



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO ACADÊMICO DO AGRESTE
NÚCLEO DE TECNOLOGIA
ENGENHARIA CIVIL

RAQUEL FERREIRA DO NASCIMENTO

**PÓS-TRATAMENTO DE ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE EFLUENTES
TÊXTEIS COM USO DE MACRÓFITAS AQUÁTICAS *LEMNA SP.***

CARUARU

2018

RAQUEL FERREIRA DO NASCIMENTO

**PÓS-TRATAMENTO DE ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE EFLUENTES
TÊXTEIS COM USO DE MACRÓFITAS AQUÁTICAS *LEMNA SP.***

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Coordenação do Curso de Engenharia Civil do Centro Acadêmico do Agreste da Universidade Federal de Pernambuco – UFPE, em cumprimento às exigências para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Área de Concentração: Saneamento Ambiental

Orientadora: Dra. Elizabeth Amaral Pastich Gonçalves

CARUARU

2018

Catálogo na fonte:
Bibliotecária – Simone Xavier - CRB/4 - 1242

N244p

Nascimento, Raquel Ferreira do.

Pós-tratamento de estações de tratamento de efluentes têxteis com uso de macrófitas aquáticas Lemna sp. / Raquel Ferreira do Nascimento. - 2018.
48 f. il. : 30 cm.

Orientadora: Elizabeth Amaral Pastich Gonçalves

Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Universidade Federal de Pernambuco, CAA, Engenharia Civil, 2018.

Inclui Referências.

1. Macrófitas aquáticas. 2. Resíduos industriais. 3. Tratamento. I. Santos, Gonçalves, Elizabeth Amaral Pastich (Orientadora). II. Título.

620 CDD (23. ed.)

UFPE (CAA 2018-259)

RAQUEL FERREIRA DO NASCIMENTO

**PÓS-TRATAMENTO DE ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE EFLUENTES
TÊXTEIS COM USO DE MACRÓFITAS AQUÁTICAS *LEMNA SP.***

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Coordenação do Curso de
Engenharia Civil do Centro Acadêmico
de Agreste da Universidade Federal de
Pernambuco – UFPE, em cumprimento às
exigências para obtenção do grau de
Bacharel em Engenharia Civil.

Aprovada em 23 de Julho de 2018.

BANCA EXAMINADORA

Professora Dra. Elizabeth Amaral Pastich Gonçalves (Orientadora)
Universidade Federal de Pernambuco

Professora Dra. Selma Thaís Bruno da Silva (Examinador externo)
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte

Professor Dr. Rogério Ferreira da Silva (Examinador externo)
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco

Professor Dr. Elder Alpes de Vasconcelos (Coordenador da Disciplina)
Universidade Federal de Pernambuco

AGRADECIMENTOS

Agradeço inicialmente a Deus, por ter sido meu ponto de fé e ter me dado força suficiente para chegar até aqui, não me deixando fraquejar nos momentos que achei que não iria conseguir.

Em seguida, agradeço a todos da minha família. Aos meus irmãos, João Batista, Jackeline e Maria Cecília, por terem estado junto a mim, contribuindo com todo o apoio que podiam me oferecer. E, sobretudo, aos meus pais, Dogival Ferreira do Nascimento e Veronilda Maria da Silva Nascimento, por terem sido meu alicerce em todos os momentos que necessitei de apoio durante minha graduação, sendo impossível essa formação sem a força que ambos me deram.

Agradeço também ao meu namorado, Yhago Carvalho, que sempre esteve comigo, me apoiando e me incentivando a seguir em frente, me consolando nos momentos mais difíceis da graduação.

Aos meus amigos que estiveram comigo, contribuindo para minimizar a árdua caminhada da graduação, me proporcionando momentos de alegria, em especial Ana Paula Alves e Maria Alice Britto, que sempre estiveram presentes na minha caminhada, deixo meu agradecimento.

Agradeço também a todos que me auxiliaram nos resultados desse projeto, principalmente todos aqueles que fazem (ou fizeram) parte do Laboratório de Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Pernambuco - Campus do Agreste.

Por fim, não sendo menos importantes, agradeço a minha orientadora Elizabeth Amaral Pastich Gonçalves, que me deu oportunidade de trabalhar como aluna de Iniciação Científica sob sua orientação no Laboratório de Engenharia Ambiental, me possibilitando obter mais conhecimento sobre a área de Saneamento Ambiental, e a Marileide Lira Araujo Tavares, que também me orientou e participou de todas as etapas desse projeto.

RESUMO

O polo de confecções do agreste pernambucano traz benefícios para a região, como geração de empregos e desenvolvimento econômico, mas, em contrapartida, ocorre a produção de efluentes enriquecidos com compostos químicos e corantes. Os efluentes têxteis oriundos de lavanderias de jeans apresentam elevada concentração de poluentes, devendo ser enquadrados antes do lançamento. O uso de macrófitas aquáticas para o tratamento pode se configurar como alternativa de baixo custo. O mecanismo de remoção se dá pela capacidade de algumas espécies em absorver poluentes e nutrientes do meio e, ainda, pelo biofilme que se estabelece no sistema radicular. No presente estudo, foi avaliado o pós-tratamento do efluente têxtil com o uso da macrófita *Lemna*. O estudo foi conduzido em escala de bancada, em béqueres de 2 L e em triplicata, onde foram avaliados três tratamentos: T1- efluente têxtil sem macrófitas, T2- efluente têxtil com um alumínio na superfície para bloquear a radiação de Luz, e T3- experimento com macrófita. O experimento foi conduzido em estufa a 30°C, com fotoperíodo de 12 h e durou 7 dias. A turbidez apresentou pequenas reduções em todas as amostras estudadas e ocorreu pela sedimentação dos sólidos. A DQO sofreu redução, no entanto, a presença das macrófitas não interferiu nessa redução. O oxigênio dissolvido foi aumentando ao longo do experimento, decorrente da fotossíntese das algas presentes na coluna de água. Houve pequenas reduções de fósforo total e nitrogênio amoniacal para as três amostras em estudo, o que leva à conclusão de que a via de remoção por absorção pelas macrófitas e a ação de biofilme aderido nas raízes não foram vias preponderantes. A falta de manejo dos espécimes também pode ter influenciado na eficiência de remoção de nitrogênio, pois as algas passam a ficar empilhadas e competem por luz, de forma que algumas espécies começam a morrer e contribuir para o incremento de nitrogênio amoniacal no meio.

Palavras-chave: Macrófitas. Efluente têxtil. Tratamento. *Lemna*.

ABSTRACT

The garment industry of the Agreste region of Pernambuco brings benefits to the region, such as job creation and economic development, but, on the other hand, there is the production of effluents enriched with chemical compounds and dyes. Textile effluents from denim laundries present a high concentration of pollutants and should be framed before launch. The use of aquatic macrophytes for treatment can be configured as a low cost alternative. The mechanism of removal is due to the ability of some species to absorb pollutants from the environment and nutrients, and also by the biofilm that is established in the root system. In the present study, the post-treatment of the textile effluent with the use of *Lemna* macrophyte was evaluated. The study was conducted on bench scale, in 2 L beakers and in triplicate, where three treatments were evaluated: T1- textile effluent without macrophytes, T2- textile effluent with a surface aluminum to block the light radiation, and T3- experiment with macrophyte. The experiment was conducted in a greenhouse at 30° C, with photoperiod of 12 h and lasted for 7 days. Turbidity presented a significant reduction in all studied samples and occurred by sedimentation of the solids. COD was reduced, however, the presence of macrophytes did not interfere with this reduction. The dissolved oxygen was increased throughout the experiment, due to the photosynthesis of the algae present in the water column. During this process, the carbonic acid is withdrawn from the liquid mass, which causes an increase in the pH of the medium and the consequent production of the dissolved oxygen as a by-product of the photosynthetic process. There were insignificant reductions of Total Phosphorus and Ammonia Nitrogen for the three samples under study, which leads to the conclusion that the absorption pathway by the macrophytes and the action of biofilm adhered in the roots were not preponderant routes. The lack of management of the specimens may also have influenced the efficiency of nitrogen removal, as the algae become stacked and compete for light, so that some species begin to die and contribute to the increase of ammonia nitrogen in the environment.

Keywords: Macrophytes. Textile effluent. Treatment. *Lemna*.

LISTA DE FIGURA

Figura 1 -	Despejo de efluente têxtil no corpo receptor.....	17
Figura 2 -	Mecanismo de absorção da macrófita.....	22
Figura 3 -	Espécies flutuantes de macrófitas aquáticas. (a) Alface d'água; (b) Aguapé.....	22
Figura 4 -	<i>Lemna</i> sp.....	24
Figura 5 -	Macrófita <i>Lemna</i> sp.....	28
Figura 6 -	Esquema de montagem do experimento.....	29
Figura 7 -	Adaptação dos béqueres com canos de PVC perfurados.....	30
Figura 8 -	Aparato experimental. a) Incubadora aberta; b) Lâmpadas de LED; c) Temporizador.....	30
Figura 9 -	Adaptação nos béqueres com canos de PVC. (a) Cano PVC perfurado; (b) Adaptação do béquer com o cano.....	31
Figura 10 -	Remoção de turbidez ao longo do experimento. a) T1: sem macrófitas e com efluente têxtil em béquer sem cobertura; b) T2: sem macrófitas e com efluente têxtil em béquer coberto por papel alumínio; c) T3: com macrófitas e com efluente têxtil em béquer sem cobertura.....	32
Figura 11 -	Remoção de DQO ao longo do experimento. a) T1: sem macrófitas e com efluente têxtil em béquer sem cobertura; b) T2: sem macrófitas e com efluente têxtil em béquer coberto por papel alumínio; c) T3: com macrófitas e com efluente têxtil em béquer sem cobertura.....	34
Figura 12 -	Concentração de oxigênio dissolvido (OD) ao longo do experimento. a) T1: sem macrófitas e com efluente têxtil em béquer sem cobertura; b) T2: sem macrófitas e com efluente têxtil em béquer coberto por papel alumínio; c) T3: com macrófitas e com efluente têxtil em béquer sem cobertura.....	36
Figura 13 -	Potencial hidrogeniônico (pH) ao longo do experimento. a) T1: sem macrófitas e com efluente têxtil em béquer sem cobertura; b) T2: sem macrófitas e com efluente têxtil em béquer coberto por papel alumínio; c) T3: com macrófitas e com efluente têxtil em béquer sem cobertura.....	37
Figura 14 -	Concentração de fósforo total ao longo do experimento. a) T1: sem macrófitas e com efluente têxtil em béquer sem cobertura; b) T2: sem macrófitas e com efluente têxtil em béquer coberto por papel alumínio;	

c) T3: com macrófitas e com efluente têxtil em béquer sem cobertura.....39

Figura 15 - Concentração de nitrogênio amoniacal ao longo do experimento. a) T1: sem macrófitas e com efluente têxtil em béquer sem cobertura; b) T2: sem macrófitas e com efluente têxtil em béquer coberto por papel alumínio; c) T3: com macrófitas e com efluente têxtil em béquer sem cobertura.....40

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Remoção média obtida para os parâmetros avaliados por Hussar <i>et al.</i> (2008).....	23
Tabela 2 -	Remoção média obtidos para os parâmetros avaliados por Henry-Silva (2008).....	23
Tabela 3 -	Eficiência de remoção de poluentes no experimento realizado por Mohedano (2004).....	25
Tabela 4 -	Parâmetros avaliados e frequência das aferições.....	31

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	11
2	JUSTIFICATIVA.....	13
3	MOTIVAÇÃO.....	14
4	OBJETIVOS.....	15
4.1	Objetivo geral.....	15
4.2	Objetivo específico.....	15
5	REFERENCIAL TEÓRICO.....	16
5.1	Indústria têxtil.....	16
5.2	Processos de tratamento do efluente têxtil.....	18
5.2.1	<i>Biológicos</i>.....	19
5.2.1.1	Reator UASB.....	19
5.2.1.2	Lodo Ativado.....	19
5.2.1.3	Uso de macrófitas.....	20
5.2.2	<i>Físico-químicos</i>.....	26
5.2.2.1	Coagulação/floculação.....	27
5.2.2.2	Oxidação.....	27
5.2.2.3	Troca iônica.....	27
6	METODOLOGIA.....	28
6.1	Coleta.....	28
6.2	Montagem do experimento.....	29
6.3	Parâmetros.....	31
7	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	32
7.1	Turbidez.....	32
7.2	Demanda Química de Oxigênio (DQO).....	33
7.3	Oxigênio Dissolvido (OD) e pH.....	35
7.4	Fósforo.....	27
7.5	Nitrogênio Amoniacal.....	39
8	CONCLUSÃO.....	42
	REFERÊNCIAS.....	43

1 INTRODUÇÃO

O setor industrial gera riquezas e desenvolvimento econômico e social para uma região, mas, em contrapartida, provoca um grande impacto ambiental. Esse setor é um dos maiores consumidores de água no Brasil, atrás apenas da irrigação, do abastecimento humano e do uso animal. Neste contexto, a indústria têxtil se destaca por apresentar uma elevada demanda por água e, como consequência, produzir grandes volumes de efluentes ao longo das diversas etapas nos processos de tingimento.

