



## REVISÃO SISTEMÁTICA: Absorção de íons fosfato de efluentes utilizando a macrófita aquática lentilha d'água (*Lemna minor*)

Bianca Oliveira da Silva<sup>1\*</sup>  
Jaqueline Rodrigues Alencar<sup>1</sup>  
Júlia Tavares Teixeira<sup>1</sup>  
Marcos Roberto da Silva<sup>1</sup>  
Maria Regina Alves Gomes<sup>1</sup>

Orientador: Prof. Dr. Klauss Engelmann

### RESUMO

A eutrofização fundamenta-se no aumento da concentração de nutrientes em ecossistemas aquáticos, tais como o fósforo e o nitrogênio, os quais em excesso ocasionam a degradação de corpos d'água de maneira acelerada que, além de prejudicar o abastecimento público e a saúde humana, também resulta em um tratamento oneroso. Assim, métodos alternativos, como o uso de macrófitas aquáticas para o tratamento de efluentes, têm sido abordados em estudos visando a remoção de poluentes e a preservação dos corpos hídricos existentes. A macrófita lentilha d'água (*Lemna Minor*) apresenta grande absorção de nutrientes e reprodução acelerada, gerando biomassa. Portanto, o objetivo do presente artigo é realizar uma revisão sistemática sobre a absorção de íons fosfato de efluentes utilizando a macrófita aquática lentilha d'água, abordando a eficiência de remoção e o destino final da biomassa gerada durante o tratamento. Os resultados de absorção obtidos nos estudos de Affonseca (2016) nas etapas 1 e 2, Branco (2012), Chen et al. (2018), Lima (2018), Pena (2014) e Selvarani et al. (2015) foram de 77%, 35%, 54,8%, 90,2%, 86%, 66,1% e 96%, respectivamente. Referente ao manejo, a biomassa resultante da *Lemna Minor* pode ser utilizada na produção de composto orgânico destinado à agricultura, alimentação animal e biocombustíveis.

**Palavras-chave:** *Lemna minor*, lentilha d'água, eutrofização, biomassa, macrófita aquática, absorção, fosfato.

### ABSTRACT

Eutrophication is based on the increased concentration of nutrients in aquatic ecosystems, such as phosphorus and nitrogen, which in excess cause the degradation of water bodies in an accelerated manner that, in addition to harming public supply and human health, also results in a costly treatment. Thus, alternative methods such as the use of aquatic macrophytes for the treatment of effluents have been addressed in studies aimed at removing pollutants and preserving existing water bodies. Duckweed macrophyte (*Lemna minor*) have high nutrient absorption and accelerated reproduction, generating biomass. Therefore, the aim of this article is to perform a systematic review on the absorption of phosphate ions from effluents using duckweed aquatic macrophyte, addressing the removal efficiency and final destination of the biomass generated during treatment. The results of absorption obtained in the studies by Affonseca (2016) in stages 1 and 2, Branco (2012), Chen et al. (2018), Lima (2018), Pena (2014) and Selvarani et al. (2015) were 77%, 35%, 54.8%, 90.2%, 86%, 66.1% and 96%, respectively. Regarding management, the biomass resulting from *Lemna Minor* can be used in the production of organic compost for agriculture, animal feed and biofuels.

**Keywords:** *Lemna minor*, duckweed, eutrophication, biomass, aquatic macrophyte, absorption, phosphate.

<sup>1</sup> Curso Técnico em Química – ETEC Irmã Agostina  
Av. Feliciano Correa s/n – Jardim Satélite - CEP 04815-240 - São Paulo – Brasil  
\* fosfato.tcc@gmail.com

## 1 INTRODUÇÃO

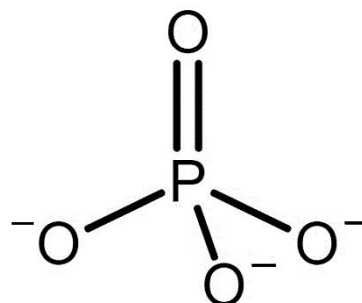
O crescimento populacional e as atividades antrópicas têm se destacado como os principais responsáveis pela degradação de ecossistemas aquáticos. O descarte inadequado de efluentes gerados em atividades agrícolas, industriais e urbanas apresentam uma grande quantidade e variedade de poluentes, ocasionando diversas deteriorações ao meio ambiente, entre elas, há a eutrofização (BARRETO et al., 2013).

A eutrofização é caracterizada pelo aumento da concentração de nutrientes em ecossistemas aquáticos, como o fósforo e o nitrogênio, que ocasionam o aumento de suas produtividades, isto é, há a elevação da produção de matéria orgânica, resultando em um ecossistema aquático que se transforma da condição de oligotrófico e mesotrófico (características de ambientes que apresentam, respectivamente, baixa e intermediária produtividade) para eutrófico ou até mesmo hipereutrófico (atributos de corpos d'água que possuem, de modo respectivo, alta produtividade e elevada concentração de matéria orgânica e nutrientes). Ademais, ela pode ser gerada de maneira natural ou artificial. Quando ocorre naturalmente, fundamenta-se no carreamento de nutrientes do solo com a ação das chuvas ou águas superficiais em um processo gradual e lento. Contudo, quando acontece em razão de ações antrópicas, ou seja, gerada pela intervenção humana, é caracterizada como um processo acelerado no qual os nutrientes podem apresentar diferentes origens, como: resíduos domésticos, industriais e/ou atividades agrícolas (ESTEVES, 1998).

