; MASOCATTO, C. O. Dinâmica do oxigênio dissolvido em piscicultura de tanques rede de grande volume no reservatório de água vermelha. XIII ReCIP, 2019.

CEDERGREEN, N. AND T. V. MADSEN. Nitrogen uptake by the floating macrophyte *Lemna minor*. **New Phytol**, Chichester, v. 155, n. 2, p. 285-292. 2002.

CERQUEIRA, M. A. S.; DO CARMO, C. F.; MERCANTE, C. T. J.; AYROZA, D. M. R.; MENEZES, L. C. B.; MARTELI, A. N.; ALBERTIN, L. L.; MATSUMOTO, T.. Modelo de gestão da piscicultura para o estado de São paulo: estudo de caso para o Parque Aquícola de Santo Antônio do Aracanguá. XXIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos (ISSN 2318-0358). 2019.

CHENG, J.; BERGMAN, B. A.; CLASSEN, J. J.; STOMP, A. M.; HOWARD, J. W. Nutrient recovery from swine lagoon water by *Spirodela punctata*. **Bioresource Technology**, Amsterdam, v. 81, p. 81–85, 2002a.

CHENG, J. LANDESMAN, L. BERGMAN, B. A. CLASSEN, J. J. HOWARD, J. W.; YAMAMOTO, Y. T. b Nutrient Removal from Swine Lagoon Liquid by *Lemna minor*. **Am. Soc. Agric, Eng.**, [s. l.] v. 45, n. 4, p. 1003- 1010, 2002b.

COSTA, F. N. **Valorização de *Landoltia punctata* proveniente de tratamento de esgoto doméstico através da hidrólise enzimática, visando à produção de etanol**. 2014. 103 f. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Aquicultura, Universidade Federal de Santa Catarina- UFSC, Florianópolis, 2014.

COORDENADORIA DE ASSISTÊNCIA TÉCNICA INTEGRAL - CATI. **Manual técnico de piscicultura**. Coordenadoria de Assistência Técnica Integral, São Paulo, 2011. 246p.

COMEAU, Y.; BRISSON, J.; RÉVILLE, J. P.; FORGET, C.; DRIZO, A. Phosphorus removal from trout farm effluents by constructed wetlands. **Water Science and Technology**, Oxford, v. 44, n. 11-12, p. 55-60, 2001.

COOK, C. D. K. **Water plants on the world**. The Hague: Dr. Junk Publisher, 1974. 561p.

CRAB, R.; AVNIMELECH, Y.; DEFOIRDT, T.; BOSSIER, P.; VERSTRAETE, W. Nitrogen removal techniques in aquaculture for a sustainable production.

Aquaculture, v. 270, n. 1-4, p. 1-14, set. 2007. Elsevier BV. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.aquaculture.2007.05.006>. Acesso em: 08 abr. 2021.

CREPALDI, D. V.; TEIXEIRA, E. A.; FARIA, P. M. C.; RIBEIRO, L. P.; MELO, D. C.; CARVALHO, D.; SOUZA, A. B.; SATURNINO, H. M.. Sistemas de produção na piscicultura. Belo Horizonte, v.30, n.4. P.86-99, 2006. Disponível em www.cbpa.org.br

CULLEY, D.D.; REJMANKOVA, E.; KVET, J.; FRYE, J.B.. Production, chemical quality and the use of duckweeds (Lemnaceae) in aquaculture, waste management, and animal feeds. **J. World Maricul. Soc.**, Hoboken, v. 12, n. 2, p. 27-49, 1981.

COUTURIER, M.; TROFIMENCOFF, T.; BUIL, J. U.; CONROY, J.. Solids removal at a recirculating salmon-smolt farm. **Aquacultural Engineering**, Amsterdam, v. 41, n. 2, p. 71-77, 2009.

DRIEVER, S. M. EGBERT, V. N. H., ROIJACKERSR. M. M.. Growth Limitation of Lemna Minor due to High Plant Density. **Aquatic Botany**.v. 81, n. 3, p. 245-251, 2005.

DI FRAIA, S.; MASSAROTTI, N.; VANOLI, L. A novel energy assessment of urban wastewater treatment plants. **Energy Conversion And Management**, Amsterdam v. 163, p. 304-313, maio 2018. Elsevier BV. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enconman.2018.02.058>. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0196890418301742>. Acesso em: 12 abr. 2021.