O polo de confecções do agreste pernambucano, composto por Caruaru, Santa Cruz do Capibaribe e Toritama, forma o segundo maior polo têxtil do Brasil e configura-se como um importante setor para o desenvolvimento do agreste. No entanto, de acordo com Abreu et al. (2008), em virtude da escassez de água na região e da ausência de adequados sistemas de tratamento de efluentes, a implantação da indústria têxtil impõe um grave risco ambiental.

Ao longo dos processos para o beneficiamento dos tecidos, são gerados diferentes constituintes como ácidos, substâncias químicas para o branqueamento, enzimas, amido, corantes, resinas, solventes, ceras, óleos, etc. (VERMA et al., 2012). Estes constituintes geram um efluente final com elevada demanda química de oxigênio, demanda bioquímica de oxigênio, sólidos totais dissolvidos, cor e metais pesados (CHANDANSHIVE et al., 2017), que pode resultar em acumulação crônica de nutrientes levando ao processo de eutrofização artificial, além de promover alteração da cor da água e possuir substâncias tóxicas à vida aquática (ESTEVES e MEIRELLE-PEREIRA, 2011).

Diversas tecnologias têm sido estudadas para o tratamento de efluente têxtil no mundo, que podem ser físico-químicas, biológicas e tratamentos combinando esses dois conceitos. Como processo físico-químico, a coagulação e a floculação ainda são alternativas amplamente praticadas, mas geram elevada quantidade de lodo, como subproduto do tratamento (VERMA et al., 2012). Outros tratamentos físico-químicos têm sido propostos na literatura, entre outros podem ser citados a eletrocoagulação com corrente contínua pulsada (MARTINS et al., 2017) e os processos de oxidação avançada (SILVA et al., 2018; KHATRI et al., 2018). No entanto, Nawaz e Ahsan (2014) afirmam que apenas a utilização de tratamento físico-químico não garante remoção adequada de todos os resíduos gerados pelos processos têxteis, já a combinação de processos biológicos e físico-químicos, tais como lodos ativados seguidos de filtração por areia e adsorção de carbono ativado pode ser uma tecnologia promissora.

Em relação aos tratamentos biológicos, alguns trabalhos podem ser citados: utilização de reatores anaeróbios do tipo UASB combinado com processo Fenton (SANTOS et al., 2017), biorreatores de membrana anaeróbia submersa (BAËTA et al., 2016), utilização de microalga viva em suspensão (JIMENO et al., 2017), sistema de fermentação em estado sólido (CHICATTO et al., 2018) etc. Atualmente, um método muito discutido para o tratamento de esgoto doméstico é a absorção direta por macrófitas aquáticas, que vêm sendo utilizadas sobretudo para recuperação de corpos hídricos eutrofizados.

As macrófitas aquáticas representam um grande grupo de organismos, tendo como referência as algas taloides, musgos e hepáticas, filicíneas, coníferas e plantas com flores que crescem em águas interiores e salobras, estuários e águas costeiras (TUNDISI e MATSUMURA, 2008). O princípio do tratamento ocorre, principalmente, pelo sistema radicular das macrófitas, mas algumas espécies também absorvem nutrientes por meio das folhas (ESTEVES e MEIRELLE-PEREIRA, 2011). Adicionalmente, suas raízes formam uma densa rede capaz de reter até as mais finas partículas em suspensão, e também são capazes de absorver substâncias tóxicas provenientes do despejo industrial e doméstico, essa rede também forma micro-habitats com o estabelecimento de biofilmes que também auxiliam no tratamento (NOTARE, 1992).

As macrófitas da família *Lemnaceae* são consideradas as menores plantas vasculares do mundo (TAVARES, 2004). As lagoas de *Lemnas* têm sido empregadas para o tratamento de efluentes industriais e domésticos. Neste sentido, o presente trabalho teve como objetivo avaliar a eficiência do uso de macrófitas do gênero *Lemna* no pós-tratamento de efluente têxtil de tratamento físico-químico.

2 JUSTIFICATIVA

A indústria têxtil para o agreste pernambucano, sobretudo para as cidades de Caruaru, Toritama e Santa Cruz do Capibaribe, é o setor propulsor do desenvolvimento econômico da região, mas também é um agressor ao meio ambiente local, devido à alta carga orgânica dos efluentes têxteis que são despejados nos corpos hídricos de Pernambuco.

Pensando nessa problemática da região, o presente trabalho foi desenvolvido visando buscar uma conciliação entre o crescimento das indústrias têxteis, em especial no agreste de pernambuco, e a redução dos impactos ambientais, de forma econômica.

O processo da bio sorção, que emprega absorventes de origem natural, surge como uma tecnologia promissora e em atual expansão em sua aplicação no tratamento e polimento final de efluentes contendo corantes, possuindo vantagens como alta seletividade e eficiência, além do baixo custo do bio sorvente. Entre os bio sorventes utilizados para remoção de corantes, diferentes espécies de macrófitas e resíduos orgânicos têm sido investigados (SANTOS et. al, 2015).

Portanto, no presente estudo, buscou-se validar a eficiência da macrófita *Lemna* sp. no pós-tratamento de efluentes têxteis na remoção de matéria orgânica e nutrientes, de modo a minimizar, ou sanar, o problema ambiental vivido na região do agreste pernambucano.

3 MOTIVAÇÃO

Esse trabalho iniciou-se da experiência vivida por uma Iniciação Científica, entre os anos de 2016 e 2018. No projeto, foram utilizadas macrófitas para o pós-tratamento de estações de tratamento de efluentes têxteis, visando a adequação desses efluentes para o futuro lançamento adequado em corpos hídricos, avaliando a eficiência de absorção de nutrientes, cor e turbidez da macrófita *Lemna* sp. Portanto, o experimento busca a conjugação do setor industrial e da sustentabilidade, sobretudo no agreste pernambucano, que tem sofrido com a escassez hídrica da região.

Dessa maneira, o trabalho busca, além de minimizar os impactos ambientais causados pelo lançamento de efluentes têxteis fora dos padrões adequados em cursos de água, a redução de custos gerados no tratamento do efluente produzido na indústria têxtil.

4 OBJETIVOS

4.1 Objetivo geral

Avaliar o potencial de melhorar o tratamento das macrófitas aquáticas flutuantes do gênero *Lemna* no pós-tratamento de efluente têxtil de lavanderia de jeans.

4.2 Objetivo específico

- Avaliar a eficiência de remoção de cor, DQO e nutrientes por processo de absorção das macrófitas, utilizando efluente têxtil tratado por processo físico-químico,
- Analisar a influência dos raios de luz no pós-tratamento desse efluente.

5 REFERENCIAL TEÓRICO

5.1 Indústria têxtil

Segundo o Relatório de Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil, de 2017, elaborado pela Agência Nacional das Águas (ANA), o Brasil, por muito tempo, esteve entre os principais países produtores do setor primário, com atividades ligadas à agropecuária e ao extrativismo, sobretudo devido a sua natureza geográfica e seu clima. Porém, a partir da segunda metade do século XX, o país passou por um processo amplo de industrialização, e tornou-se destaque no setor industrial, tendo como um dos destaques o setor têxtil. Atualmente, o setor é o segundo maior empregador da indústria de transformação (PIZATO, 2013).

O maior polo têxtil do Brasil está localizado na região Sudeste do País, seguido pelo polo têxtil do agreste pernambucano. Segundo Bezerra (2011), o agreste pernambucano compreende uma experiência produtiva extremamente relevante, cujo estabelecimento acontece nos municípios de Caruaru, Toritama e Santa Cruz do Capibaribe. Porém, de acordo com Abreu et al. (2008), em virtude da escassez de água na região Nordeste e da ausência de sistemas adequados de tratamento de efluentes, a implantação da indústria têxtil impõe um elevado risco ambiental à região. Entre os setores industriais, o têxtil é considerado um dos mais poluidores, devido ao elevado volume e variação de composição de seus efluentes (VANDEVIVERE et al., 1998; BASTOS et al., 2005; IMHOFF e IMHOFF, 1986; KUNZ e ZAMORA, 2002).

Os principais processos geradores do efluente resultante das indústrias têxteis são os de acabamento e beneficiamento, como o de desengomagem, lavagem, branqueamento e tingimento (MUKESH e KUMAR, 2005). Em geral, as indústrias têxteis necessitam de cerca de 60 a 400 litros de água para cada quilo de tecido que fabricam, gerando, assim, elevadas vazões de efluente, que normalmente contêm elevado potencial poluidor, sendo ricos em corantes e produtos químicos de origem orgânica e inorgânica (GUARATINI e ZANONI, 2000; SALGADO et al, 2009; ALI et al., 2009).

As características dos efluentes industriais são inerentes a composição das matérias primas, das águas de abastecimento e do processo industrial (GIORDINO, 2004). Assim, o grande volume de água consumido pela indústria têxtil durante seus processos de produção, como a lavagem e o tingimento, gera efluentes com enorme variabilidade e complexidade química. Os corantes presentes nesse tipo de resíduo líquido

são bastante visíveis e causam diversos problemas, sobretudo em relação à resistência destes compostos aos tratamentos convencionais, gerando moléculas com efeitos nocivos e/ou mutagênicos aos organismos vivos, resultantes da degradação incompleta da molécula do corante (GAYLARDE e BELLINASSO & MANFIO, 2005).

De acordo com ARSLAN et al. (2000), aproximadamente 12% de corantes sintéticos são perdidos anualmente durante a fabricação e em processos de tingimento, sendo que nesse caso, 20% da cor resultante é deixada no ambiente. A cor no ambiente, observada nos despejos de efluente, como demonstrado na Figura 1, é a cor aparente, composta por substâncias dissolvidas e também as coloidais (GIORDANO, 2004). Além dos corantes presentes, Fonseca Araujo et al. (2006) afirmam que esses efluentes apresentam grande quantidade de sólidos suspensos, pH com grandes variações, temperatura elevada, grandes concentrações de DQO, considerável quantidade de metais pesados, como Cr, Ni ou Cu, compostos orgânicos clorados e surfactantes.

Figura 1 - Despejo de efluente têxtil no corpo receptor.



Fonte: (AMARAL *et al.*, 2012).

Dentre os parâmetros indicadores do potencial poluidor dos efluentes gerados pela indústria têxtil, salienta-se as elevadas cargas de demanda química de oxigênio (DQO) e demanda bioquímica de oxigênio (DBO), além das grandes concentrações de detergentes, sais e resíduos de baixa biodegradabilidade. O potencial hidrogeniônico (pH) varia entre 8 e 11, o teor de sólidos em suspensão, geralmente, estão entre 30 a 50 mg.L⁻¹, os sólidos totais entre 1000 a 1600 mg.L⁻¹, a DBO entre 200 a 600 mg.L⁻¹, a DQO, em geral excede 1000 mg.L⁻¹ e a cor do efluente varia com o corante utilizado durante o processo de

tingimento (BRAILE e CAVALCANTI, 1993; NYANHONGO et al., 2001; BAIRD e CANN, 2011).

Von Sperling (1996) indica que altos valores de DBO e DQO podem resultar em problemas nos corpos hídricos, como a redução de oxigênio dissolvido (OD) gerando morte de peixes, geração de espumas, e elevação da toxicidade do ambiente. A solubilidade de várias substâncias pode variar em função do pH do meio e influenciar a distribuição das formas livre e ionizada dos compostos químicos, modificando assim o potencial de toxicidade de muitos elementos (LIBÂNIO, 2005).

Além desses parâmetros, o nitrogênio e o fósforo no efluente, seja industrial ou doméstico, apesar de indispensáveis às diversas formas de vida, causam descontrole na proliferação de plantas aquáticas nos corpos hídricos quando estão em elevadas concentrações. Nos efluentes industriais, esses elementos podem advir de proteínas, aminoácidos, ácidos fosfóricos e seus derivados (GIORDANO, 2004).