Independentemente da origem, o excesso de nutrientes como o fósforo provoca diversos impactos negativos ao meio aquático. Com o ecossistema instável, pode ocorrer anoxia (ausência de oxigênio na água) que ocasiona a mortalidade em massa de peixes e invertebrados, gerando também a liberação de gases que apresentam odor e são, na maioria das vezes, tóxicos como o ácido sulfídrico e o metano ( $H_2S$  e  $CH_4$ ); o desenvolvimento intenso e descontrolado de algas e plantas aquáticas; produção de toxinas por algas tóxicas; impedimento de atividades recreacionais devido ao acúmulo de plantas aquáticas que podem dificultar a locomoção e o transporte; diminuição da diversidade biológica; etc. Essa degradação da qualidade da água, além de impactar o abastecimento público, gerando riscos à saúde humana, também resulta em um tratamento oneroso, encarecendo as operações nas estações de tratamento (TUNDISI; MATSUMURA-TUNDISI, 2011; BRAGA et al., 2005).

De acordo com Esteves (1998), geralmente, nos corpos de água continentais, o principal fator limitante de produtividade é o fósforo, mencionado também como o maior responsável pela eutrofização artificial desses ecossistemas. Além disso, esse mineral, seja na forma iônica ou complexada, é encontrado como fosfato ( $PO_4^{3-}$ ) em águas naturais (a Figura 1 representa a estrutura desse íon). Desse modo, em Limnologia (estudo da correlação e dependência existente entre os seres vivos e o ambiente aquático o qual abrange fatores que influenciam a qualidade e quantidade desses organismos na água), é preciso empregar essa denominação para referir-se às diferentes formas de fósforo presentes no ambiente aquático.

Figura 1 – Estrutura do íon fosfato ( $PO_4^{3-}$ )



Fonte: do próprio autor, 2021.

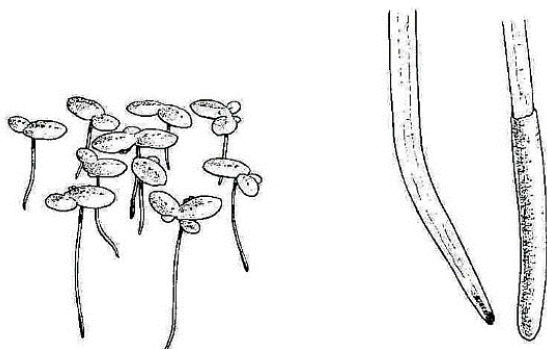
A remoção de fosfato de efluentes é imprescindível para minimizar os impactos que a eutrofização ocasiona. Entretanto, as estações de tratamento convencionais foram arquitetadas para remover primordialmente material orgânico biodegradável, apresentando obstáculos na remoção desse ânion (MENDONÇA et al., 2012).

Nesse contexto, o estudo ecológico acerca do cultivo e manejo de macrófitas aquáticas no tratamento de efluentes tem sido cada vez mais abordado por pesquisadores em razão dos resultados bastante promissores que demonstram. A inserção dessa vegetação auxilia na remoção de nutrientes, como o fosfato, e apresenta boa eficiência na diminuição de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e Demanda Química de Oxigênio (DQO). Além disso, esse método é bastante atrativo devido aos baixos custos de implantação, operação e manutenção quando comparado a outras tecnologias de tratamento convencional (TIMM, 2015; LEMES et al., 2008).

As macrófitas aquáticas do gênero *Lemna* são assíduas em ecossistemas lênticos como lagos e corpos hídricos salobros na maioria dos continentes. Devido à grande capacidade de adaptação, amplitude ecológica, intensa absorção

de nutrientes e incomplexidade de cuidados que apresentam, são bastante utilizadas para remediar águas residuais advindas de diferentes ações antropogênicas. Além disso, essas plantas possuem reprodução vegetativa acelerada, como é o caso da *Lemna minor* (Figura 2), usualmente designada de lentilha d'água (APPENROTH, 2013).

Figura 2 – Raízes: *Lemna minor*



Fonte: Mary Barnes Pomeroy, 1957.

Em virtude da alta produtividade que a lentilha d'água apresenta e que o fosfato ocasiona ao meio, as macrófitas se reproduzem de maneira intensa, originando outro resíduo a ser ponderado: a biomassa. Alguns estudos avaliam maneiras sustentáveis para reaproveitá-la, como: utilização na composição de rações animais e tratamento por compostagem para produção de fertilizantes (MEDEIROS, 2017; AFFONSECA, 2016).

Destarte, este artigo apresenta como objetivo realizar uma revisão sistemática sobre a remoção de íons fosfato de efluentes utilizando a macrófita aquática *Lemna minor*, abordando não somente aspectos de qualidade da água residual tratada, como também o destino final da biomassa gerada durante o tratamento.

## 2 MÉTODO

O estudo de revisão sistemática da literatura foi realizado consultando as bases de dados Google Scholar, SciELO e Periódicos-CAPES e selecionados artigos em Inglês e Português, buscando ensaios clínicos publicados nos últimos trinta anos (1991 a 2021).

Os descritores utilizados para a pesquisa de artigos nas bases foram os seguintes: "Macrófita *Lemna minor* em efluentes", "Remoção de fosfato com macrófitas", "*Lemna minor* e biomassa" e seus equivalentes em língua inglesa. Com a busca identificou-se o número de 3.534 artigos, dentre os

quais foram selecionados 10 de acordo com o objetivo desse estudo. Foram considerados estudos que abordam o uso da lentilha d'água no tratamento de águas residuais, ponderando os procedimentos de remoção de fosfato e àqueles que apontam o manejo (tratamento, reaproveitamento e destino final) da biomassa resultante.

## 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 3.1. ABSORÇÃO DE FOSFATO

Entre as pesquisas selecionadas, o estudo que apresentou o maior índice de remoção de fosfato através da utilização da lentilha d'água foi o de Selvarani et al. (2015), com um percentual de 96%. O experimento foi realizado em três tipos diferentes de águas residuais: municipal, esgoto e gerada por uma instalação de processamento de peixes. Houve diferentes diluições dos efluentes utilizados, sendo elas de: 25%, 50% e 75%, além daquele composto somente pela água residual. As lentilhas foram cultivadas em tanques de plástico e expostas à luz solar pelo período de um mês. O percentual de 96% foi atingido na água residual municipal com concentração de 25%.

