

# Engenharia Sanitária e Ambiental: Tecnologias para a Sustentabilidade 3

**Alan Mario Zuffo  
(Organizador)**



**Atena**  
Editora

Ano 2019

Alan Mario Zuffo

(Organizador)

# Engenharia Sanitária e Ambiental: Tecnologias para a Sustentabilidade 3

Atena Editora  
2019

2019 by Atena Editora

Copyright © da Atena Editora

Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Diagramação e Edição de Arte: Lorena Prestes e Karine de Lima

Revisão: Os autores

### Conselho Editorial

- Prof. Dr. Alan Mario Zuffo – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas  
Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília  
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa  
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná  
Prof. Dr. Darllan Collins da Cunha e Silva – Universidade Estadual Paulista  
Profª Drª Deusilene Souza Vieira Dall’Acqua – Universidade Federal de Rondônia  
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria  
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná  
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice  
Profª Drª Juliane Sant’Ana Bento – Universidade Federal do Rio Grande do Sul  
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense  
Prof. Dr. Jorge González Aguilera – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão  
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará  
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista  
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará  
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas  
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande  
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

#### Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)

E57 Engenharia sanitária e ambiental [recurso eletrônico]: tecnologias para a sustentabilidade 3 / Organizador Alan Mario Zuffo. – Ponta Grossa (PR): Atena Editora, 2019. – (Engenharia Sanitária e Ambiental; v. 3)

Formato: PDF

Requisitos do sistema: Adobe Acrobat Reader.

Inclui bibliografia

ISBN 978-85-7247-251-7

DOI 10.22533/at.ed.517191104

1. Engenharia ambiental. 2. Engenharia sanitária.  
3. Sustentabilidade. I. Zuffo, Alan Mario.

CDD 628

Elaborado por Maurício Amormino Júnior | CRB6/2422

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores.

2019

Permitido o download da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)

## APRESENTAÇÃO

A obra “*Engenharia Sanitária e Ambiental Tecnologias para a Sustentabilidade*” aborda uma série de livros de publicação da Atena Editora, em seu III volume, apresenta, em seus 22 capítulos, os conhecimentos tecnológicos da engenharia sanitária e ambiental.

As Ciências estão globalizadas, englobam, atualmente, diversos campos em termos de pesquisas tecnológicas. Com o crescimento populacional e a demanda por alimentos tem contribuído para o aumento da poluição, por meio de problemas como assoreamento, drenagem, erosão e, a contaminação das águas pelos defensivos agrícolas. Tais fatos, podem ser minimizados por meio de estudos e tecnologias que visem acompanhar as alterações do meio ambiente pela ação antrópica. Portanto, para garantir a sustentabilidade do planeta é imprescindível o cuidado com o meio ambiente.

Este volume dedicado à diversas áreas de conhecimento trazem artigos alinhados com a Engenharia Sanitária e Ambiental Tecnologias para a Sustentabilidade. A sustentabilidade do planeta é possível devido o aprimoramento constante, com base em novos conhecimentos científicos.

Aos autores dos diversos capítulos, pela dedicação e esforços sem limites, que viabilizaram esta obra que retrata os recentes avanços científicos e tecnológicos, os agradecimentos do Organizador e da Atena Editora.

Por fim, esperamos que este livro possa colaborar e instigar mais estudantes e pesquisadores na constante busca de novas tecnologias para a Engenharia Sanitária e Ambiental, assim, garantir perspectivas de solução de problemas de poluição dos solos, rios, entre outros e, assim garantir para as atuais e futuras gerações a sustentabilidade.