Desse modo, o aumento do risco nas atividades industriais devido à escassez de água em algumas regiões do mundo, combinado às altas expectativas dos consumidores e investidores com relação à responsabilidade socioambiental das indústrias, fez com que corporações voltassem a sua atenção às práticas de usos sustentáveis dos recursos hídricos (WATTER, 2009). Devido a essas implicações ambientais, novos processos de remoção e/ou degradação destes compostos químicos e nutrientes presentes em efluentes têxteis têm sido testados, a fim de erradicar, ou minimizar, a poluição gerada pelo lançamento desses efluentes nos corpos hídricos (DALLAGO, 2005).

5.2 Processos de tratamento do efluente têxtil

A gestão das águas no setor têxtil pode ser sintetizada nos seguintes desafios: redução da demanda de água, tratamento de efluentes, reutilização do efluente tratado como fonte hídrica, e por fim, o resgate dos compostos presentes no efluente tratado (PIZATO, 2013). Os tratamentos empregados envolvem processos físicos, químicos e biológicos (VALENTIM, 2003).

5.2.1 *Biológicos*

Segundo Coelho (2003), a matéria orgânica é fonte de energia para que os microrganismos se desenvolvam e se proliferem. Desse modo, esse é o princípio dos tratamentos biológicos: utilizar os microrganismos para que eles consumam a matéria orgânica no meio que estão inseridos. Os tratamentos biológicos de efluentes domésticos e industriais fazem a remoção da matéria orgânica dissolvida e em suspensão no líquido, transformando-a em sólidos sedimentáveis ou em gases, portanto, reproduzem o fenômeno de autodepuração que ocorrem na natureza (RAMALHO, 1991; GIORDANO, 2004). Esses processos são bastante utilizados tendo como vantagem o baixo custo e a produção de sub-produtos mais estabilizados e biodegradáveis (COELHO, 2003). Alguns tratamentos biológicos serão apresentados na seção seguinte.

5.2.1.1 Reator UASB

De acordo com Santos (2017), o reator anaeróbio de manta de lodo de fluxo ascendente (UASB) é formado por um manto de lodo, em que o resíduo líquido é introduzido de maneira ascendente no reator UASB, ultrapassando a película do lodo. A partir daí, o fluxo segue para um separador de fases gás-sólido-líquido.

Esse processo para tratamento de efluentes apresenta vantagens por possuir um baixo custo para a implantação, gera menor quantidade de lodo, é simples de operar, consome menos energia, e também grande parte da matéria orgânica biodegradável presente no efluente é convertida em biogás, podendo ser utilizado para outros fins (VON SPERLING, 1996; CHERNICHARO, 1997).

Porém, segundo Souza (2000), os métodos anaeróbios de tratamento, como é o caso do reator UASB, gera efluentes compostos por resíduos, a exemplo de gases dissolvidos, matéria orgânica, turbidez, fósforo e nitrogênio, assim como microrganismos patogênicos. Desse modo, muitas vezes é necessário um pós-tratamento nos efluentes provenientes desses processos.

5.2.1.2 Lodo Ativado

Entre os processos biológicos, o mais comum no tratamento dos efluentes têxteis é o tratamento por lodo ativado. O tratamento divide-se em uma unidade de aeração e em uma unidade de separação do sólido e do líquido, em que o lodo é reservado, sendo uma parcela retirada e outra retorna ao tanque de aeração. Apesar de conseguir remover entre

90 e 98% da Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), o processo torna-se limitado devido ao seu alto custo, sobretudo quanto ao fornecimento de oxigênio dissolvido (para que os microrganismos biodegradem a matéria orgânica), a produção de um enorme volume de lodo e a baixa eficiência na remoção de cor (SCHRANK et al., 2000).

5.2.2.3 Uso de macrófitas

De acordo com o Programa Internacional de Biologia (IBP), macrófitas aquáticas é a nomenclatura mais adequada para fazer referência às plantas presentes em diversos ambientes, desde os terrestres até os totalmente aquáticos. Elas são representantes de um grande grupo de espécies, tendo como referência as algas taloides, musgos e hepáticas, filicíneas, coníferas e plantas com flores que crescem em águas interiores e salobras, estuários e águas costeiras (TUNDISI e MATSUMURA, 2008).

Segundo Esteves (1998), as macrófitas são bem diversificadas e podem ser classificadas em relação ao biótipo como: macrófitas aquáticas emersas, fixadas ao sedimento, mas com as folhas para fora da água; as macrófitas aquáticas com folhas flutuantes, enraizadas no solo, mas com as folhas sobre a superfície da água; macrófitas aquáticas submersas, fixadas ao solo e totalmente submersas na água; as macrófitas aquáticas submersas livres, em que suas raízes são pouco desenvolvidas e flutuam submergidas na água em ambientes com pouca interferência; e por fim, as macrófitas aquáticas flutuantes, que flutuam sobre a superfície da água, e por isso seu desenvolvimento é maior em locais com pouco vento.

Atualmente está sendo discutida a possibilidade de utilizar macrófitas aquáticas como tratamento biológico de efluentes, sejam domésticos ou industriais. Essas plantas têm se destacado por duas razões: alta capacidade de remoção de nutrientes e cor, e também pela sua abundância, sendo considerada a principal planta daninha aquática em vários países (BINI e THOMAZ, 2005; MÓDENES et al., 2009a; MÓDENES et al., 2009b).

As macrófitas podem ser capazes de reduzir as concentrações de compostos orgânicos, metais pesados, fosfato e compostos nitrogenados, e também o crescimento de bactérias nos efluentes em tratamento. Além disso, nesses sistemas, há geração de uma biomassa utilizável para outros fins, como por exemplo, alimento para animais (ESTEVES, 1998).

A presença e localização das macrófitas aquáticas estão relacionadas com a concentração dos nutrientes presentes no ambiente, pelas características do solo onde

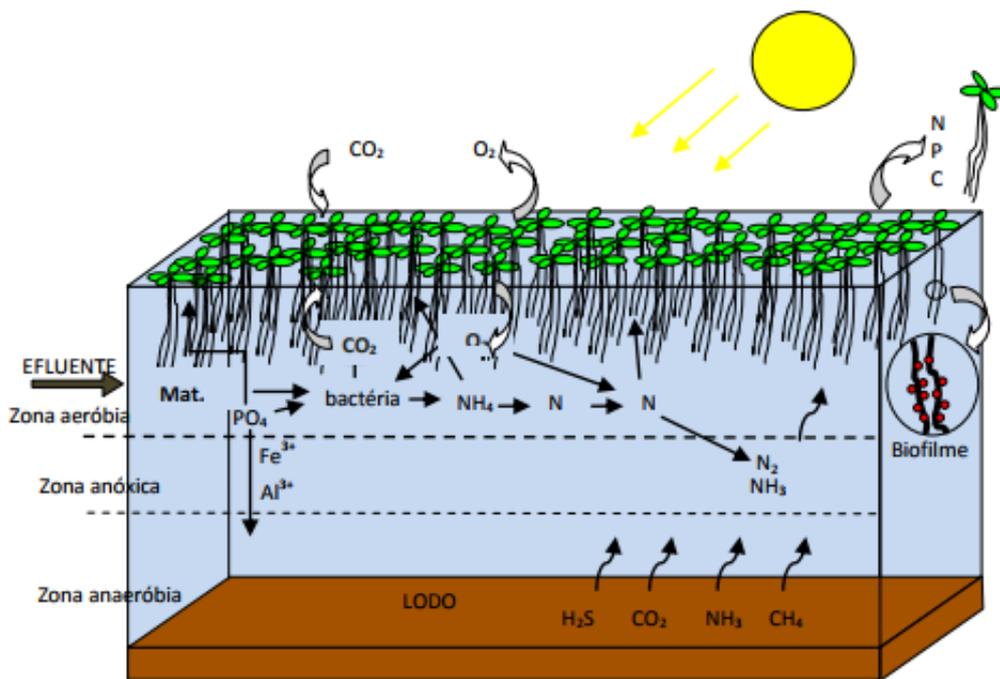
estão fixadas, pela altura da lâmina de água, pela turbulência (ou não) da água, pela presença de sólidos suspensos, pela presença de predadores e também pelas atividades desenvolvidas pelos seres humanos (APHA, 1995; WOOD e McATAMNEY, 1996).

Em vários locais, o rápido crescimento desses vegetais tem trazido diversos transtornos. As macrófitas aquáticas podem desencadear problemas quanto aos usos dos cursos de água, prejudicando a navegação, a captação de água, assim como a geração de energia elétrica, e comprometendo as atividades de lazer (CAMARGO et al., 2003; MARTINS et al., 2003). Além disso, também podem interferir na saúde pública, criando condições para a proliferação de animais transmissores de doenças, como, por exemplo, a malária e a esquistossomose. Em geral, esse descontrole no crescimento e desenvolvimento das macrófitas aquáticas está relacionada a duas condições em especial: falta de predadores e elevadas concentrações de nutrientes no ambiente, principalmente o nitrogênio e o fósforo (ESTEVES, 1998).

No entanto, um método muito discutido atualmente para o tratamento de efluentes é a absorção direta das macrófitas, que ocorre, principalmente, pelo sistema radicular das algas ou por meio das folhas (ESTEVES, 2011). Diversas espécies, por necessitarem de elevadas concentrações de nutrientes, estão sendo utilizadas com êxito na recuperação de cursos de água eutrofizados, através das suas raízes, que formam uma densa rede capaz de reter os sólidos suspensos no ambiente e também absorver substâncias tóxicas provenientes do esgoto doméstico e industrial (NOTARE, 1992), conforme mostra a Figura 2. Essas plantas são capazes de absorver várias substâncias, sobretudo o nitrogênio e o fósforo. Além disso, liberam oxigênio em torno das suas raízes, e assim possibilitam o tratamento do efluente (VALENTIM, 2003).

Para a determinação da macrófita mais adequada para o tratamento de um efluente, recomenda-se a utilização de plantas aquáticas nativas, para evitar o risco de introduzir espécies exóticas à região estudada, potencialmente invasoras em ambientes aquáticos e extinguir as nativas (POTT e POTT, 2002). Ainda segundo Pott e Pott (2002), para processos de tratamento em efluentes ocorridos em tanques, as macrófitas aquáticas mais indicadas são as flutuantes, como as lemnáceas, azola, alface-d'água (Figura 3a), orelhas-de-onça e os aguapés (Figura 3b). Porém, segundo Esteves (1998), devido à precipitação após a rápida complexação de metais à matéria orgânica, espera-se que as algas que são enraizadas no solo obtenham resultados melhores que as flutuantes quanto à remoção dos metais do efluente.

Figura 2 - Mecanismo de absorção da macrófita.



Fonte: Mohedano (2010).

Figura 3 - Espécies flutuantes de macrófitas aquáticas. (a) Alface d'água; (b) Aguapé.



(a)



(b)

Fonte: Pott & Pott (2002).

A macrófita aquática conhecida como alface d'água (*Pistia stratiotes*) é capaz de realizar o tratamento de efluente assim como também serve de abrigo para ovos de peixes

e para outras algas, gerando alimentos para outras espécies (VAN DEN BERG, 1986). A *Azolla* spp. também é de extrema importância para um processo de tratamento de efluente, visto que a alga *Anabaena azollae* vive entre suas folhas e é imprescindível na fixação do nitrogênio pela alga (POTT e POTT, 2000).

Hussar et al. (2008) avaliou o desempenho de lagoas de macrófitas da espécie *Eichhornia crassipes*, comumente conhecidas como aguapé, no tratamento de efluente gerado no tanque de piscicultura, em relação à Demanda Química de Oxigênio (DQO), Nitrogênio Total (N), Nitrato (NO_3), Nitrogênio Amônia (NH_3), Fósforo Total (P), Turbidez (T), Cor e pH. A Tabela 1 demonstra os valores de remoção média obtidos durante a fase experimental.

Tabela 1 - Remoção média obtidos para os parâmetros avaliados por Hussar et al. (2008).

Parâmetro avaliado	Remoção média (%)
DQO	77,7
N	76,9
NO_3	79,5
NH_3	82,9
P	95,4
T	92,1

Do mesmo modo, Henry-Silva (2008) analisou a eficácia de sistemas compostos de duas espécies de macrófitas aquáticas flutuantes (*Eichhornia crassipes* e *Pistia stratiotes*) no tratamento de efluentes gerados por uma carcinicultura. Os sistemas de tratamento foram constituídos de 12 unidades experimentais com as macrófitas aquáticas e três sem plantas (controle). As macrófitas aquáticas foram eficientes na remoção de nitrogênio e fósforo, contudo as maiores eficiências foram na remoção do fósforo total e da turbidez. Os resultados obtidos no tratamento estão demonstrados na Tabela 2.