Após Selvarani et al. (2015), os estudos que obtiveram os melhores resultados foram os de Chen et al. (2018) e Lima (2018). No experimento realizado por Chen et al. (2018), as lentilhas foram cultivadas em uma lagoa de água residual durante um período de 16 dias e sujeitas a variações de temperatura e luminosidade. Ao fim do tratamento, alcançou-se uma remoção de 90,2%.

Lima (2018) obteve um percentual de 86%, sendo realizado em uma lagoa de polimento (lagoa que possui a finalidade de desinfetar efluentes provenientes de outras lagoas de tratamento) com capacidade de 1000 L que continha água residual tratada e transportada de uma ETE. O estudo apresentou maior eficiência em comparação com o de Branco (2012) e com o de Pena (2014), nos quais obtiveram uma remoção de 54,8% e 66,1 ± 2,7%, respectivamente.

Em Branco (2012), foi utilizada água residual de um Biotério de Organismos Aquáticos, a qual foi maturada em laboratório para que houvesse a decomposição da matéria orgânica dissolvida. O tratamento ocorreu em recipientes translúcido com 10 L da água residual e em condições climáticas naturais, estando exposto a variações de luminosidade e temperatura. Em Pena (2014), o experimento foi realizado em recipientes plásticos com um volume inicial de 3 L de água de efluentes suínícolas (a qual continha chorume diluído a 4%). A duração do experimento foi de 10 dias, sendo feito em um laboratório com temperatura ambiente

e exposto a 12 horas de fluxo luminoso médio, gerado por lâmpadas fluorescentes.

Em comparação com o estudo de Lima (2018), o de Affonseca (2016) ocorreu em uma lagoa facultativa secundária de uma ETE na qual já havia a existência de lentilhas d'água, porém sem manejo e que foram completamente retiradas antes do início do experimento. Os índices de remoção desse período (2008-2014) haviam sido analisados pela SABESP (Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo) e seus resultados foram considerados no estudo.

O experimento ocorreu em duas etapas: na primeira (com duração de 15 dias) houve uma remoção média de Fósforo Total (PT) de 77% e na segunda (com duração de 30 dias) a remoção média foi de 35%. A diferença dos valores pode ser explicada devido às condições em que cada etapa ocorreu. A Etapa 1 foi realizada em um período com menor luminosidade e temperaturas amenas no qual havia predominância de lentilhas d'água. Já a Etapa 2 ocorreu em um período com radiação solar extrema e chuvas frequentes e com predominância de algas. Além desses resultados, também há o índice de remoção de PT do período sem manejo, com média de 48%.

Segundo Maroneze et al. (2014), um aspecto a se considerar durante o tratamento utilizando as lentilhas d'água é com o envelhecimento das mesmas. Esta circunstância pode resultar em uma devolução dos nutrientes absorvidos ao corpo d'água, prejudicando o tratamento. Como citado por Souza (2018), outra questão que deve ser ponderada durante o manejo da biomassa é uma possível competição por recursos entre as lentilhas d'água quando presentes em quantidades muito elevadas. Assim, torna-se necessário uma remoção parcial e periódica da biomassa.

A partir dos dados acima, é possível perceber a importância de um manejo adequado assim como o impacto negativo que certas condições climáticas (como altas temperaturas e alta frequência de chuvas) e a presença de organismos como algas, podem causar ao tratamento (os dados sobre a absorção de fosfato estão sumarizados na Tabela 1).

**Tabela 1 – Comparação dos valores de absorção**

Autor	Condições de temperatura do estudo	Índice de remoção (%)
Affonseca (2016) - Etapa 1	Temperaturas amenas e menor luminosidade	77

Affonseca (2016) - Etapa 2	Radiação solar extrema e alto índice de chuva	35
Branco (2012)	Exposto a variações de temperatura e luminosidade	54,8
Chen et al. (2018)	Exposto a variações de temperatura e luminosidade	90,2
Lima (2018)	Região com clima mesotérmico	86
Pena (2014)	Temperatura ambiente, com 12h de luminosidade fornecida por lâmpadas	66,1 ± 2,7
Selvarani et al. (2015)	Exposto à luz solar	96

Fonte: do próprio autor, 2021.

### 3.2. PROCEDIMENTOS PARA A ANÁLISE DE FOSFATO

Entre os estudos em que foram apresentados os índices de remoção de fosfato, a parte experimental ocorreu de maneiras distintas. Em Affonseca (2016), não houve a necessidade de realizar um período de adaptação da lentilha d'água. Para ambas as etapas, as amostras eram recolhidas diariamente entre às 9 horas e 11 horas da manhã na entrada da lagoa (esgoto bruto) e na saída (esgoto tratado). Para realizar as análises, o método utilizado foi o 4500-P, estabelecido por *Standard Methods For the Examination of Water and Wastewater (SMEWW)*.

Em comparação ao estudo de Branco (2012), houve um pré-cultivo de 30 dias para que a planta se adaptasse às novas condições de ambiente e para que houvesse ampliação da biomassa. As amostras eram recolhidas diariamente e analisadas através da técnica de colorimetria utilizando um fotômetro.

No estudo de Pena (2014), a biomassa recolhida da lentilha d'água passou por um processo de lavagem e separação para que fossem retiradas outras espécies de plantas assim como artrópodes e moluscos presentes. As amostras eram recolhidas no início e no fim do tempo de redenção hidráulico. As análises foram feitas utilizando a espectrofotometria e depois realizou-se duplicadas através do método clássico, de acordo com o SMEWW.

Assim como Pena (2014), a técnica utilizada para quantificar o fósforo no estudo de Chen et al. (2018) foi a espectrofotometria, porém em triplicata. As amostras eram coletadas diariamente em três pontos da lagoa. Em Lima (2018), as amostras foram recolhidas na entrada do sistema de tratamento e ao final dele, ocorrendo a cada 10 dias. A determinação de P ocorreu através do método de digestão com persulfato.