EBELING, J.M.; TIMMONS, M.B.; BISOGNI, J.J. Engineering analysis of the stoichiometry of photoautotrophic, autotrophic, and heterotrophic removal of ammonia–nitrogen in aquaculture systems. **Aquaculture**, v. 257, p.346-358, 2006.

ESTAÇÃO METEOROLÓGICA DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA E IRRIGAÇÃO - UNESP, Campus de Ilha Solteira. Canal Clima UNESP Ilha Solteira. Ilha Solteira, 2019. Disponível em: http://clima.feis.unesp.br/graficomedias.php?data_ini=2021-01-26&data_fim=2021-02-16&estacao=1&tipo=media. Acesso em: 22 maio 2021.

FRANÇA, G. M. O. **Efeito de doses de excrementos de aves na produção e qualidade nutricional de Lemna valdiviana Phil (Araceae) para piscicultura**. 2008. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias) - Programa de Pós-graduação em Ciências Agrárias, Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas, BA, 2008. 58 f.

FREDDI, L. A.; MATSUMOTO, T. Análise da remoção de nitrogênio de um reator de biofilme aerado em membrana. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AMBIENTAL (ABES), 2019. **Anais...** [S. l.: s. n.], 2019.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS – FAO. **The state of world fisheries and aquaculture**. Roma: FAO, 2018.

FAO. 2020. The State of World Fisheries and Aquaculture 2020. Sustainability in action. Rome. <https://doi.org/10.4060/ca9229en>

GE, X.; ZHANG, N.; PHILLIPS, G. C.; XU, J. Growing *Lemna minor* in agricultural wastewater and converting the duckweed biomass to ethanol. **Bioresource Technology**, Amsterdam, v. 124, p. 485-488, nov. 2012. Elsevier BV. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2012.08.050>. Acesso em: 08 abr. 2021.

GODIM, A. R. D. O. et al. **Condutividade elétrica na produção e nutrição de alface em sistema de cultivo NFT**, Uberlândia, v. 26, n. 6, p. 884-904, 2010.

KÖRNER, S.; VERMAAT, J.E.. The relative importance of *Lemna gibba*, bacteria and algae for the nitrogen and phosphorus removal in duckweed – covered domestic wastewater. **Water Research**, Oxford, v. 32, n. 12, p. 3651- 366, 1998.

HASSAN, M. S.; EDWARDS, P. Evaluation of duckweed (*Lemna perpusilla* and *Spirodela polyrrhiza*) as feed for Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). **Aquaculture**, v. 104, n. 3-4, p. 315-326, jun. 1992. Elsevier BV. Disponível em: [http://dx.doi.org/10.1016/0044-8486\(92\)90213-5](http://dx.doi.org/10.1016/0044-8486(92)90213-5). Acesso em: 08 abr. 2021.

HESS, H.E.; LANDOLT E.; HIRZEL R. Flora der Schweiz und angrenzender Gebiete [Internet]. v. 176, **Energy Conversion and Management**. Basel: Birkhäuser Basel, 1976. p.164–183. Disponível em: <http://link.springer.com/10.1007/978-3-0348-5905-9>. Acesso em: 08 abr. 2021.

HUNDLEY, G. M. C.; NAVARRO, R. D. Aquaponia: a integração entre piscicultura e a hidroponia. **Revista Brasileira De Agropecuária Sustentável**, [s. l.], v. 3, n. 2, p. 52-61, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.21206/rbas.v3i2.218>. Acesso em: 08 abr. 2021.

ILES, W.J.; SMITH, S.Y.; GANDOLFO, M.A. et al. Monocot fossils suitable for molecular dating analyses. **Botanical Journal of the Linnean Society**, [s. l.], p. 346-374, 2015.

KUBITZA, F. **Qualidade da água na produção de peixes**. 3. ed. Jundiaí: Degaspari, 1999. 97p.

KUBITZA, F. Tilápias: Parte I. **Panorama da aquicultura**, Rio de Janeiro, v. 10, n. 59, p. 44-53, maio/junho, 2000.

KUBITZA, F. Sistemas de Recirculação: Sistemas fechados com tratamento e reuso da água. **Panorama da Aquicultura**, [s. l.], v. 16, n. 95, p. 15-22, 2006.

KUBITZA F. Oxigênio dissolvido e sua importância para o desempenho e saúde dos peixes e camarões. **Panorama da Aquicultura**, [s. l.], 2017.

KUBITZA F.. Tilápias: Qualidade da água, sistemas de cultivo, planejamento da produção, manejo nutricional e alimentar e sanidade – Parte I. **Panorama da Aquicultura**. [s. l.], v. 58, 2018.