Tabela 2 - Remoção média obtidos para os parâmetros avaliados por Henry-Silva (2008).

Unidade experimental	Remoção do Fósforo Total (%)	Remoção da Turbidez (%)
Controle (sem macrófitas)	41,9	30,6
<i>E. crassipes</i>	71,6	80,2
<i>P. stratiotes</i>	69,9	75,2
<i>E. crassipes</i> + <i>P. stratiotes</i>	72,5	79,8
<i>P. stratiotes</i> + <i>E. crassipes</i>	72,1	81,5

Segundo Mohedano (2010), as lemnáceas apresentam rusticidade para suportar elevadas cargas de matéria orgânica, sólidos suspensos e nutrientes, além de variações bruscas no pH. Dessa maneira, são espécies com potencial para remoção de nutrientes e matéria orgânica presentes em efluentes têxteis. Portanto, entre as espécies de macrófitas existentes, as lemnáceas também são comumente utilizadas no tratamento de diversos efluentes. As macrófitas da família *Lemnaceae* (Figura 4) são consideradas as menores plantas vasculares do mundo. São conhecidas como “duckweeds” (erva-de-pato), “lentilhas d’água” ou somente “lemas”. Possuem hábito aquático, facilmente adaptáveis a todos os ambientes, e geralmente são encontradas na superfície de águas paradas, visto que são flutuantes, e ricas em nutrientes (TAVARES, 2004).

Figura 4 - *Lemna* sp.



Fonte: Pott e Pott (2002).

As *Lemnas* crescem de maneira excessiva e são plantas possíveis de absorver os nutrientes presentes na água em diversas condições do ambiente. Quando comparadas a outras espécies, mostram-se menos sensíveis a temperaturas amenas, a altas concentrações de nutrientes, a variações de pH, a pragas e também a doenças (DINGES, 1982).

Mohedano (2004) avaliou a eficiência da macrófita *Lemna valdiviana* no tratamento do efluente de piscicultura. Para as variáveis monitoradas durante o experimento, obteve-se as percentagens de remoção conforme a Tabela 3.

Pelos resultados encontrados em pesquisas de tratamento de efluentes com o uso de macrófitas da família *Lemnaceae*, conclui-se que somente cerca de 50% do nitrogênio removido pelo sistema está relacionado com a absorção da lentilha. O restante do nitrogênio é removido por outros mecanismos, em especial, pode-se citar a liberação do

nutriente para a atmosfera através da desnitrificação e da volatilização da amônia (ALAERTS et al. 1996; GIJZEN e KHONDKER 1997; KOERNER e VERMAAT 1997).

Tabela 3 - Eficiência de remoção de poluentes no experimento realizado por Mohedano (2004).

Parâmetro avaliado	Eficiência de remoção (%)
NH ₃ +NH ₄	100
NO ₂	100
NO ₃	66,8
Fósforo Total	96,3
DQO	90,8
Sólido Suspenso Total	99,4
Turbidez	98,7

Segundo Iqbal (1999), em tratamentos realizados pela lentilha, existem quatro mecanismos capazes de remover o fósforo: o primeiro seria pela absorção das macrófitas, o segundo, pela adsorção do nutriente a partículas de argila e matéria orgânica presentes no meio, o terceiro, pela precipitação química com Ca²⁺, Fe³⁺, Al³⁺, ou, por fim, pela absorção microbiana. Com exceção da absorção do nutrientes pela macrófita, os outros processos causam armazenamento de fósforo no sistema. Assim, como não existem substâncias intermediárias voláteis no fósforo, como é o caso do nitrogênio (N₂ e NH₃), nesses sistemas, só é possível a redução de fósforo por meio da remoção das algas ou pela limpeza do sedimento.

Além disso, Schwoerbel (1968) comprovou que a capacidade de absorção do fósforo e nitrogênio pelas macrófitas é reduzida a medida que aumenta-se a concentração de fosfato em seus tecidos. Assim, conclui-se que essas algas conseguem absorver o fosfato e a amônia até que atinjam seu ponto de saturação; depois disso, esses compostos não são mais absorvidos por elas. Contudo, os tratamentos para remoção de fosfato de ambientes aquáticos são caros, e assim, viabilizam a utilização de macrófitas aquáticas para atingir esse objetivo, visto que são processos de baixo custo e também é um processo natural nos ambientes aquáticos (ESTEVES, 1998).

Desse modo, já existem alguns países que utilizam tanques de macrófitas para o tratamento de efluentes gerados, seja pela indústria ou pelo uso doméstico, a exemplo de Taiwan. Nesse país, já se tornou tradicional o cultivo das lentilhas para o tratamento de efluentes, sobretudo em valas e lagoas desenvolvidas nos arrozais (IQBAL, 1999).

De acordo com Pott e Pott (2002), em Cuttack – Orissa, uma cidade da Índia, o Instituto Central de Aquicultura de Água Doce em 1986, em parceria com a Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO), desenvolveu uma Estação de Tratamento de Esgotos com aquicultura de lemnáceas e peixes, com um investimento de US\$ 38 mil. No caso de uma estação de tratamento convencional para a região, o custo seria quatro vezes mais.

Desse modo, muitos autores têm demonstrado que há possibilidade de utilizar as macrófitas aquáticas no tratamento de efluentes, reduzindo concentrações de nutrientes ligados à eutrofização de cursos de água, como o fosfato, a amônia e o nitrato (ESTEVES, 1998). Além deles, muitos tanques de macrófitas vêm sendo utilizados para o tratamento de efluentes em grande escala e comprovam o que as pesquisas vêm mostrando: as macrófitas aquáticas podem ser utilizadas no tratamento de efluentes industriais e domésticos.

5.2.2 Físico-químicos

Os processos físicos, segundo Giordano (2004), de maneira geral, removem os sólidos em suspensão, através de gradeamento, peneiramento, separação de óleos e gorduras, sedimentação e flotação; também podem remover a matéria orgânica e inorgânica em suspensão coloidal e reduzir ou eliminar a presença de microrganismos pelos processos de filtração em areia ou filtração de membranas; além de serem utilizados unicamente para desinfecção, como o uso da radiação ultravioleta.

Já os processos químicos são diferenciados porque utilizam substâncias químicas, como alguns agentes de coagulação, floculação, neutralização de pH, oxidação, redução e desinfecção durante uma ou mais etapas do processo de tratamento do efluente, e através de reações químicas alcançam o objetivo do tratamento: a remoção dos poluentes, ou pelo menos dão ao efluente a condição de ser tratado em processos seguintes (GIORDANO, 2004).

Segundo Conceição (2013), um processo isolado (físico, químico ou biológico) normalmente não consegue enquadrar o efluente têxtil nos parâmetros estabelecidos por norma. Dessa forma, muitas vezes é necessária a associação entre dois ou mais mecanismos para a obtenção de um resultado mais eficiente, como é o caso dos processos físico-químicos.

5.2.2.1 Coagulação/floculação

Segundo Kunz et al. (2002), as técnicas de tratamento por processos de coagulação, sequenciados pela separação e flotação ou sedimentação, que são tratamentos físicos, são extremamente eficientes quanto a remoção do material particulado. Contudo, na remoção da cor e dos compostos orgânicos dissolvidos no efluente, mostram-se deficientes.

5.2.2.2 Oxidação

De acordo com Immich (2006), o processo químico de oxidação para remoção de cor é o mais comum no tratamento de efluentes devido ao manejo simples característico do processo. Porém, os corantes mais atuais são resistentes a condições moderadas de oxidação, sendo assim, a remoção de cor somente é adequada na utilização de agentes oxidantes mais poderosos, a exemplo do cloro, ozônio, UV/peróxido, UV/ozônio, ou utilizando-se outras técnicas oxidantes ou combinações de técnicas.

5.2.2.3 Troca iônica

A troca iônica também é um dos processos químicos utilizados no tratamento de efluentes. Porém, embora seja um método que não gera perda de adsorvente na regeneração, não tem sido utilizado com frequência no tratamento de efluentes contendo corantes. Isso se deve principalmente porque é um método que não pode acomodar uma ampla variedade de cores, e além disso, o alto custo operacional acaba limitando o uso desse processo de tratamento (IMMICH, 2006).

6 METODOLOGIA

6.1 Coleta

Na escolha da macrófita aquática para realização do experimento, buscou-se uma espécie que já estivesse adaptada ao agreste pernambucano. Entre as macrófitas presentes na região, adotou-se a *Lemna* sp. (Figura 5), visto que a espécie se encontrava em abundância nos corpos hídricos poluídos e lagoas de estabilização da região, de forma a assegurar que as *Lemnias* já estavam adaptadas a condições de elevada carga orgânica. As macrófitas aquáticas foram coletadas no Açude de Apipucos, situado na cidade de Recife – PE, através de peneiras e acondicionadas em baldes para o transporte até a universidade.

O efluente têxtil tratado foi coletado de uma lavanderia jeans de médio porte da cidade de Caruaru – PE e disposto em garrações de 20L. Na própria lavanderia, o efluente foi tratado por processos físico-químicos. Após a coleta, os espécimes e o efluente foram conduzidos ao Laboratório de Engenharia Ambiental (LEA), na Universidade Federal de Pernambuco, campus do Agreste (CAA), onde ocorreu a montagem e o desenvolvimento do experimento.

Figura 5 - Macrófita *Lemna* sp.



Fonte: autor (2017).

6.2 Montagem do experimento

O experimento foi montado em escala laboratorial, em béqueres que continham 2L de amostra do efluente têxtil tratado em cada um deles, sob a condição de triplicata. Um colher de sopa cheia da biomassa da espécie *Lemna* sp. (cerca de 3 g) foi adicionada a cada béquer que continha macrófitas. As plantas não foram pesadas para que não houvesse a quebra de suas raízes.

A Figura 6 apresenta o esquema de montagem do experimento, sob três condições diferentes:

- T1: sem macrófitas e com efluente têxtil em béquer sem cobertura, para efeito de comparação, visando avaliar a interferência das macrófitas no tratamento (controle)
- T2: sem macrófitas e com efluente têxtil em béquer coberto por papel alumínio, para avaliar o efeito do sombreamento que as macrófitas proporcionam na coluna de água (controle)
- T3: com macrófitas e com efluente têxtil em béquer sem cobertura (tratamento)



Todos os béqueres ficaram dispostos por sete dias em uma incubadora de agitação orbital (Figura 7), que manteve-se desligada durante todo o experimento, ou seja, não houve agitação nos béqueres, adaptada com lâmpadas de LED e com temporizador programado para ficar aceso por 12 horas diárias, simulando a luz solar para as macrófitas, conforme a Figura 8. O tempo de experimento foi determinado a partir de experiências anteriores realizadas com a *Lemna*, em que avaliou-se o tempo máximo que as macrófitas conseguiam sobreviver. Durante os 7 dias de experimentos, não houve remoção das plantas.

Figura 7 - Adaptação dos béqueres com canos de PVC perfurados.



Fonte: autora (2018).

Figura 8 - Aparato experimental. a) Incubadora aberta; b) Lâmpadas de LED; c) Temporizador.



(a)



(b)



(c)

Fonte: autora (2017).

Sobre aqueles que continham macrófitas na superfície do líquido, foram colocados canos de PVC perfurados (Figura 9) para realização de leituras diárias dos parâmetros sem a perda das algas, que a princípio ficavam aderidas às sondas.

Figura 9 - Adaptação nos béqueres com canos de PVC. (a) Cano PVC perfurado; (b) Adaptação do béquer com o cano.



(a)

(b)

Fonte: Autora (2018).

6.3 Parâmetros

As análises realizadas durante o experimento e suas respectivas frequências estão demonstradas na Tabela 4. Todas as análises foram realizadas de acordo com o Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 2017), que abrange métodos padrão para o exame de águas.

Tabela 4 - Parâmetros avaliados e frequência das aferições.