Em Selvarani et al. (2015), recolheram as amostras das águas residuais uma vez por semana, porém não foi informada a técnica utilizada para análise. Em todos os estudos citados, a remoção de fosfato foi analisada através dos efluentes.

### 3.3. EFICIÊNCIA NA DIMINUIÇÃO DE DBO E DQO

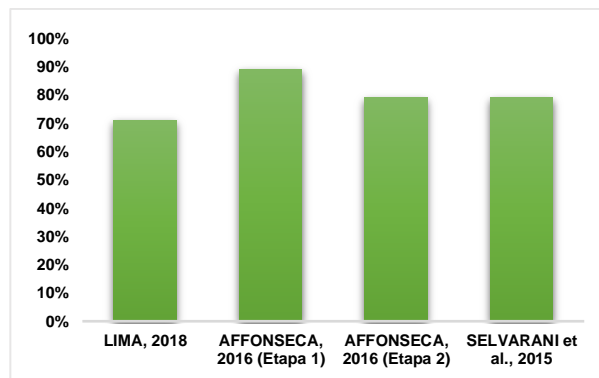
Foram analisados os índices de diminuição de DBO e DQO em três estudos. Em Lima (2018), a concentração de DBO na água residual antes do tratamento com a lentilha d'água era de  $73,4 \text{ mg.L}^{-1}$ , diminuindo para  $21 \text{ mg.L}^{-1}$  após o tratamento, obtendo-se um percentual de diminuição de 71%. Para DQO, a concentração inicial e final foi de  $492 \text{ mg.L}^{-1}$  e  $129 \text{ mg.L}^{-1}$ , respectivamente, apresentando um percentual de diminuição de 74%.

O resultado mais elevado obtido por Selvarani et al. (2015) na redução de DBO foi de 79%, ocorrendo na água residual municipal diluída à 25%. Em relação à DQO, a concentração inicial no tanque composto somente por água residual municipal era de  $320 \text{ mg.L}^{-1}$ , passando para  $85 \text{ mg.L}^{-1}$ , indicando uma diminuição de 73%.

No estudo de Affonseca (2016), a primeira etapa obteve uma diminuição média de 89% para DBO e de 80% para DQO, sendo eles os maiores índices entre os analisados. Em comparação com a segunda etapa do experimento, houve uma queda dos valores médios, com DBO caindo para 79% e DQO para 64%. Os resultados obtidos na Etapa 2 também se mostraram menores do que aqueles do período sem manejo no qual a diminuição de DBO obtida foi de 88% e a de DQO de 72%.

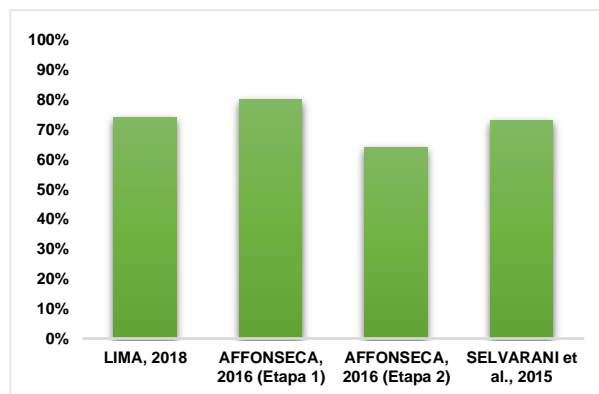
É possível perceber que, assim como a remoção de PT na Etapa 2 do experimento de Affonseca (2016), a redução de DBO e DQO foi prejudicada pelos parâmetros nos quais ocorreu (altos índices de radiação solar, chuvas e competição com algas). Entretanto, não foi afetada negativamente pela falta de manejo. Os dados relacionados à diminuição de DBO e DQO estão representados nas Figuras 3 e 4.

**Figura 3 – Gráfico comparativo dos índices de diminuição dos valores de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)**



Fonte: do próprio autor, 2021.

**Figura 4 – Gráfico comparativo dos índices de diminuição dos valores de Demanda Química de Oxigênio (DQO)**



Fonte: do próprio autor, 2021.

### 3.4. PROCEDIMENTOS PARA ANÁLISE DE DBO E DQO

Os procedimentos referentes à coleta das amostras para análise de DBO e DQO dos experimentos de Affonseca (2016), Lima (2018) e Selvarani et al. (2015) ocorreram de acordo com o que foi citado no subtópico Procedimentos para a Análise de Fosfato.

Em Affonseca (2016), a técnica utilizada para determinação de DBO foi a respirometria (processo 5210D, segundo a SMEWW) e para DQO foi a colorimetria de refluxo fechado (processo 5220D, segundo a SMEWW).

Em Lima (2018), os processos escolhidos para análise de DBO e DQO foram, respectivamente, os 5210B e 5220B, também estabelecidos pela SMEWW. No artigo de Selvarani et al. (2015), as técnicas utilizadas não foram indicadas.

### 3.5. CRESCIMENTO DA BIOMASSA

No experimento realizado por Branco (2012), as lentilhas d'água apresentaram um aumento de biomassa de  $262,25 \pm 5,62\%$ , sendo realizado em tanques nos quais não houveram competição com outras espécies. Entre os estudos analisados, esse foi o único em que houve crescimento de biomassa. No estudo de Medeiros (2017), houve redução de 3 a 18% da biomassa e no de Affonseca (2016), o tamanho das lentilhas d'água reduziu 40,52% em um período de 10 dias.

Em ambos os estudos houve competição com outras espécies presentes nos ambientes, fator que pode ter ocasionado a redução da biomassa. Além disso, em Affonseca (2016), também são apresentadas outras possíveis explicações para esse fenômeno, como: nova geração de lemnas formadas; toxicidade; diminuição da concentração de nutrientes na lagoa (devido à absorção deles pela nova massa de plantas); mortandade precoce devido aos ventos.