LANDESMAN, L., PARKER N. C., FEDLER C. B., KONIKOFF, M. Modeling Duckweed Growth In: Wastewater Treatment Systems. **Livestock Research for Rural Development**, Cali, v. 17, n. 6, 2005.

LANDOLT, E.; KANDELER, R. The family of Lemnaceae - a monographic study: phytochemistry, physiology, application and bibliography. Biosystematic investigation the family of duckweeds. **Veroffenteichungendes Geobotanischen Institutes der Eidg. Techn. Hochschule (ETH)**, Zurich, v. 4, n. 95, p. 638, 1987.

LAWSON, T. B. **Fundamentals of Aquaculture Engineering**. Springer US, 1995.

LEIRA, M. H.; CUNHA, L. T.; BRAZ, M. S.; MELO, C. C. V.; BOTELHO, H. A.; REGHIM, L. S. Qualidade da água e seu uso em pisciculturas. **Pubvet**, Maringá, v. 11, n. 1, p. 11-17, jan. 2017. Editora MV Valero. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.22256/pubvet.v11n1.11-17>. Acesso em: 08 abr. 2021.

LENG, R. A.; STAMBOLIE, J. H.; BELL, R. Duckweed: a potential high-protein feed resource for domestic animals and fish. **Livestock Research For Rural Development**, Cali, v. 7, n. 1, p. 1, 1995.

LES D. H.; CRAWFORD, D. J. Landoltia (Lemnaceae), a New Genus of Duckweeds. **Journal for Botanical Nomenclature**, Cali, v. 9, n. 4, p. 530-533, 1999.

LES, D. H.; CRAWFORD, D. J.; LANDOLT, E. et al. Phylogeny and systematics of Lemnaceae, the duckweed family. **Systematic Botany**, Laramie, v. 27, p.221-240, 2002.

LENZ, G. L. et al. Produção de alface (*Lactuca sativa*) em efluentes de um cultivo de tilápias mantidas em sistema BFT em baixa salinidade. **Instituto de Pesca**, São Paulo, p. 614-630, 2017.

LESCHEN, W.; LITTLE, D.; BUNTING, S.; VEENHUIZEN, R. Aquicultura urbana e periurbana. **Revista de Agricultura Urbana**, Holanda, n. 14. p.7-20, 2005. Disponível em: https://ruaf.org/assets/2003/04/rau14_total.pdf. Acesso em 08 maio 2021.

LI, J.; DU, A.; LIU, P.; TIAN, X.; JIN, Y.; YI, Z.; HE, K.; FANG, Y.; ZHAO, H. High starch accumulation mechanism and phosphorus utilization efficiency of duckweed (*Landoltia punctata*) under phosphate starvation. **Industrial Crops And Products**, [s. l.], v. 167, p. 113529, set. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.indcrop.2021.113529>. Acesso em: 08 abr. 2021.

Li, S.; Le, S.; Li, G.; Luo, M.; Wang, R.; Zhao, Y. Bioremediação de *Landoltia punctata* para *Microcystis aeruginosa* Águas Contaminadas. **Água** 2020, v. 12, 1764. <https://doi.org/10.3390/w12061764>

LIMA, J. de F.; MONTAGNER, D.; DUARTE, S. S.; YOSHIOKA, E. T. O.; DIAS, M. K. R.; TAVARES-DIAS, M. Recirculating system using biological aerated filters on tambaqui fingerling farming. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 54, e00294, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1678-3921.pab2019.v54.00294>. Acesso em: 08 abr. 2021.

MAIGUAL-ENRIQUEZ, Y. A.; SANCHEZ-ORTIZ, I.; MATSUMOTO, T. Desempeño de tanques decantadores de sólidos en un sistema de recirculación para producción de tilapia. **Revista Mvz**, Córdoba, v. 18, p. 3492-3500, 6 maio 2013. Universidad de Cordoba. <http://dx.doi.org/10.21897/rmvz.173>. Acesso em: 08 abr. 2021.

MAIGUAL-ENRIQUEZ, Y. A.; MAIA, A. A. D.; GUERRERO-ROMERO, C. L.; MATSUMOTO, T.; RANGEL, E. C.; MORAIS, L. C. Comparison of sludges produced from two different recirculating aquaculture systems (RAS) for recycle and disposal. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 502, n. 15, p. 87-96, March 2019.