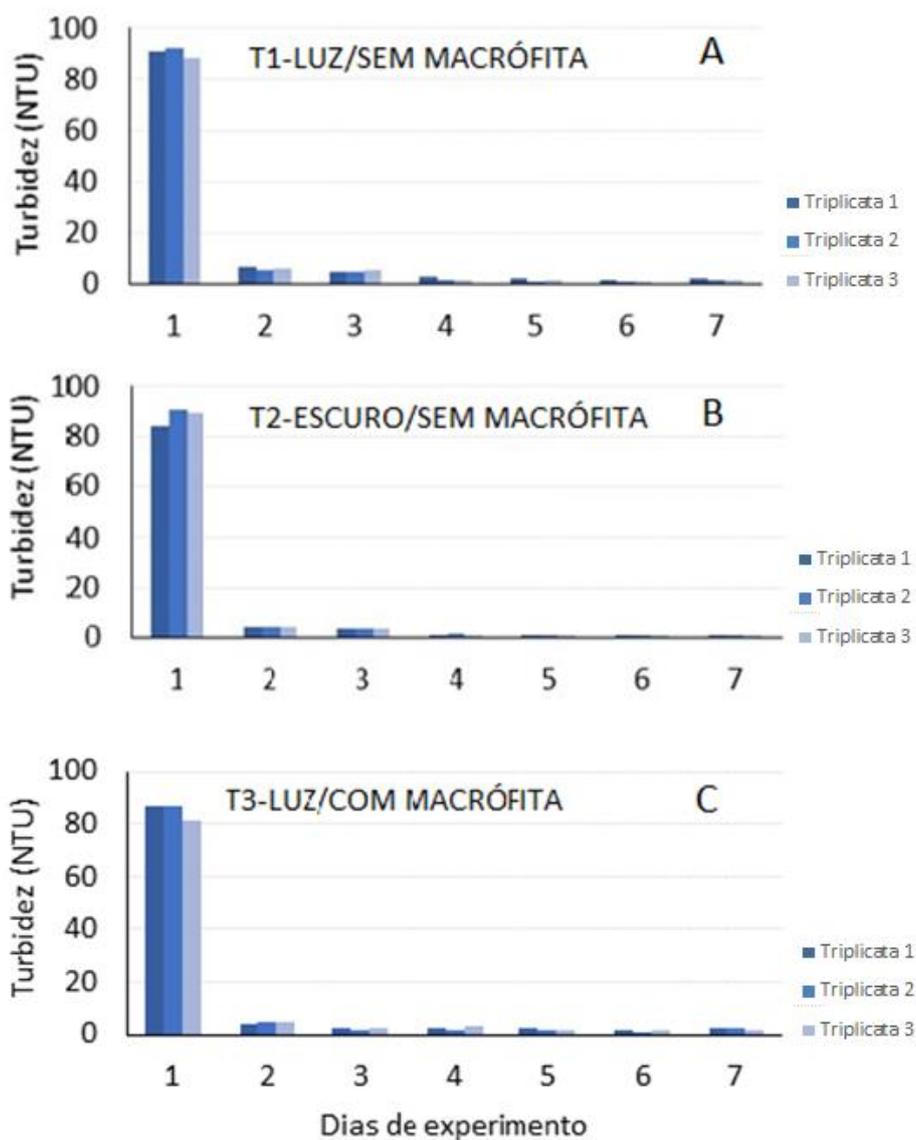
Parâmetro	Código	Frequência da análise
Fósforo	POPFQ -UNI224	4 vezes durante o experimento
DQO	POPFQ -UNI401	4 vezes durante o experimento
Nitrogênio Amoniacal	POPFQ -UNI404	4 vezes durante o experimento
OD	POPFQ -UNI420	Diariamente
Turbidez	POPFQ -UNI211	Diariamente
pH	POPFQ -UNI202	Diariamente

7 RESULTADOS E DISCUSSÕES

7.1 Turbidez

Independente da presença ou não de macrófitas, com ou sem luz na parte superior do béquer, a turbidez é reduzida significativamente a partir do segundo dia de experimento, como demonstrado na Figura 10. Para as condições T1, T2 e T3 foram obtidas remoções médias de turbidez de 98,3%, 98,8% e 97,5%, respectivamente, ao longo do experimento.

Figura 10 - Remoção de turbidez ao longo do experimento. a) T1: sem macrófitas e com efluente têxtil em béquer sem cobertura; b) T2: sem macrófitas e com efluente têxtil em béquer coberto por papel alumínio; c) T3: com macrófitas e com efluente têxtil em béquer sem cobertura.



Sikilcorn et al. (1993) e Iqbal (1999) comentam que os mecanismos preponderantes para a remoção de sólidos em lagoas de *Lemnas* são a filtração física pelas raízes das macrófitas, tendo auxílio da camada superficial de macrófitas, que barra o vento, criando um local favorável para sedimentação e, ainda, reduzindo a quantidade de algas, pelo sombreamento que causa.

Como o experimento foi executado dentro de uma estufa, o efeito do vento foi descartado. Já a questão da luz, mesmo no béquer com o alumínio na parte superior, ocorreu radiação de luz nas laterais dos béqueres, desta forma, o desenvolvimento de microalgas na massa líquida foi possível, de forma que outros fenômenos puderam ser elucidados pela presença de microalgas. Desta forma, para as condições estudadas, o mecanismo preponderante na remoção de turbidez nas três amostras se deu pela sedimentação dos sólidos, visto que, devido à incubadora, as amostras estavam livres da interferência do vento, o que propiciou a sedimentação em todas as condições analisadas.

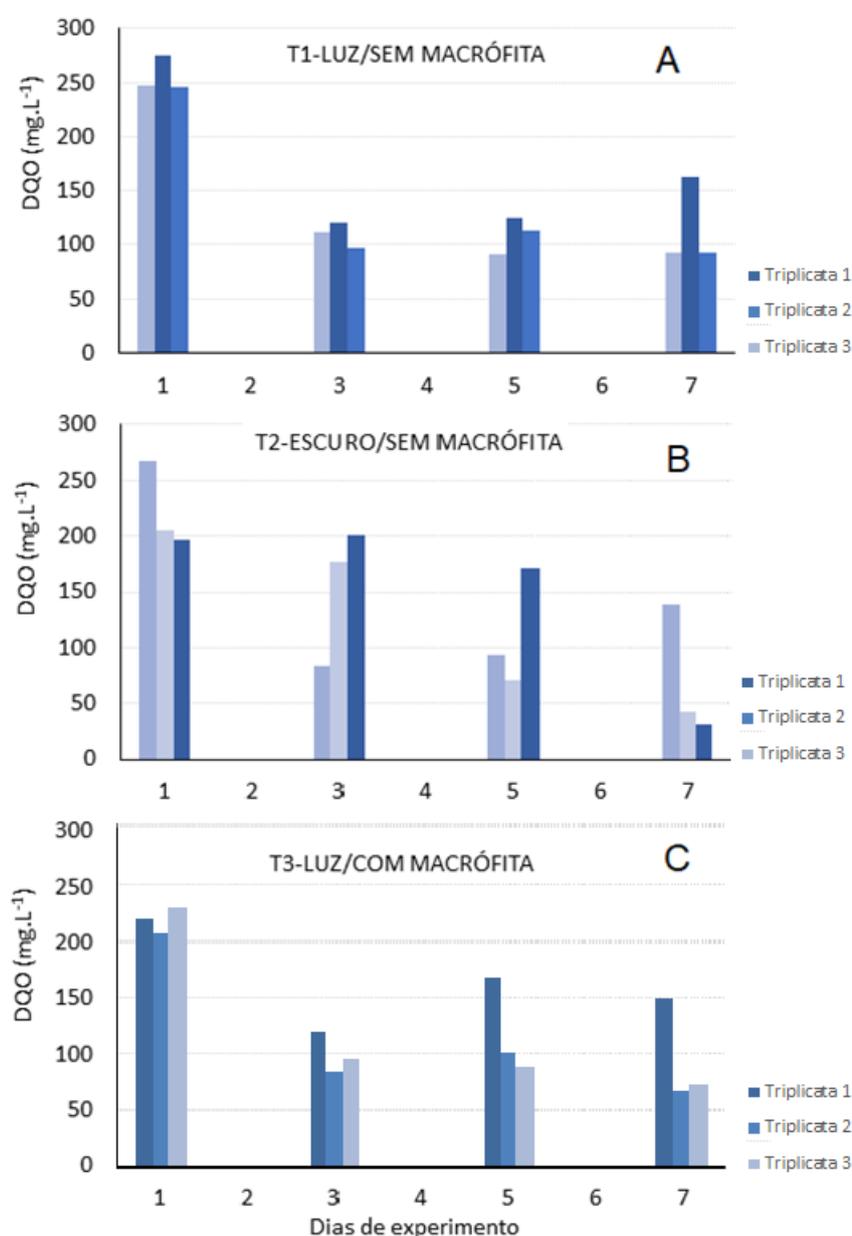
Essa alta remoção de turbidez também foi encontrada por Tavares et al. (2008). Seu experimento, também em escala laboratorial, para remoção de poluentes pela Lemna em efluente de suinocultura pré-tratado, foi realizado em cinco concentrações iniciais de DQO: 400 mg.L⁻¹, 550 mg.L⁻¹, 700 mg.L⁻¹, 850 mg.L⁻¹ e 1000 mg.L⁻¹. A remoção de turbidez encontrada foi alta em todos os ensaios, aumentando ao longo do tempo, chegando a atingir valores próximos de 100% aos 21 dias de detenção, o que pode ter configurado sedimentação durante o experimento também.

7.2 Demanda Química de Oxigênio (DQO)

As vias de remoção de matéria orgânica em lagoas de *Lemnas* são pouco conhecidas. No entanto, alguns trabalhos sugerem que grande parte da matéria orgânica é removida por microrganismos aeróbios aderidos às plantas e pelos anaeróbios presentes na massa líquida. Hillman (1961) e Landolt e Kandler (1987), afirmaram que as *Lemnas* contribuem pouco para a remoção de compostos orgânicos simples por remoção direta. Já Körner et al. (1998) sugerem que a fração de remoção nas lagoas ocorre devido ao biofilme aderido às raízes das *Lemnas*. Portanto, lagoas com uma densa camada de *Lemnas* atuam semelhantemente aos reatores de biomassa fixa (STOWELL et al., 1981; TCHOBANAGLOUS, 1987).

A DQO foi reduzida ao longo dos dias de experimento, conforme indica a Figura 10. No entanto, nos experimentos sem macrófitas (Figura 11a e 11b) ocorreu remoção similar de DQO àqueles com macrófitas (Figura 10c). Obteve-se médias de 54, 6%, 68,5% e 55,7% na remoção de DQO ao longo do experimento para as condições T1, T2 e T3, respectivamente. Isto reforça a ideia que as macrófitas contribuíram pouco para a remoção de matéria orgânica, como era esperado.

Figura 11 - Remoção de DQO ao longo do experimento. a) T1: sem macrófitas e com efluente têxtil em béquer sem cobertura; b) T2: sem macrófitas e com efluente têxtil em béquer coberto por papel alumínio; c) T3: com macrófitas e com efluente têxtil em béquer sem cobertura.



O manejo das *Lemnas* para uma produção ótima e remoção de nutrientes é importante para manter o sistema em equilíbrio. Uma ótima densidade de *Lemna*, segundo Landesman et al. (2005), ocorre quando as lagoas estão completamente cobertas, evitando a entrada de luz, mas ainda assim possui espaços para novas plantas que estão crescendo. Com as elevadas densidades populacionais ocorre a sobreposição de biomassa ocasionando competição por luz, nutrientes e CO₂ (CROSS, 2006; MOHEDANO, 2010).

Essa baixa remoção de matéria orgânica encontrada difere dos resultados encontrados por Mohedano (2010). Em seu estudo com lagoas de *Lemna* para a remoção de matéria orgânica de efluentes de suinocultura, o autor apresentou resultados positivos, obtendo, em média, 96,7% de redução de DQO. Esses dados são esperados, visto que Mohedano (2010) fez a remoção da biomassa da macrófita durante seu experimento a uma taxa de 25g/m²/dia, enquanto nesta pesquisa não houve remoção de macrófitas ao longo dos dias.

7.3 Oxigênio Dissolvido (OD) e pH

O oxigênio dissolvido foi aumentando ao longo do experimento, conforme mostra a Figura 12. O aumento de oxigênio na massa líquida em todas as condições analisadas pode ser explicado por duas hipóteses. A primeira hipótese seria pela difusão de oxigênio do ar para coluna de água, enquanto a segunda seria pela presença de microalgas realizando a fotossíntese. Durante o processo fotossintético, além do incremento do oxigênio dissolvido, o ácido carbônico é retirado da massa líquida, o que aumenta o pH do meio. Como pode ser visualizado na Figura 13, também houve aumento de pH em todas as situações analisadas durante o experimento (T1, T2 e T3). Desse modo, conclui-se que o oxigênio dissolvido foi produzido como subproduto do processo fotossintético.