### 3.6. UTILIZAÇÃO DA BIOMASSA

No estudo de Branco (2012), é citado quais seriam as possíveis aplicações de reaproveitamento da biomassa das lentilhas d'água após o tratamento devido a sua grande quantidade de nutrientes. Segundo Souza (2018), a biomassa dessas macrófitas poderia ser reutilizada de três modos: para compostagem, alimentação animal e produção de biocombustíveis (bioetanol através da fermentação e biogás por meio da gaseificação).

Para a compostagem da biomassa, aplicação também citada por Affonseca (2016), juntamente com as lentilhas d'água, deveria ser adicionada uma quantidade adequada de resíduos sólidos domiciliares, pois utilizando somente as macrófitas, o processo seria mais lento e não atingiria uma temperatura ideal. O uso para alimentação animal, também foi proposto por Maroneze et al. (2014), assim como a utilização para produzir bioetanol. Já o uso para produção de biogás foi analisado por Ramaraj e Unpaprom (2016) que concluíram que a lentilha pode ser utilizada como recurso para geração de energia alternativa.

### CONSIDERAÇÕES FINAIS

A eutrofização é um dos principais problemas de qualidade da água na atualidade, sendo o fosfato um dos grandes contribuintes para essa realidade. Os estudos indicaram que, em relação à eficiência de absorção de fosfato, a utilização da *Lemna minor* no tratamento de efluentes gerados em atividades agrícolas,

industriais e urbanas apresenta grande potencial em todos os estudos.

Contudo, a elevada produção de biomassa nos sistemas que empregaram essa macrófita aquática é um aspecto a ser ponderado. Na última década, diversos estudos foram realizados com o intuito de avaliar as possibilidades de reaproveitamento da biomassa gerada no tratamento. Muitos autores apresentam alternativas no que concerne ao manejo dessa matéria orgânica na produção de ração animal, composto orgânico destinado à agricultura e conversão à biocombustíveis.

### AGRADECIMENTOS

Agradecemos, primeiramente, ao nosso orientador, Prof. Dr. Klauss Engelmann, por ter acolhido esse estudo e pela postura tranquila e benevolente com que conduziu todo o processo de orientação. À nossa coorientadora, Prof<sup>a</sup>. Thaís Taciano, pela constante disposição em auxiliar e por todo conhecimento que transmitiu o qual colaborou para o nosso aprimoramento. E a todo o corpo docente do curso técnico em química da Etec Irmã Agostina, especialmente, aos professores Prof. Dr. Fábio Rizzo e Prof<sup>a</sup>. Dra. Aline Ramos pelo suporte concedido ao longo do desenvolvimento do artigo. Nossa gratidão, admiração e respeito a todos vocês, professores.

### ANEXOS

Após as Referências, encontra-se a Instrução de Trabalho (IT) acerca da determinação espectrofotométrica de fosfato.

### REFERÊNCIAS

AFFONSECA, M. E. P. **Avaliação da viabilidade e aplicabilidade de macrófitas aquáticas para polimento de efluentes de estações de tratamento de esgoto doméstico – Estudo em escala real.** 2016. 104 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Botucatu, 2016.

APPENROTH, K. J.; BORISJUK, N.; LAM, E. Telling duckweed apart: Genotyping technologies for the Lemnaceae. **Chinese Journal of Applied and Environmental Biology**, China, v. 19, n. 1, p. 1–10, jan. 2013.

BARRETO, L. V.; BARROS, F. M.; BONOMO, P.; ROCHA, F. A.; AMORIM, J. da S. Eutrofização em rios brasileiros. **Enciclopédia Biosfera – Centro**

**Científico Conhecer**, Goiânia, v. 9, n. 16, p. 2165-2179. jul. 2013.

BRAGA, B.; HESPANHOL, I.; CONEJO, J. G. L.; MIERZWA, J. C.; BARROS, M. T. L. de; SPENCER, M.; PORTO, M.; NUCCI, N.; JULIANO, N.; EIGER, S. Introdução à Engenharia Ambiental: o desafio do desenvolvimento sustentável. **Pearson Prentice Hall**, São Paulo, 2. ed. p. 85-99, dez. 2005.

BRANCO, F. R. L. **Avaliação do potencial de duas espécies de lentilha-de-água *Lemna minor* e *Lemna gibba* na remoção de nutrientes em efluente aquícola**. 2012. 58 p. Dissertação (Mestrado em Biologia e Gestão da Qualidade da Água) – Faculdade de Ciências do Porto, Universidade do Porto, Porto, 2012.

CHEN, G.; FANG, Y.; HUANG, J.; ZHAO, Y.; LI, Q.; LAI, F.; XU, Y.; TIAN, X.; HE, K. Z.; JIN, Y.; TAN, L.; ZHAO, H. Duckweed systems for eutrophic water purification through converting wastewater nutrients to high-starch biomass: comparative evaluation of three different genera (*Spirodela polyrhiza*, *Lemna minor* and *Landoltia punctata*) in monoculture or polyculture. **RSC Advances**, v. 8, p.17927-17937. may 2018.

ESTEVES, F. A. **Fundamentos de Limnologia**. 2. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 1998.

LEMES, J. L. V. B.; SCHIRMER, W. N.; CALDEIRA, M. V. W.; KAICK, T. V.; BÁRBARA, R. R. Tratamento de esgoto por meio de zona de raízes em comunidade rural. **Revista Acadêmica – Ciências Agrárias e Ambientais**, Curitiba, v. 6, n. 2, p.169-179. abr./jun. 2008.

LIMA, R. S. **Avaliação de macrófitas lemnáceas no polimento de águas residuárias e seu uso na cultura do feijão**. 2018. 69 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrônomicas de Botucatu, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Botucatu, 2018.

MARONEZE, M. M.; ZEPKA, L. Q.; VIEIRA, J. G.; QUEIROZ, M. I.; JACOB-LOPES, E. A Tecnologia de Remoção de Fósforo: Gerenciamento do Elemento em Resíduos Industriais. **Revista Ambiente & Água [online]**, v. 9, n. 3, p. 445-458. set. 2014.