MARISCAL-LAGARDA, M. M.; PÁEZ-OSUNA, F.; ESQUER-MÉNDEZ, J. L.; GUERRERO-MONROY, I.; DEL VIVAR, A. R.; FÉLIX-GASTELUM, R. Integrated culture of white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) and tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill) with low salinity groundwater: management and production. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 366-367, p. 76-84, nov. 2012. Elsevier BV. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.aquaculture.2012.09.003>. Acesso em: 08 abr. 2021.

MARANZATTO JUNIOR, A. R. **Lagoa de lemnáceas empregada no póstratamento do efluente de um wetland construído de fluxo horizontal**. 77f. Curso de Engenharia Ambiental, Daamb, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2017.

MASSER, M. P.; RAKOCY, J.; LOSORDO, T. M. 1999. Recirculating aquaculture tankproduction systems - Management of Recirculating Systems. **Southern Regional Aquaculture Center**, Texas, SRAC nº 453, 12 p., 1999.

MATSUMOTO, T.; ENRIQUEZ, Y. A. M. Eficiência na remoção de NAT, DBO e DQO utilizando reator aeróbio de leito fluidizado com circulação em tubos concêntricos associado ao decantador de coluna em uma produção intensiva de tilápia. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 21, n. 3, p. 609-614, set. 2016. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-4152201684178>. Acesso em: 08 abr. 2021.

MERCANTE, C. T. J.; MARTINS, Y. K.; DO CARMO, C. F.; OSTI, J. S.; PINTO, C. S. R. M.; TUCCI, A.. Water quality in a fish pond with Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*): diurnal assessment of fisics, quimics and biologics variables, São Paulo State, Brazil, **Bioikos**, Campinas, v. 21, n. 2, p. 79-88, jul./dez., 2007. Disponível em: 843-Texto do Artigo-1708-1-10-20121003.pdf

MILLEDGE, J. J.; THOMPSON, E. P.; SAUVÊTRE, A.; SCHROEDER, P.; HARVEY, P. J. Novel developments in biological technologies for wastewater processing. **Sustainable Water And Wastewater Processing**, [s. l.], p. 239-278, 2019. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/B9780128161708000089>. Acesso em: 08 abr. 2021.

MIRANDA, M. O. T.; RIBEIRO, L. P. Características zootécnicas do surubim *Pseudoplatystoma coruscans*. In: MIRANDA, M.O.T. (Org.). **Surubim**. Belo Horizonte: IBAMA, 1997. p.43-56

MIRES, D. 1995 Aquaculture and the aquatic environment: mutual impact and preventive management. **The Israeli Journal of Aquaculture**, Bamidgheh, v. 47, p. 163-172, 1995.

MOHEDANO, R. A. **Uso de macrófitas lemnáceas (*Landoltia punctata*) no polimento e valorização do efluente de suinocultura e na fixação de carbono**. 2010. 270 f. Tese (Doutorado em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal Santa Catarina, UFSC, Florianópolis, 2010.

MOHEDANO, R. A.; COSTA, R. H. R.; TAVARES, F. A.; BELLI FILHO, P. High nutrient removal rate from swine wastes and protein biomass production by full-scale duckweed ponds. **Bioresource Technology**, Amsterdam, v. 112, p. 98-104, maio 2012. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2012.02.083>. Acesso em: 08 abr. 2021.

MONTOYA, R. A.; LAWRENCE, A. L.; GRANT, W. E.; VELASCO, M. Simulation of phosphorus dynamics in an intensive shrimp culture system: effects of feed formulation and feeding strategies. **Ecological Modelling**, v. 129, p. 131-142, 2000.

NAUHEIMER, L.; METZLER, D.; RENNER, S. S. Global history of the ancient monocot family Araceae inferred with models accounting for past continental positions and previous ranges based on fossils. **New Phytologist**. v.195, p. 938-950, 2012.

NUNES, Alberto J.P. **Tratamento de Efluentes e Recirculação de Água na Engorda de Camarão Marinho. Panorama da Aquicultura**. 2002. Disponível em: <https://panoramadaaquicultura.com.br/tratamento-de-efluentes-e-recirculacao-de-agua-na-engorda-de-camarao-marinho/>. Acesso em: 20 de maio 2021.

ONO, E. A.; KUBITZA, F. **Cultivo de peixes em tanques-rede**. 3. ed. Jundiaí: E. A. Ono, 2003. 112p.