Figura 12 - Concentração de oxigênio dissolvido (OD) ao longo do experimento. a) T1: sem macrófitas e com efluente têxtil em béquer sem cobertura; b) T2: sem macrófitas e com efluente têxtil em béquer coberto por papel alumínio; c) T3: com macrófitas e com efluente têxtil em béquer sem cobertura.

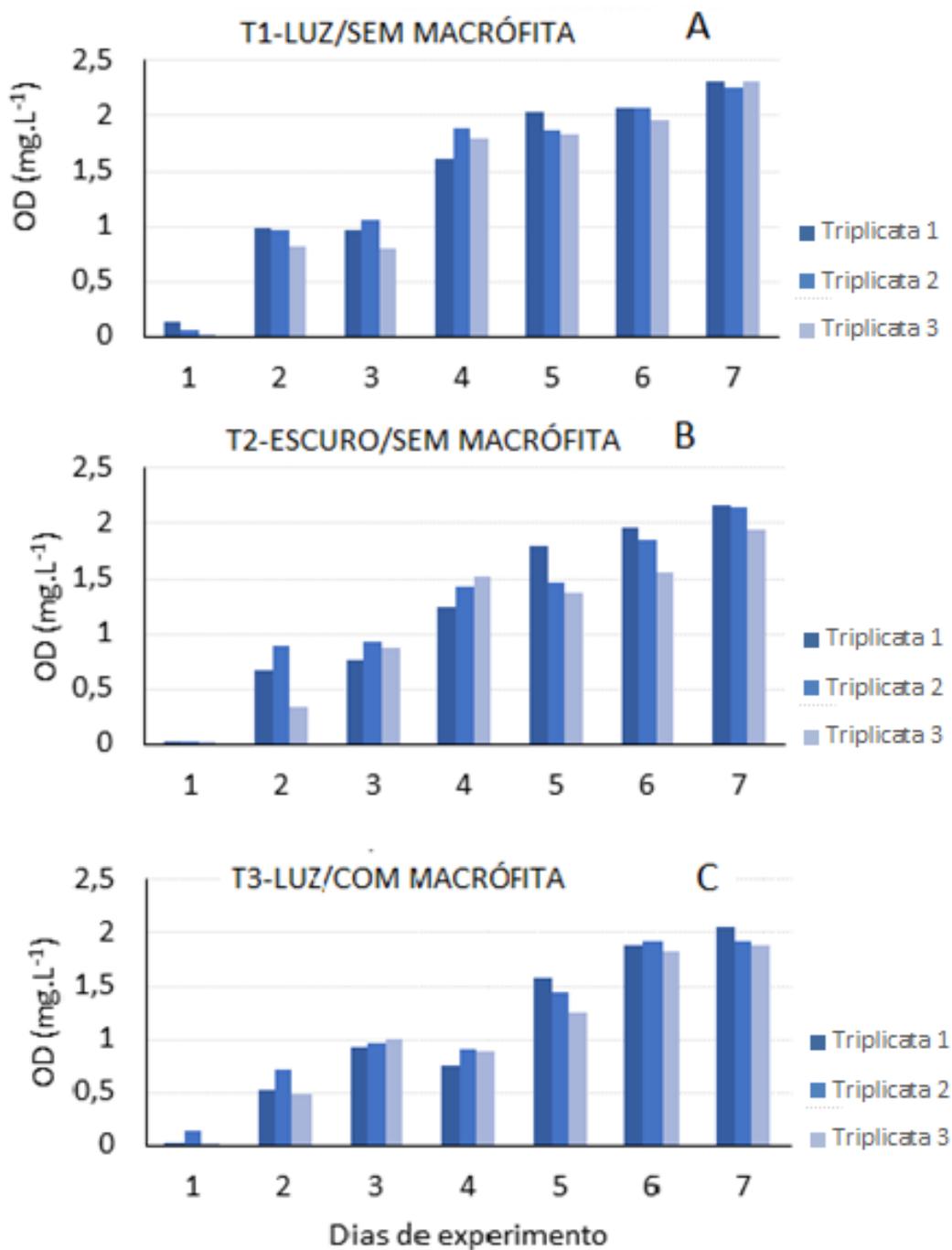
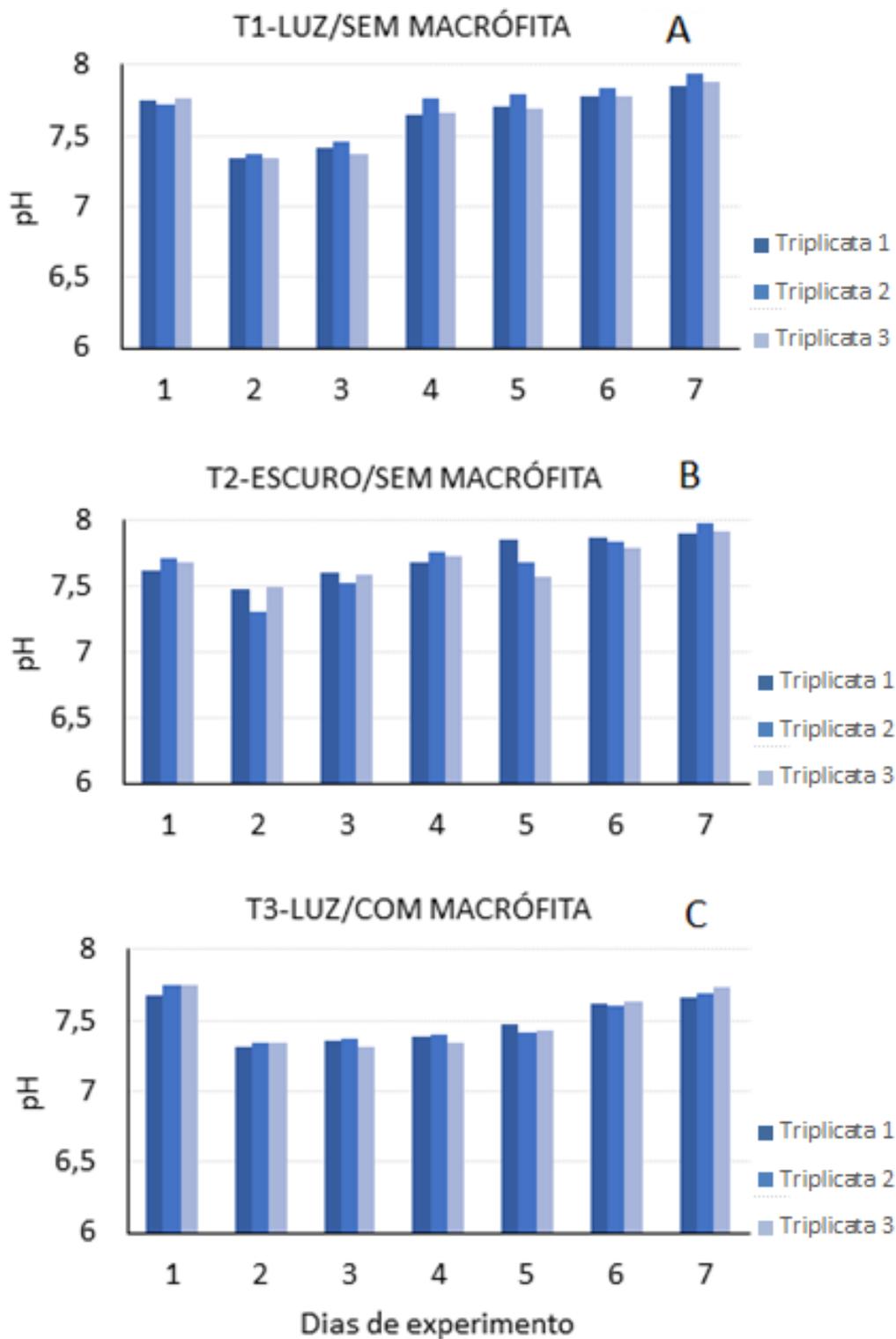


Figura 13 - Potencial hidrogeniônico (pH) ao longo do experimento. a) T1: sem macrófitas e com efluente têxtil em béquer sem cobertura; b) T2: sem macrófitas e com

efluente têxtil em béquer coberto por papel alumínio; c) T3: com macrófitas e com efluente têxtil em béquer sem cobertura.



7.4 Fósforo

A Figura 14 demonstra a remoção de fósforo durante o experimento. Foi observada uma remoção média de 34,9% do nutriente na condição T1, enquanto aumentou-se a concentração de fósforo nas condições T2 e T3, em uma média de 26,3% e 57,6%, respectivamente, durante o experimento. Conclui-se então que a via de remoção por absorção pelas macrófitas e a ação de biofilme aderido nas raízes não foram vias preponderantes de remoção de fósforo para as condições estudadas.

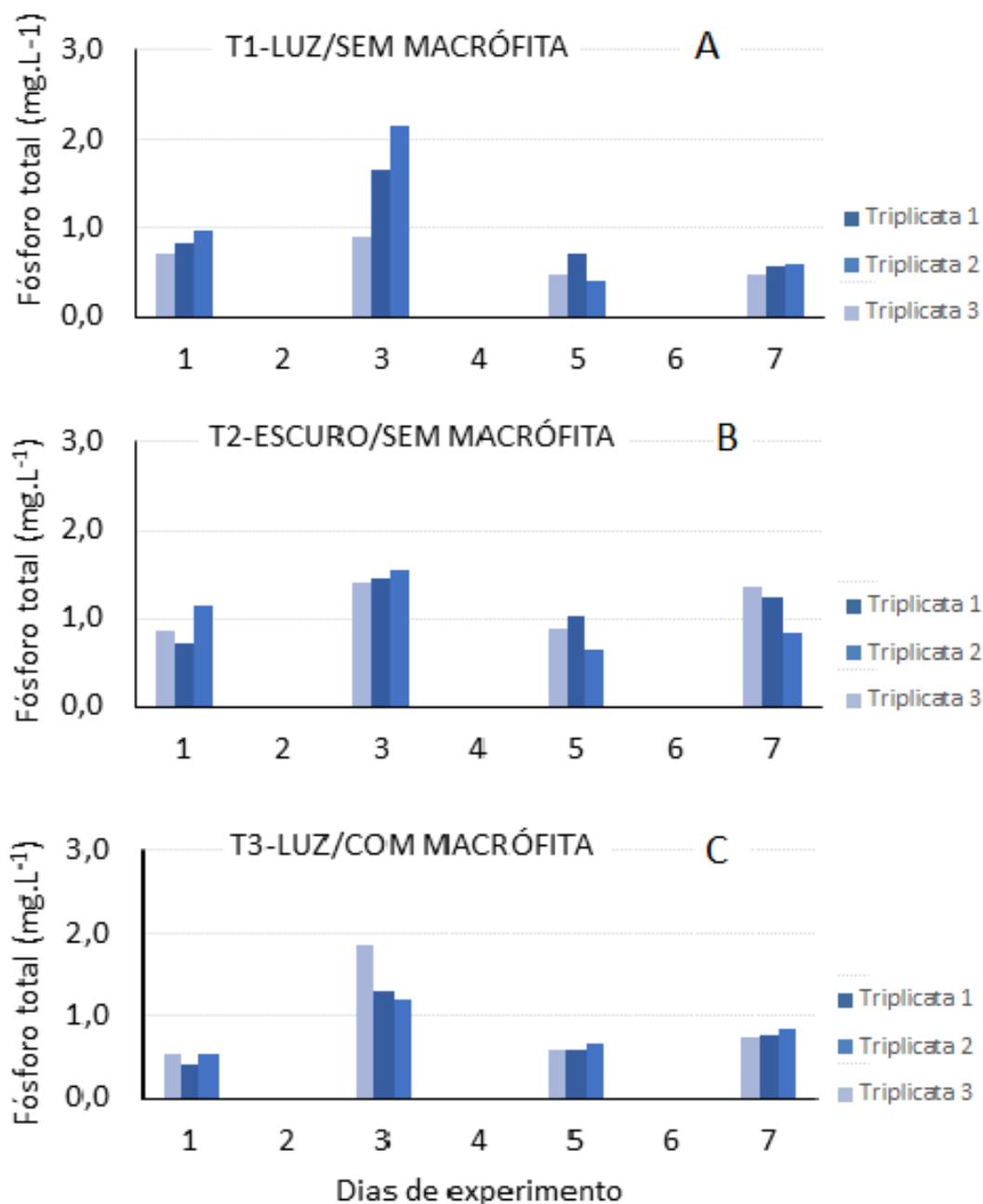
Segundo Schwoerbel (1968), parte do fosfato absorvido pela macrófita é excretado pela planta em ritmos diários. Além disso, a mortalidade dos indivíduos gera a sua decomposição e a conseqüentemente a liberação de fosfato para o meio em poucas horas.