MEDEIROS, M. V. **Policultivo de tabaqui e camarão-da-amazônia: características limnológicas, avaliação do impacto ambiental e tratamento do efluente**. 2017. 111 p. Tese (Doutorado em Aquicultura) – Programa de Pós-Graduação de Jaboticabal, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Jaboticabal, 2017.

MENDONÇA, H. V.; RIBEIRO, C. B. de M.; BORGES, A. C.; BASTOS, R. R. Remoção de nitrogênio e fósforo de águas residuárias de laticínios por sistemas alagados construídos operando em bateladas. **Revista Ambiente & Água – An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, v. 7, n. 2, p. 75-87. ago. 2012.

PENA, L. M. A. **Depuração de efluente suinícola por *Lemna minor* e valorização energética da biomassa por co-digestão anaeróbia**. 2014. 55 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Ambiente) – Instituto Superior de Agronomia, Universidade de Lisboa, Lisboa, 2014.

RAMARAJ, R.; UNPAPROM, Y. Effect of temperature on the performance of biogas production from Duckweed. **Chemical Science**, Chiang Mai, v.1, n. 1, p. 58-66. mar. 2016.


SELVARANI, A. J.; PADMAVATHY, P.; SRINIVASAN, A.; JAWAHAR, P. Performance of Duckweed (*Lemna minor*) on different types of wastewater treatment. **International Journal of Fisheries and Aquatic Studies**, v. 2, n. 4, p. 208-212. jan. 2015.

SOUZA, F. B. **Produção de biomassa de algas e macrófitas em lagoas de tratamento de efluentes sanitários**. 2018. 102 p. Dissertação (Graduação em Engenharia Ambiental) – Instituto de Pesquisas Hidráulicas e Escola de Engenharia de Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2018.

TIMM, J. M. **Estudo de casos de wetlands construídos descentralizados na região do Vale do Sinos e Serra Gaúcha**. 2015. 188 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação de São Leopoldo, Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, 2015.

TUNDISI, J. G.; MATSUMURA-TUNDISI, T. **Recursos Hídricos no Século XXI**. Nova Edição. São Paulo: Oficina de textos, 2011.

## ANEXO – INSTRUÇÃO DE TRABALHO: DETERMINAÇÃO ESPECTROFOTOMÉTRICA DE FOSFATO

	<b>INSTRUÇÃO DE TRABALHO</b> <b>DETERMINAÇÃO ESPECTROFOTOMÉTRICA DE FOSFATO</b>			
Código <b>DTCCQ-2021-</b>	Área/Curso <b>Técnico em Química</b>	Data de Emissão <b>06.04.2021</b>	Última Revisão <b>08.06.2021</b>	Versão N° <b>01</b>

### 1. OBJETIVOS

Utilizar a técnica de espectrofotometria de absorção molecular na determinação de fosfato ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) em solução através da reação colorimétrica entre molibdato de amônio e tartarato de antimônio e potássio.

### 2. CAMPO DE APLICAÇÃO

Esta IT se aplica unicamente ao Laboratório de Análises Microbiológicas e Alimentos (LMA) e ao Laboratório de Análises Instrumentais (LAI).

### 3. EMISSÃO, REVISÃO E APROVAÇÃO.

Esta IT foi:

- ✓ Emitida por: Bianca Oliveira da Silva; Jaqueline Rodrigues Alencar; Júlia Tavares Teixeira; Marcos Roberto da Silva; Maria Regina Alves Gomes.
- ✓ Revisada por: Prof. Klauss Engelmann
- ✓ Aprovada por: Profª. Thaís Taciano

### 4. HISTÓRICO DE ALTERAÇÕES

Versão	Data	Alteração(ões) efetuada(s)
01	06/04/2021	Emissão do documento

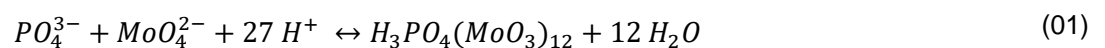
### 5. INTRODUÇÃO

A determinação espectrofotométrica fundamenta-se na absorção de radiação eletromagnética entre o ultravioleta e o infravermelho por espécies químicas (moléculas ou íons) em

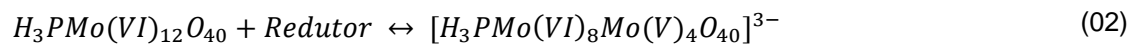


solução. Na análise quantitativa, a atenuação do feixe de radiação é diretamente proporcional à concentração da espécie química a ser determinada, permitindo assim, a quantificação do analito. Desse modo, para que seja possível a interação entre o fosfato e o espectrofotômetro, é imprescindível a realização de uma reação colorimétrica já que o analito apresenta-se de maneira incolor (FILHO et al., 2010).

À princípio, utiliza-se molibdato de amônio e tartarato de antimônio e potássio os quais interagem em meio ácido com o fosfato existente no sistema constituindo o ácido fosfomolibdico, conforme a Reação 1.



Após isso, o composto sofre redução através do ácido ascórbico, gerando um complexo que apresenta uma coloração azul intensa a qual é facilmente medida pelo espectrofotômetro e corresponde proporcionalmente a concentração de fosfato na solução, de acordo com a Reação 2.



Assim, é possível realizar a comparação entre os valores obtidos por uma curva de calibração a fim de quantificar o fosfato (COLZANI et al., 2017).

### 5.1 Lei de Lambert-Beer

A espectrofotometria fundamenta-se na Lei de Lambert-Beer a qual estabelece uma relação linear entre a absorvância e a concentração da amostra, conforme a Equação 1:

$$A = \epsilon \times l \times c \quad (01)$$

O coeficiente **A** (absorvância) representa o valor da absorção da solução em um dado comprimento de onda,  $\epsilon$  (absortividade molar) é uma grandeza característica da espécie absorvente, cuja magnitude depende do comprimento de onda da radiação incidente,  $l$  representa a distância percorrida pelo feixe luminoso através da amostra e  $c$  representa a concentração da solução absorvente. Portanto, através dessa relação é possível determinar a

concentração de uma amostra através de sua curva de calibração (CUSTODIO; KUBOTA; ANDRADE, 2000).