Alan Mario Zuffo

## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1</b> .....	<b>1</b>
CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS GERADOS NA CIDADE DE DONA INÊS – PARAÍBA	
Narcísio Cabral de Araújo Roseane Carneiro de Oliveira Abílio José Procópio Queiroz Paulo Célio Ramos Soares Jefferson Pereira de Andrade	
<b>DOI 10.22533/at.ed.5171911041</b>	
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	<b>11</b>
CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DE EFLUENTES INDUSTRIAIS COM PÓS-TRATAMENTO ATRAVÉS DE PROCESSOS ELETROLÍTICOS: NATEX (XAPURI, ACRE)	
Emerson Silva de Almeida Julio Cesar Pinho Mattos	
<b>DOI 10.22533/at.ed.5171911042</b>	
<b>CAPÍTULO 3</b> .....	<b>21</b>
COLETA DE PRESSÃO - UM ESTUDO PARA TORNAR EFICIENTE O ABASTECIMENTO DE ÁGUA EM UMA REALIDADE DE DEMANDA REPRIMIDA EM REGIÃO DE GRANDE PERÍODO DE ESTIAGEM	
Uilma Santos Pesqueira Javan Oliveira de Almeida	
<b>DOI 10.22533/at.ed.5171911043</b>	
<b>CAPÍTULO 4</b> .....	<b>36</b>
COMPARATIVO ENTRE TENSOATIVOS ORGÂNICOS E INORGÂNICOS EM PROCESSO DE FLOTAÇÃO POR AR DISSOLVIDO UTILIZANDO EFLUENTE DE LAGOA DE ALTA TAXA PARA CULTIVO DE MICROALGAS (LAT) ALIMENTADA COM EFLUENTE SANITÁRIO	
José Carlos Alves Barroso Júnior Nestor Leonel Muñoz Hoyos Luiz Olinto Monteggia Eddie Francisco Gómez Barrantes Gabrielli Harumi Yamashita	
<b>DOI 10.22533/at.ed.5171911044</b>	
<b>CAPÍTULO 5</b> .....	<b>50</b>
CONHECIMENTO DA POPULAÇÃO DE JATAÍ-GO SOBRE GUARDA RESPONSÁVEL, ZONOSSES E CONTROLE POPULACIONAL DE CÃES E GATOS	
Rayanne Borges Vieira Marcelo Figueiredo dos Santos Patrícia Rosa de Assis Ana Paula de Souza Martins Andréia Vitor Couto do Amaral	
<b>DOI 10.22533/at.ed.5171911045</b>	
<b>CAPÍTULO 6</b> .....	<b>55</b>
DETERMINAÇÃO DA CURVA DE INTENSIDADE, DURAÇÃO E FREQUÊNCIA DO MUNICÍPIO DE SANTO ESTEVÃO - BA	
Paulo Vitor Santa Rosa	
<b>DOI 10.22533/at.ed.5171911046</b>	

**CAPÍTULO 7 ..... 63**

DETERMINAÇÃO DA DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGÊNIO APLICADO AO MONITORAMENTO DA LAGOA MIRIM E ATUAÇÃO DA ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA

Gabriel Borges dos Santos  
Marlon Heitor Kunst Valentini  
Larissa Aldrighi da Silva  
Marcos Antonio da Silva  
Marília Guidotti Corrêa  
Francine Vicentini Viana  
Vitor Alves Lourenço  
Willian César Nadaleti  
Bruno Müller Vieira

**DOI 10.22533/at.ed.5171911047**

**CAPÍTULO 8 ..... 71**

DIAGNÓSTICO DA GESTÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS NO MUNICÍPIO DE SENHOR DO BONFIM/BA

Fernando Augusto Kursancew  
Diamile Patricia Lucena da Silva  
Geisa Luiza Macedo Silva

**DOI 10.22533/at.ed.5171911048**

**CAPÍTULO 9 ..... 80**

DIAGNÓSTICO DOS IMPACTOS PROVENIENTES DE AÇÕES ANTRÓPICAS NO MORRO DO URUBU, ARACAJU-SERGIPE

Carolina Cristina da Silva Ribeiro  
Allana Karla Costa Alves  
Paulo Sérgio de Rezende Nascimento

**DOI 10.22533/at.ed.5171911049**

**CAPÍTULO 10 ..... 88**

ECOFICIÊNCIA NA MUDANÇA DOS PADRÕES DE CONSUMO DE ÁGUA: ESTUDO DE CASO DO MUNICÍPIO DE PELOTAS/RS

Samanta Tolentino Ceconello  
Luana Nunes Centeno  
Diuliana Leandro  
Andréa Souza Castro

**DOI 10.22533/at.ed.51719110410**

**CAPÍTULO 11 ..... 99**

EFEITO DA IRRIGAÇÃO COM EFLUENTE DE LAGOA DE ESTABILIZAÇÃO NOS PARÂMETROS QUÍMICOS DO SOLO

Pedro Henrique Máximo de Souza Carvalho  
William Ralf Santos Costa  
João Vitor Máximo de Souza Carvalho

**DOI 10.22533/at.ed.51719110411**

**CAPÍTULO 12 ..... 107**

EQUILÍBRIO ECONÔMICO-FINANCEIRO E UNIVERSALIZAÇÃO DOS SERVIÇOS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA E DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO NO ESTADO DA BAHIA

Clério Ferreira de Sousa  
Gervásio Ferreira dos Santos  
Raymundo José Santos Garrido