OSTI, J. A. S. ; CARMO, C. F. ; CERQUEIRA, M. A. S.; GIAMAS, M.T.D; PEIXOTO, A.C.; VAZ DOS SANTOS; MERCANTE, C. T. J. Nitrogen and phosphorus removal from fish farming effluents using artificial floating islands colonized by *Eichhornia crassipes*. **Aquaculture Reports**, v. 17, p. 1/100324-8, 2020.

ORTIZ, I. A. S. **Criação de tilápia com efluente de lagoa de alta taxa: avaliação de taxas de aplicação superficial de nitrogênio e sustentabilidade da produção pelo fornecimento de alimento natural (plâncton)**. 2018. 238 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2018.

OSTRENSKY, A.; BORGHETTI, J.R.; SOTO, D. **Aquicultura no Brasil: o desafio é crescer**. Brasília: 2008. 276 p.

PEDREIRA, M. M.; LUZ, R. K.; SANTOS, J. C. E.; SAMPAIO, E. V.; SILVA, R. S. F. **Biofiltração da água e tipos de substrato na larvicultura do pacamã**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 44, n. 5, p. 511-518, 2009.

PEREIRA, S. de F.; POTT, V. J.; TEMPONI, L. G. Lemnoideae (Araceae) no estado do Paraná, Brasil. **Rodriguésia**, v. 67, n. 3, p. 839-848, set. 2016. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/2175-7860201667321>. Acesso em: 08 abr. 2021.

PITELLI, R. A.; BORSARI, R.; MUSTAFÁ, A. L. Impacto ambiental das práticas de controle das macrófitas aquáticas. In: THOMAZ, S. M.; BINI, L. M. (ed.). **Ecologia e manejo de macrófitas aquáticas**. Maringá: Eduem, 2002.

POLISEL, K. C. **Desempenho de lagoas de maturação utilizando macrófitas aquáticas e chincanemanto**. 2005. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2005.

POMPÊO, M. **Monitoramento e manejo de macrófitas aquáticas em reservatórios tropicais brasileiros**. São Paulo: Instituto de Bio- ciências da USP, 2017. 138 p.

PORTO, C. C. P. **Desempenho de um sistema de tratamento de efluentes de quacultura: a recirculação como uma alternativa sustentável**. Porto Alegre: UFRGS, 2010. 132 p.

PORATH, D. & POLLOCK, J. Ammonia stripping by duckweed and its feasibility circulating aquaculture. **Aquatic. Bot.**, [s. l.], v. 13, p. 125-131, 1982.

REVISTA PANORAMA DA AQUICULTURA. [S. l.], 2021. Disponível em: <https://panoramadaaquicultura.com.br/tratamento-de-efluentes-e-recirculacao-de-agua-na-engorda-de-camarao-marinho/>. Acesso em: 20 maio 2021.

ROSS, L. G.; GEDDES, J. A. Sedation of warm-water fish species in aquaculture research. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 16, n. 2, p. 183-186, 1979. ISSN 0044-8486

Sistema de Informação sobre a Biodiversidade Brasileira - SiBBr. **Landoltia punctata**. Disponível em: https://ferramentas.sibbr.gov.br/ficha/bin/view/especie/landoltia_punctata. Acesso em 18 maio 2021.

SIPAÚBA-TAVARES, L. H. **Uso racional da água em aquicultura**. Jaboticabal: Maria de Lourdes Brandel, 2013. 190 p.

SKILICORN, P. W.; SPIRA, W.; JOURNEY, W. **Duckweed aquaculture, a new aquatic farming system for developing countries**. Washington: The World Bank, 1993.

SMANIOTTO, F. **Enriquecimento de amido de biomassa produzida em lagoa de Lemna utilizando a espécie *Landoltia punctata***. 2016. 70 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Ilha Solteira, São Paulo, 2016.

SILVA, T. S. **Efeitos da velocidade de recirculação em reator de biofilme aerado em membranas em batelada sequencial na remoção de nutrientes e carbono orgânico de esgoto doméstico**. 2017. 104 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2017.

SUN, L. *et al.* Enhanced biological nitrogen and phosphorus removal using sequencing batch membrane-aerated biofilm reactor. **Chemical Engineering Science**, Kidlington, v. 135, p. 559-565, 2015.

TANNER, C. C. Plants for constructed wetland treatment systems — A comparison of the growth and nutrient uptake of eight emergent species. **Ecological Engineering**, Amsterdam, v. 7, n. 1, p. 59-83, set. 1996.
[http://dx.doi.org/10.1016/0925-8574\(95\)00066-6](http://dx.doi.org/10.1016/0925-8574(95)00066-6). Acesso em: 08 abr. 2021.