Desse modo, de acordo com Iqbal (1999), em lagoas de Lemnas, a remoção de fósforo ocorre por quatro vias: remoção direta pela planta, adsorção em partículas de argila e matéria orgânica, precipitação química e remoção pelos microrganismos presentes. As duas principais vias de remoção são a precipitação e a fração absorvida pela planta, sendo que a única via de saída do fósforo do sistema é pelas plantas através do manejo.

As *Lemnas* possuem mais fósforo em seu tecido que as outras plantas aquáticas flutuantes, o que favorece a utilização do fósforo disponível no meio onde se encontram. Em contrapartida, existem fatores que influenciam na taxa de remoção como a taxa de crescimento, a frequência do manejo e a disponibilidade de $P-PO_4^{3-}$, forma mais assimilável pela planta (Farrel, 2012). No presente estudo, não houve manejo das macrófitas, ou seja, a densidade inicial foi mantida do começo ao fim, o que pode ter influenciado a dinâmica do fósforo.

Figura 14 - Concentração de fósforo total ao longo do experimento. a) T1: sem macrófitas e com efluente têxtil em béquer sem cobertura; b) T2: sem macrófitas e com

efluente têxtil em béquer coberto por papel alumínio; c) T3: com macrófitas e com efluente têxtil em béquer sem cobertura.

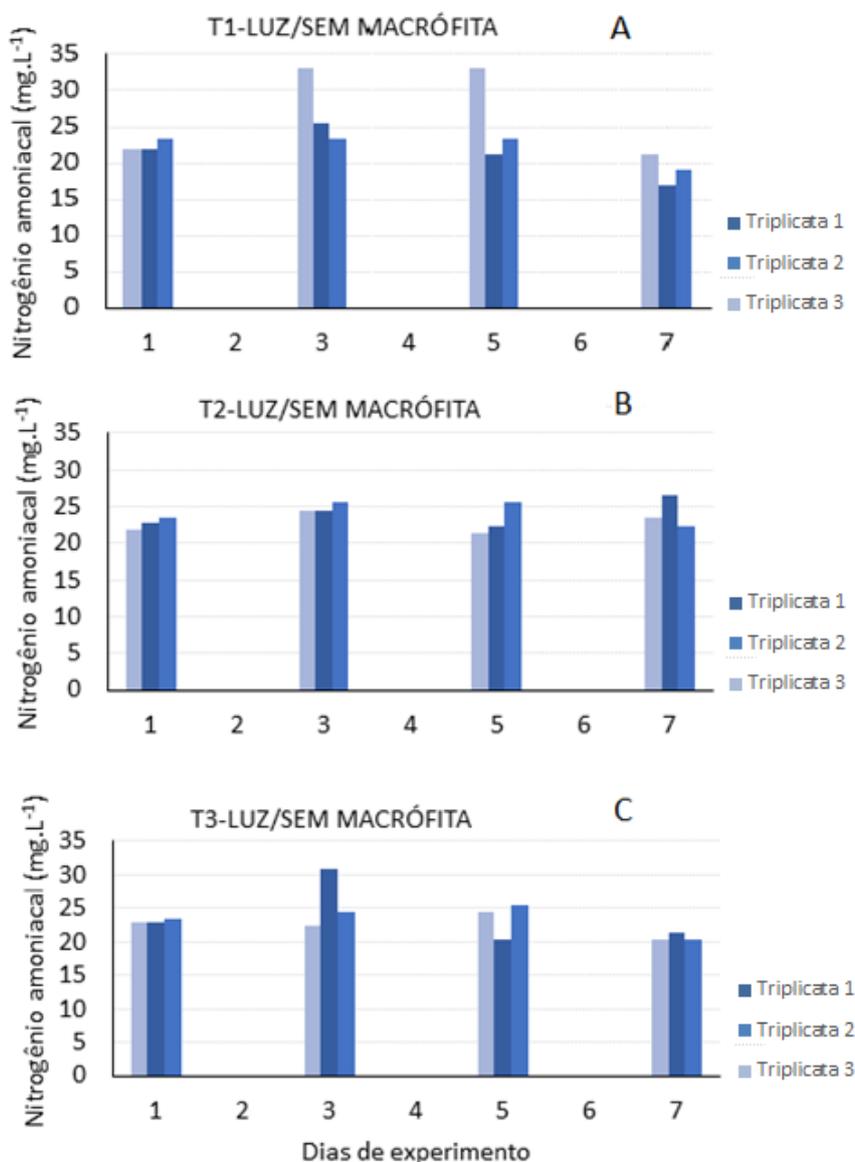


7.5 Nitrogênio Amoniacal

A Figura 15 mostra a concentração de Nitrogênio amoniacal ao longo do experimento.

Figura 15 - Concentração de nitrogênio amoniacal ao longo do experimento. a) T1: sem macrófitas e com efluente têxtil em béquer sem cobertura; b) T2: sem macrófitas e com

efluente têxtil em béquer coberto por papel alumínio; c) T3: com macrófitas e com efluente têxtil em béquer sem cobertura.



Segundo Bejarano (2005), a forma preferencial de absorção de nitrogênio pelas *Lemnas* é em forma de nitrogênio amoniacal, porém, a redução do nutriente nas amostras que continham macrófitas (T3) foi de 10,8%. A concentração inicial de nitrogênio amoniacal foi bastante elevada (até 23,41 mg.L⁻¹), no entanto, a falta de manejo dos espécimes, já mencionada para fósforo, pode ter influenciado também a eficiência de remoção do nitrogênio amoniacal, pois as algas passam a ficar empilhadas e competem por luz, de forma que algumas espécies começam a morrer e contribuir para o incremento de nitrogênio amoniacal no meio.

Esses resultados corroboram com aqueles encontrados por Valetim (1999), que avaliou o tratamento de águas residuárias mistas pelas macrófitas aquáticas *Typha* (taboa)

e *Eleocharis* (cebolinha). O experimento ocorreu durante 4,5 meses em um sistema de fluxo subsuperficial, com vazão média de 225 L/dia, através de 3 leitos quadrados e 3 retangulares, de 4 m² cada. O sistema não foi tão eficaz quanto à remoção de nitrogênio e de fósforo, visto que não houve manejo das macrófitas durante o experimento.

8 CONCLUSÃO

A remoção da turbidez em todas as condições analisadas aconteceu pela sedimentação dos sólidos. Portanto, a macrófita pouco interferiu na remoção da turbidez.

A DQO reduziu no decorrer do experimento de maneira similar para as condições estudadas, concluindo que as macrófitas contribuíram pouco para a remoção de matéria orgânica no ambiente. Isso pode ter ocorrido devido à falta de manejo das *Lemnas* durante o experimento.

O oxigênio dissolvido foi aumentando ao longo do experimento, decorrente da fotossíntese das algas presentes na coluna de água. Durante esse processo, o ácido carbônico é retirado da massa líquida, o que ocasiona o aumento do pH do meio e a consequente produção do oxigênio dissolvido como subproduto do processo fotossintético.

Houve incremento de fósforo total para as amostras que continham macrófitas na superfície, devido à excreção e mortalidade das plantas. Portanto, a via de remoção por absorção pelas macrófitas e a ação de biofilme aderido nas raízes não foram vias preponderantes de remoção de fósforo para as condições estudadas.

A concentração de nitrogênio amoniacal teve uma pequena redução nas amostras estudadas que continham macrófitas. A falta de manejo dos espécimes também pode ter influenciado na eficiência de remoção de nitrogênio, pois as algas passam a ficar empilhadas e competem por luz, de forma que algumas espécies começam a morrer e contribuir para o incremento de nitrogênio amoniacal no meio.

Desse modo, concluiu-se que as macrófitas do gênero *Lemna* sp. foram ineficientes na remoção dos parâmetros analisados nas condições a que foram submetidas.

REFERÊNCIAS

ABREU, M. D.; SILVA-FILHO, J. D.; OLIVEIRA, B. D.; HOLANDA-JUNIOR, F. L. Perfis estratégicos de conduta social e ambiental: estudos na indústria têxtil nordestina. **Gestão & Produção**, São Carlos, v. 15, n. 1, p. 159-172, 2008.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (BRASIL). **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil: Informe 2017**. ANA, 2017.

ALAERTS, G. J.; MAHBUBAR, R.; KELDERMAN, P. Performance analysis of a full-scale duckweed-covered sewage lagoon. **Water Research**, v. 30, n. 4, p. 843-852, 1996.

ALI, N.; HAMEED, A.; AHMED, S.; Physicochemical characterization and bioremediation perspective of textile effluent, dyes and metals by indigenous bacteria. **Journal of Hazardous Materials**, v.164, p. 322-328, 2009.

AMARAL, M. V.; SILVA, A. L.; BRITO, D. J. M.; BRANCO, D. K. S.; OLIVEIRA FERREIRA, M. A questão ambiental no pólo de confecções de Caruaru: um primeiro ensaio à luz dos instrumentos econômicos de proteção ambiental. **Estudos do CEPE**, n. 35, p. 108-132, 2012.

APHA; AWWA; WPCF. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 19a edição, Washington D.C./USA, American Public Health Association, 2017.

BAETA, B. E. L.; LIMA, D. R. D. S.; SILVA, S. Q.; AQUINO, S. F. D. Influence of the applied organic load (OLR) on textile wastewater treatment using submerged anaerobic membrane bioreactors (SAMBR) in the presence of redox mediator and powdered activated carbon (PAC). **Brazilian Journal of Chemical Engineering**, v. 33, n. 4, p. 817-825, Out/Dez 2016.

BAIRD, C.; CANN, M.; **Química Ambiental**. 4ª edição. Porto Alegre: Bookman, p. 844, 2011.

BASTOS, R. K., BEVILACQUA, P. D., SILVA, C. A., DORNELAS, F. L., ASSUNÇÃO, F., RIOS, E. N.; COSTA, G. S. Tratamento de esgotos sanitários e usos múltiplos de efluentes. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 9, p. 164-170, 2005.

BEJARANO, Julia Rosa Caicedo. Effect of operational variables on nitrogen transformations in duckweed stabilization ponds. **CRC Press**, 2005.

BEZERRA, Elaine Maurício. **O trabalho a domicílio das mulheres do cariri paraibano no polo de confecções do agreste de Pernambuco**. 2011. Tese de Doutorado. Dissertação (Mestrado em Ciências Sociais), Campina Grande, UFCG.

BINI, L. M.; THOMAZ, S. M. Prediction of *Egeria najas* and *Egeria densa* occurrence in a large subtropical reservoir (Itaipu Reservoir, Brazil-Paraguay). **Aquatic botany**, v. 83, n. 3, p. 227-238, 2005.

BRAILE, P. M.; CAVALCANTI, J. E. W. A.; **Manual de tratamento de águas residuárias industriais**. CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, São Paulo, 1993, p. 764.

CAMARGO, A. F. M.; HENRY-SILVA, G. G.; PEZZATO, M. M. Crescimento e produção primária de macrófitas aquáticas em zonas litorâneas. **Ecótonos nas interfaces dos ecossistemas aquáticos**. São Carlos: Fundibio/Rima, p. 213-232, 2003.

CHANDANSHIVE, V. V., RANE, N. R., TAMBOLI, A. S., GHOLAVE, A. R., KHANDARE, R. V., & GOVINDWAR, S. P. Co-plantation of aquatic macrophytes *Typha angustifolia* and *Paspalum scrobiculatum* for effective treatment of textile industry effluent. **Journal of Hazardous Materials**, v. 338, p. 47-56, 2017.

CHERNICHARO, Carlos Augusto de Lemos. **Reactores anaeróbios**. UFMG, 1997.

CHICATTO, J. A., RAINERT, K. T., GONÇALVES, M. J., HELM, C. V., ALTMAJERVAZ, D., & TAVARES, L. B. Decolorization of textile industry wastewater in solid state fermentation with Peach-Palm (*Bactris gasipaes*) residue. **Brazilian Journal of Biology**, p. 1-10, 2018.

COELHO, Nuno Miguel Gabriel. Avaliação do comportamento de reatores UASB operados de um modelo intermitente no tratamento de efluentes de indústrias de laticínios. 2003.

CONCEIÇÃO, V. M.; FREIRE, F. Descoloração de efluente têxtil sintético em reator UASB seguido de adsorção em bagaço de cana-de-açúcar. **Revista Tecnológica**, v. 22, n. 1, p. 109-122, 2013.