## 5.2 Cuidados a se tomar nesse experimento

Nos laboratórios de química, o uso de EPI (luvas, óculos de proteção e jaleco) é obrigatório. Tenha atenção durante a realização dos procedimentos e, ao final, proceda o descarte adequado das soluções conforme a orientação de seu professor.

Ao manusear o ácido clorídrico e o ácido sulfúrico, conduza o procedimento na capela de exaustão (EPC).

**A lavagem dos materiais NÃO deve ser realizada com detergentes fosfatados pelo motivo de interferirem nas análises.** De maneira alternativa, lave os materiais com uma solução de ácido clorídrico 10% e deixe-os em repouso por 1 hora. Após isso, enxague-os abundantemente com água destilada.

Cuidado ao manusear os reagentes. Em caso de contato acidental com a pele, deixe a região afetada debaixo de água corrente e comunique ao professor.

Para que se obtenha uma curva de calibração adequada, as soluções (estoque e padrões) devem ser preparadas cuidadosamente, com o intuito de apresentarem a concentração exata desejada. Atenção com os cálculos.

## 6. DESCRIÇÃO DO PROCEDIMENTO

### 6.1 Materiais e Reagentes

Os reagentes e materiais necessários para o experimento estão descritos na Tabela 1 e 2, respectivamente, e correspondem à necessidade de todos os grupos.

Tabela 1: Reagentes necessários para o experimento.

Unidades/Quantidades	Descrição do Reagente
<b>q.s.p.</b>	Ácido sulfúrico concentrado a 20% ( $H_2SO_4$ )
<b>q.s.p.</b>	Ácido ascórbico P.A. ( $C_6H_8O_6$ )
<b>q.s.p.</b>	Solução padrão de fósforo (P)
<b>q.s.p.</b>	Molibdato de amônio ( $(NH_4)_6Mo_7O_{24}$ )

<b>q.s.p.</b>	Tartarato de antimônio e potássio (C <sub>8</sub> H <sub>10</sub> K <sub>2</sub> O <sub>15</sub> Sb <sub>2</sub> )
---------------	--

Tabela 2: Materiais necessário para o experimento.

<b>Unidades/Quantidades</b>	<b>Descrição de materiais</b>
3	Baguetas
1	Balança analítica
5	Balões volumétricos de 10 mL
2	Balões volumétricos de 50 mL
4	Béqueres de 25 mL
2	Béqueres de 50 mL
1	Béquer de 250 mL
6	Cubetas de Vidro
1	Espectrofotômetro de absorção molecular
1	Pipeta automática (P1000)
1	Pipeta Graduada
4	Pipetadores
4	Pipetas Pasteur
3	Pipetas Volumétricas

## 6.2 Procedimento

### Parte 01 – Preparação do equipamento

- I. Ligue o equipamento à tomada, aguarde as rotinas de inicialização e mais 20 minutos para o aquecimento das lâmpadas.
- II. Siga as instruções do professor para o uso do Software.

### Parte 02 – Preparação da solução estoque

- I. Prepare 50 mL de uma solução estoque de P (0,001 mol L<sup>-1</sup>).
- II. Com o auxílio de uma pipeta volumétrica, meça o volume determinado da solução padrão de fósforo 0,01 mol L<sup>-1</sup> (utilize a seção 7 dessa IT).
- III. Transfira, quantitativamente, o volume estabelecido para um balão volumétrico de 50 mL.

- IV. Complete com água destilada até a marca do menisco e homogeneíze bem a solução.

### **Parte 03 – Preparação do reagente combinado**

- I. Em um balão volumétrico de 50 mL, adicione 25 mL de ácido sulfúrico 20%.
- II. Seguidamente, acrescente 2,5 mL de solução de tartarato de antimônio e potássio  $0,004 \text{ mol L}^{-1}$ , 7,5 mL de solução de molibdato de amônio  $0,032 \text{ mol L}^{-1}$  e 15 mL de solução de ácido ascórbico  $0,1 \text{ mol L}^{-1}$ . Homogeneíze a cada solução adicionada.

### **Parte 04 – Preparação das soluções padrão e “branco”**

- I. Separe e numere 6 balões volumétricos de 10 mL.
- II. Com o auxílio da pipeta automática, transfira os volumes adequados da solução estoque para 5 balões, ponderando que as concentrações devem ser de 0,0002, 0,0003, 0,0004, 0,0005 e  $0,0006 \text{ mol L}^{-1}$  (utilize a Tabela 2 na seção 7 para organizar os cálculos). **Um dos balões não receberá a solução estoque porque esse acondicionará o nosso “branco”.**
- III. Acrescente 2 mL do reagente combinado em todos os balões volumétricos com uma pipeta automática.
- IV. Complete os volumes com água destilada até a marca do menisco e homogeneíze as soluções.

### **Parte 05 – Construção do espectro de absorção e determinação do comprimento de onda de máxima absorção ( $\lambda \text{ máx}$ )**

- I. Separe 6 cubetas de vidro.
- II. Lave, com água destilada, enxaguando com o auxílio da pisseta.
- III. Encha a primeira cubeta com o branco, isto é, com a solução do reagente combinado (descarte essa alíquota e encha novamente a cubeta com a mesma solução), seque as faces externas com papel absorvente macio (lenços descartáveis ou papel higiênico, por exemplo) e coloque cuidadosamente essa cubeta no compartimento de amostras do equipamento.
- IV. Preencha a segunda cubeta com solução padrão nº 3 ( $0,00004 \text{ mol L}^{-1}$ ) do mesmo modo que o item III, descartando essa primeira alíquota e voltando a encher a cubeta com a mesma solução. Esse procedimento é denominado como ambientação da cubeta.
- V. Seque as faces externas com papel absorvente macio e coloque a cubeta no compartimento de amostras do equipamento.
- VI. Utilizando o Software do equipamento, peça para que seja realizado o espectro de absorção de 400 a 900 nm.
- VII. Construa um gráfico da  $A \times \lambda$  (absorbância em função do comprimento de onda) e identifique o pico da curva exploratória.