TAVARES, F. A. **Eficiência da Lemna sp no tratamento de efluentes líquidos de suinocultura e sua utilização como fonte alternativa de alimento para tilápias**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis. 2004.

TIMONS, M. B.; EBELING, J. M.; PIEDRAHITA, R. H. Acuicultura en sistemas de recirculación, 2009. Cayuga Aqua Ventures 2009, NRACE Publication N° 101 - Spanish, 4 Directiva marco del agua (DMA) Directiva 2000/60/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de octubre de 2000.

TIMMONS, M. B.; EBELING J. M. **Recirculating Aquaculture**. 3rd ed. Ithaca Publishing Company, LLC, November 14, 2013. 788 p.

TROLEZI, L. M. **Avaliação do destino final da biomassa de *Landoltia punctata* para compostagem por aeração natural com resíduos de podas de árvores**. 2019. Dissertação (Mestrado em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos) - Programa de Pós-graduação em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos – PROFÁGUA, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Ilha Solteira.

TUNDISI, J. G.; TUNDISI, T. M. **Limnologia**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008, 631 p.

TUNDISI, J. G. Novas perspectivas para a gestão de recursos hídricos. **Revista USP**, São Paulo, n. 70, p. 24 -35, 1 ago. 2006. Universidade de São Paulo, Agencia USP de Gestão da Informação Acadêmica (AGUIA).
<http://dx.doi.org/10.11606/issn.2316-9036.v0i70p24-35>. Acesso em: 08 abr. 2021.

VALENTI, W. C. Aquicultura sustentável. In: CONGRESSO DE ZOOTECNIA, 12, 2002. Vila Real, Portugal, Vila Real: Associação Portuguesa dos Engenheiros Zootécnicos. **Anais...** p. 111-118.

VAN SOEST, P. J. Development of a comprehensive system of feed analysis and its application to forage. **J. Anim. Sci.**, [s. l.], v. 26, n. 1, p. 119-120, 1967.

WENDEOU, S.P.H.; AINA, M.P.; CRAPPER, M.; ADJOVI, E.; MAMA, D. Influence of Salinity on Duckweed Growth and Duckweed Based Wastewater Treatment System. **Journal of Water Resource and Protection**, Irvine, v. 5, p. 993-999, 2013.

VAN DER STEEN, P.; BRENNER A.; VAN BAUREN J; ORON G. **Post-treatment of UASB reactor effluent in an integrated duckweed and stabilization pond system.** **Water Research**, Oxford, v. 33, n. 3, p. 615-620, 1999.

VAN SOEST, P.J. Symposium on factors influencing the voluntary intake of herbage by ruminants: voluntary intake in relation to chemical composition and digestibility. **J. Anim. Sci.**, Cary, v. 24, n. 3, p. 834-843, 1965.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos.** 3. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental UFMG, 2005. 452 p. (Princípios do tratamento biológico de águas residuárias, v. 1).

ZIMMO, O. R.; ALSAED R. M.; GIJZEN H. J. Comparison between algae-based and duckweed-based wastewater treatment: Differences in environmental conditions and nitrogen transformation. **Water Science and Technology**, v. 42, n. 10-11, p. 215 – 222, 2000.

ZIMMO, O. R.; VAN DER STEEN, N. P.; GIJZEN, H. J. **Nitrogen mass balance across pilot-scale algae and duckweed-based wastewater stabilization ponds.** **Water Research**, Londres, v. 38, n. 4, p. 913-920, 2004.

ZHAO, Y.; FANG, Y.; JIN, Y.; HUANG, J.; BAO, S.; FU, T.; HE, Z.; WANG, F.; WANG, M.; ZHAO, H. Pilot-scale comparison of four duckweed strains from different genera for potential application in nutrient recovery from wastewater and valuable biomass production. **Plant Biology**, v. 17, p. 82-90, 18 jun. 2014. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1111/plb.12204>. Acesso em: 08 abr. 2021.

ZIESLIN, N. Effect of pH in the root environment on leakage from plant roots. **Acta Horticulturae**, Wageningen, v.361, p.282-289. 1994.

XIAO, Y.; FANG, Y.; JIN, Y.; ZHANG, G.; ZHAO, H. **Culturing duckweed in the field for starch accumulation.** **Industrial Crops and Products** 48. 183– 190. 2013.