CROSS, John W. The Charms of Duckweed: An Introduction to the Smallest of Flowering Plants. **Missouri Botanical Garden**, 2006.

DALLAGO, R. M.; SMANIOTTO, A.; OLIVEIRA, L. D. Resíduos sólidos de curtumes como adsorventes para a remoção de corantes em meio aquoso. **Química Nova**, v. 28, n. 3, p. 433-437, 2005.

DINGES, Ray. **Natural systems for water pollution control**. Van Nostrand Reinhold Company, 1982.

ESTEVES, F. de A.; MEIRELLES-PEREIRA, F. **Eutrofização artificial. Fundamentos de limnologia**. 3ª ed., Rio de Janeiro, Editora Interciência, p. 625-656, 2011.

ESTEVES, Francisco de Assis. Fundamentos de limnologia. **Fundamentos de limnologia**. Interciência/Finep, 1988.

FONSECA ARAUJO, F. V.; YOKOYAMA, L.; TEIXEIRA, L. A. C. Remoção de cor em soluções de corantes reativos por oxidação com H₂O₂/UV. **Química Nova**, v. 29, n. 1, p. 11-14, 2006.

GAYLARDE, C. C.; BELLINASSO, M. L.; MANFIO, G. P.; Biorremediação: Aspectos biológicos e técnicos da biorremediação de xenobióticos. **Biotechnology Ciência & Desenvolvimento**. n. 34, 2005.

GIJZEN, H.; KHONKER, M. An overview of the ecology, physiology, cultivation, and application of duckweed, literature review. **Report of duckweed research project**, Dhaka, Bangladesh, 1997.

GIORDANO, Gandhi. Tratamento e controle de efluentes industriais. **Revista ABES**, v. 4, n. 76, 2004.

GUARATINI, C. C. I.; ZANONI, M. V. B.; Corantes Têxteis. **Química Nova**. v. 23, n.1, p. 71-78, 2000.

HENRY-SILVA, G. G.; CAMARGO, A. F. M. Tratamento de efluentes de carcinicultura por macrófitas aquáticas flutuantes. **Revista Brasileira de Zootecnia**, p. 181-188, 2008.

HILLMAN, William S. The Lemnaceae, or duckweeds. **The Botanical Review**, v. 27, n. 2, p. 221-287, 1961.

HUSSAR, Gilberto José et al. Tratamento de efluente de piscicultura com macrófitas aquáticas flutuantes. **Engenharia Ambiental: Pesquisa e Tecnologia**, v. 5, n. 3, p. 274-285, 2008.

IMHOFF, K.; IMHOFF, K. R. Manual de tratamento de águas residuárias. Manual de tratamento de águas residuárias. Edgard Blucher, 1986.

IMMICH, Ana Paula Serafini. **Remoção de corantes de efluentes têxteis utilizando folhas de Azadirachta indica como adsorvente**. 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química)- Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

IQBAL, Sascha. Duckweed aquaculture. Potentials, possibilities and limitations for combined wastewater treatment and animal feed production in developing countries. **SAn-DEC Report**, n. 6/99, 1999.

KHATRI, J.; NIDHEESH, P. V.; SINGH, T. A.; KUMAR, M. S. Advanced oxidation processes based on zero-valent aluminium for treating textile wastewater. **Chemical Engineering Journal**, v. 348, p. 67-73, 2018.

KÖRNER, S.; VERMAAT, J. E. The relative importance of Lemna gibba L., bacteria and algae for the nitrogen and phosphorus removal in duckweed-covered domestic wastewater. **Water Research**, v. 32, n. 12, p. 3651-3661, 1997.

KUNZ, A.; ZAMORA, P. P.; Novas tendências no tratamento de efluentes têxteis. **Química Nova**. v. 25, n. 1, p. 78-82, 2002.

LANDESMAN, L., PARKER, N.C., FEDLER, C.B., KONIKOFF, M. Modeling duckweed growth in wastewater treatment systems. **Livestock Research for Rural Development**, v. 17, n. 6, p. 1-8, 2005.

LANDOLT, Elias. The family of Lemnaceae-a monographic study: Phytochemistry, physiology, application and bibliography. **Biosystematic investigations in the family of duckweeds (Lemnaceae)**, v. 4, n.95, p.638, 1987.

LIBANIO, Marcelo. **Fundamentos de qualidade e tratamento de água**. Campinas, SP: Editora Átomo, 2005. 444 p.

MARTINS, D.; COSTA, N. V.; TERRA, M. A.; MARCHI, S. R.; VELINI, E. D. Caracterização química das plantas aquáticas coletadas no reservatório de Salto Grande (Americana-SP). **Planta Daninha**, v. 21, p. 21-25, 2003.

MARTINS, J. E. C. A.; NETO, E. F. A.; LIMA, A. C. A.; RIBEIRO, J. P.; MAIA, F. E. F.; NASCIMENTO, R. F. Delineamento Box-Behnken para remoção de DQO de efluente têxtil utilizando eletrocoagulação com corrente contínua pulsada. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 22, n. 6, p. 1055-1064, 2017.

MÓDENES, A. N.; ABREU PIETROBELLI, J. M. T.; ESPINOZA-QUIÑONES, F. R. Cadmium biosorption by non-living aquatic macrophytes *Egeria densa*. **Water Science and Technology**, v. 60, n. 2, p. 293-300, 2009a.

MÓDENES, A. N.; Pietrobelli, J.M.T.A., Espinoza- Quiñones, F.R., Suzaki, P.Y.R., Alflen, V.L., Fagundes-Klen, M.R. Potencial de biossorção do zinco pela macrófita *Egeria densa*. **Engenharia Sanitária Ambiental**, v. 14, p. 465-470, 2009b.

MOHEDANO, R.A. **Tratamento de efluente e produção de alimento, em cultivo de tilápias (*O.niloticus*), através da macrófita aquática *Lemna valvidiana* (Lemnaceae) – Uma contribuição para a sustentabilidade da aquicultura**. 2004. 78 p. Dissertação de mestrado (Engenharia Ambiental) - Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Aquicultura, Florianópolis, 2004.

MOHEDANO, Rodrigo de Almeida. **Uso de macrófitas lemnáceas (*landoltia punctata*) no polimento e valorização do efluente de suinocultura e na fixação de carbono**. 2010. 270 p. Tese (Doutorado em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Florianópolis, 2010.

MUKESH, Doble; KUMAR, Anil. **Biotreatment of industrial effluents**. 336 p. 2005.

NAWAZ, M. S.; AHSAN, M. Comparison of physico-chemical, advanced oxidation and biological techniques for the textile wastewater treatment. **Alexandria Engineering Journal**, v. 53, n. 3, p. 717-722, 2014.

NOTARE, Marcelo. Plantas hidrófilas e seu cultivo em aquário. **Sulamérica**, Rio de Janeiro, 1992.

NYANHONGO, G. S.; GOMES, J.; GÜBITZ, G. M.; ZVAUYA, R.; READ, J.; STEINER, W. Decolorization of textile dyes by lacases from a newly isolated strain of *Trametes modesta*. **Water Research**. v. 36, p. 1449-1456, 2001.

PIZATO, Everton. **Avaliação da capacidade de remoção de corante têxtil pelo fungo *Lasiodiplodia theobromae* MMPI em efluente sintético e industrial**. 2013. 100 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2013.

POTT, V. J.; POTT, A. **Plantas aquáticas do Pantanal**. Brasília: EMBRAPA Comunicação para transferência de Tecnologia, 2000.

POTT, V. J.; POTT, A. **Potencial de uso de plantas aquáticas na despoluição da água**. Embrapa Gado de corte, 2002.

RAMALHO, Rubens Sette. **Tratamiento de aguas residuales**. Barcelona: Editorial Reverté S.A., 1991, 705 p.

Salgado, B. C. B.; Nogueira, M. I. C.; Rodrigues, K. A.; SAMPAIO, G.; Buarque, H. L. D. B.; Araújo, R. D. S.; Descoloração de efluentes aquosos sintéticos e têxtil contendo corantes índigo e azo via processos Fenton e foto-assistidos (UV e UV/H₂O₂). **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 14, n. 1, p. 1-8, 2009.

SANTOS, E. M. A., NASCIMENTO, A. T. P. D., PAULINO, T. R. S., BARROSO, B. C. S., & Aguiar, C. R. Reator anaeróbio tipo UASB conjugado com processo Fenton para remoção de cor e demanda química de oxigênio de água residuária sintética de indústria têxtil. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 22, n. 2, p. 285-292, 2017.

SANTOS, G. H. F.; MÓDENES, A. N.; OLIVEIRA, A. P.; BEZERRA, I. G. O.; BRAGIÃO, M. E.; TASHIN, A. R. Aproveitamento da macrófita salvinia sp. e do palito de erva-mate como materiais adsorventes de corante, p. 7215-7221. **Anais do XX Congresso Brasileiro de Engenharia Química - COBEQ 2014**. São Paulo: Blucher, 2015.

SCHRANK, Silvia Gabriela. **Tratamento anaeróbio de águas residuárias da indústria têxtil**. 2000. 107 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2000.

SCHWOERBEL, J. Untersuchung über die Rolle der submersen Wasserpflanzen bei der Eliminierung von Phosphaten. **Münchener Beiträge**, v. 5, 1968.

SILVA, L. G.; MOREIRA, F. C.; SOUZA, A. A.; SOUZA, S. M.; BOAVENTURA, R. A.; VILAR, V. J. Chemical and electrochemical advanced oxidation processes as a polishing step for textile wastewater treatment: A study regarding the discharge into the environment and the reuse in the textile industry. **Journal of Cleaner Production**, v. 198, p. 430-442, 2018.

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

SOUSA, J. T.; HAANDEL, A. C. V.; COSENTINO, P. R. S.; GUIMARÃES, A. V. A. . Pós-tratamento de efluente de reator UASB utilizando sistemas “wetlands” construídos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 4, n. 1, p. 87-91, 2000.

STOWELL, R.; LUDWIG, R.; COLT, J.; TCHOBANOGLOUS, G. Concepts in aquatic treatment system design. **Journal of the Environmental Engineering Division**, v. 107, n. 5, p. 919-940, 1981.

TAVARES, F. D. A.; RODRIGUES, J. B. R.; BELLI FILHO, P.; LOBO-RECIO, M. A.; LAPOLLI, F. R. Desempenho da macrófita Lemna valdiviana no tratamento terciário de efluentes de suinocultura e sua contribuição para a sustentabilidade da atividade. **Biotemas**, v. 21, n. 1, p. 17-27, 2008.

TAVARES, Flávia de Almeida. **Eficiência da Lemna sp no tratamento de efluentes líquidos de suinocultura e sua utilização como fonte alternativa de alimento para**

tilápias. 2004. 106 f. Dissertação (Mestrado em Aquicultura) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.

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

VALENTIM, Marcelus Alexander Acorinte. **Desempenho de leitos cultivados ("constructed wetland") para tratamento de esgoto: contribuições para concepção e operação**. 2003. 233 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola, Campinas, 2003.

VALENTIM, Marcelus Alexander Acorinte. **Uso de leitos cultivados no tratamento de efluente de tanque séptico modificado**. 1999. 233 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola, Campinas, 1999.

VAN DEN BERG, Maria Elisabeth. Formas atuais e potenciais de aproveitamento das espécies nativas e exóticas do Pantanal Mato-Grossense. **Centro de Pesquisa Agropecuária do Pantanal, CPAP, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária do Pantanal, EMBRAPA, Ministério da Agricultura, e Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, UFMS**, p. 131-136, 1986.

VANDEVIVERE, P. C.; BIANCHI, R.; VERSTRAETE, W. Treatment and reuse of wastewater from the textile wet-processing industry: Review of emerging technologies. **Journal of Chemical Technology and Biotechnology**, v. 72, n. 4, p. 289-302, 1998.

VERMA, A. K.; DASH, R. R.; BHUNIA, P. A review on chemical coagulation/flocculation technologies for removal of colour from textile wastewaters. **Journal of environmental management**, v. 93, n. 1, p. 154-168, 2012.

VON SPERLING, Marcos. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias**. 2. ed. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 1996. 243 p. v. 1.

WATER, U. N. The United Nations world water development report 3–Water in a changing world. **United Nations Educational Scientific and Cultural Organization**, Paris, 2009.

WOOD, R. B.; MCATAMNEY, C. F. Constructed wetlands for waste water treatment: the use of laterite in the bed medium in phosphorus and heavy metal removal. **Hydrobiologia**, v. 340, n. 1-3, p. 323-331, 1996.