## **Parte 06 – Construção da curva de calibração e determinação da absorvidade molar ( $\epsilon$ )**

- I. Programe o aparelho para realizar leituras em 883,5 nm (espera-se que esse ou um comprimento de onda próximo seja o pico da curva exploratória obtido na Parte 05).
- II. Prepare as cubetas (branco e soluções 1, 2, 3, 4 e 5) da mesma maneira que foi realizada na Parte 05.
- III. Posicione as cubetas adequadamente e faça a leitura dos valores da absorbância em diferentes concentrações. Registre os valores na Tabela 4 da seção 7.
- IV. Construa um gráfico da  $A \times C$  (absorbância em função da concentração), trace a reta média e determine a equação da reta e o valor do coeficiente de determinação,  $r^2$ .
- V. Para cada par ordenado, (A,C), calcule o valor de  $\epsilon$ .
- VI. Calcule a média destes valores.

### **6.3 Acondicionamento/Tratamento de Resíduos**

O resíduo gerado nesse experimento consiste em um complexo de ácido fosfomolibdico. Neutralize-o e armazene-o para ser levado a um incinerador que contenha pós-combustor e purificador de gases.

## **7. Registro de dados**

### **Parte 01 – Preparação da solução-estoque**

**Concentração teórica desejada: 0.003 mol L<sup>-1</sup>**

Volume da solução padrão de P: \_\_\_\_\_ mL

Massa molar do PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>: \_\_\_\_\_ g mol<sup>-1</sup>

Quantidade de matéria de PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>: \_\_\_\_\_ mol

Concentração da solução estoque: \_\_\_\_\_ mol L<sup>-1</sup>

### **Parte 02 – Preparação das soluções padrão**

Tabela 3: valores de concentração teórica desejada, volume da solução estoque e concentração real das soluções padrão.

<b><i>Solução</i></b>	<b><i>Concentração teórica</i></b>	<b><i>Volume da solução estoque</i></b>	<b><i>Concentração real</i></b>
-----------------------	------------------------------------	---	---------------------------------

	$(\text{mol L}^{-1})$	$(\text{mL})$	$(\text{mol L}^{-1})$
1	0,00002		
2	0,00003		
3	0,00004		
4	0,00005		
5	0,00006		

### **Parte 03 – Construção da curva de calibração e determinação da absorvidade molar ( $\epsilon$ )**

Tabela 4: valores de absorvância determinados em 883,5 nm em função da concentração de  $\text{PO}_4^{3-}$  e valores calculados de absorvidade ( $\epsilon$ ) comprimentos de onda.

<b>Solução</b>	<b>Concentração (<math>\text{mol L}^{-1}</math>)</b>	<b>Absorvância medida, A</b>	<b>Absorvidade molar, <math>\epsilon</math> (<math>\text{L mol}^{-1} \text{cm}^{-1}</math>)</b>
1			
2			
3			
4			
5			
<b>Média</b>			

Equação da Reta:

$R^2 =$

### **8. Discussão**

- I. A equação da reta encontrada pelo grupo ( $y = a.x + b$ ) apresenta dois coeficientes: o coeficiente angular, **a**, e o linear, **b**. Neste experimento, é de se esperar que o coeficiente linear seja um valor muito próximo de zero e, quanto mais próximo de zero for o valor de **b**, mais próximo serão os valores do coeficiente angular e da absorvidade média calculada na Tabela 4. Compare os valores do coeficiente angular do seu grupo com a média dos valores de absorvidade calculada.
- II. Qual o desvio relativo entre os valores?

$$\text{Desvio relativo} = \frac{\text{absortividade média calculada} - \text{coeficiente angular}}{\text{coeficiente angular}} \times 100$$

- III. Proponha uma explicação para o valor do desvio calculado.
- IV. Construa os gráficos do espectro e da curva de calibração no Excel com a equação da reta e o valor do  $r^2$ .

**Boa aula prática!**

## 9. REFERÊNCIAS

COLZANI, H.; RODRIGUES, Q. E. A. G.; FOGAÇA, C.; GELINSKI, J. M. L. N.; PEREIRA-FILHO, E. R.; BORGES, E. M. Determinação de fosfato em refrigerantes utilizando um scanner de mesa e análise automatizada de dados: um exemplo didático para ensino de química. **Química Nova** [online]. 2017, v. 40, n. 7, pp. 833-839. Disponível em: <<https://doi.org/10.21577/0100-4042.20170035>>. ISSN 1678-7064.

CUSTODIO, R.; KUBOTA, L. T.; ANDRADE, J. C. Lei dos Processos de Absorção da Radiação. Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Química. São Paulo, **Chemkeys**, n. 3, p. 1-5, 2000.

Determinação de Fosfato por Espectrofotometria. Produção de Jurandir Pereira Filho. Santa Catarina: UNIVALI, 2020. 1 vídeo (17 min), online, son., color.

FILHO, H. B.; KRUNG, F. J.; ZAGATTO, E. A. G.; ROCHA, F. R. P. **Espectrofotometria no Ultravioleta e Visível**. Centro de Energia Nuclear na Agricultura – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

Método de Determinação de Ortofosfato Solúvel (Método Molibdofosfórico e Redução com Ácido Ascórbico). **Diário Oficial do Estado do Rio de Janeiro**, Rio de Janeiro, 1983.

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO. Determinação do Teor de Fosfato Inorgânico Dissolvido. **Departamento de Ecologia – Laboratório de Limnologia**, São Paulo, 2000.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS. **Ficha de Segurança de Produtos Químicos – Ácido Fosfomolibdico**. Instituto de Ciências Biológicas. Minas Gerais, 2017.