**DOI 10.22533/at.ed.51719110412**

<b>CAPÍTULO 13</b> .....	<b>123</b>
ESPACIALIZAÇÃO DA POTENCIALIDADE EROSIVA POR ESTIMADOR KERNEL NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO JAPARATUBA (SE)	
Paulo Sérgio de Rezende Nascimento Lizza Adrielle Nascimento Santos Glauber Vinicius Pinto de Barros	
<b>DOI 10.22533/at.ed.51719110413</b>	
<b>CAPÍTULO 14</b> .....	<b>132</b>
ESTUDO DA COMPOSIÇÃO, RIQUEZA E CONDIÇÃO DA FLORA ARBÓREA DA AVENIDA PRESIDENTE COSTA E SILVA (NOVA FRIBURGO – RJ)	
Tatiana Nicolau Gonçalves Marcello Fragoso Lima Ricardo Finotti	
<b>DOI 10.22533/at.ed.51719110414</b>	
<b>CAPÍTULO 15</b> .....	<b>144</b>
ESTUDO DA RELAÇÃO ENTRE OS ÍNDICES DE MORBIDADE E SERVIÇOS DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO ENTRE 2013 A 2015, EM SANTARÉM-PA	
Alessandra de Sousa Silva Rebecca da Silva Fraia Soraia Valéria de Oliveira Coelho Lameirão	
<b>DOI 10.22533/at.ed.51719110415</b>	
<b>CAPÍTULO 16</b> .....	<b>150</b>
ESTUDO SOBRE IMPLEMENTAÇÃO DE UM SISTEMA DE CAPTAÇÃO DE ÁGUAS PLUVIAIS EM UMA INSTITUIÇÃO DE ENSINO	
Guilherme de Souza Barrucho Juliana Toledo Cota Giselle Martins Machado José Antônio Lins Pereira Andréia Boechat Delatorre Michaelle Cristina Barbosa Pinheiro Campos Ilana Pereira da Costa Cunha	
<b>DOI 10.22533/at.ed.51719110416</b>	
<b>CAPÍTULO 17</b> .....	<b>160</b>
IMPACTOS AMBIENTAIS DA CARCINICULTURA NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO JAPARATUBA NO MUNICÍPIO DE PIRAMBU-SE	
Paulo Sérgio de Rezende Nascimento Denilma dos Santos Oliveira Ivan Soares Freire Filho	
<b>DOI 10.22533/at.ed.51719110417</b>	
<b>CAPÍTULO 18</b> .....	<b>168</b>
IMPACTOS SOCIOAMBIENTAIS DO MONOCULTIVO DE EUCALIPTO NOS MUNICÍPIOS DE ITAPORANGA D’AJUDA, ESTÂNCIA E SALGADO (SE)	
Augusto Cruz Barreto Lucivaldo de Jesus Texeira Paulo Sérgio de Rezende Nascimento	
<b>DOI 10.22533/at.ed.51719110418</b>	

<b>CAPÍTULO 19</b> .....	<b>177</b>
IMPLANTAÇÃO DO RE-APROVEITAMENTO DE ÁGUA DAS CHUVAS EM PEQUENAS EDIFICAÇÕES COM PROPOSTA DE RE-USO EM CONJUNTOS HABITACIONAIS POPULARES	
Giuliano Mikael Tonelo Pincerato	
<b>DOI 10.22533/at.ed.51719110419</b>	
<b>CAPÍTULO 20</b> .....	<b>188</b>
INDUSTRIAL EFFLUENT TREATMENT FOR SCREEN PRINTING	
Allan Rios Bezerra	
Fernando Jorge Corrêa Magalhães Filho	
Priscila Sabioni Cavalheri	
<b>DOI 10.22533/at.ed.51719110420</b>	
<b>CAPÍTULO 21</b> .....	<b>204</b>
LOGÍSTICA REVERSA NO DESCARTE DE MEDICAMENTOS NAS FARMÁCIAS DO MUNICÍPIO DE POCINHOS-PB	
Jesielly Evane Miranda de Andrade	
Geralda Gilvania Cavalcante de Lima	
Andreia Araújo da Silva	
Carlos Antônio Pereira de Lima	
Neyliane Costa de Souza	
<b>DOI 10.22533/at.ed.51719110421</b>	
<b>CAPÍTULO 22</b> .....	<b>221</b>
MAPEAMENTO DAS ÁREAS FAVORÁVEIS À INFILTRAÇÃO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS PELA DENSIDADE DE LINEAMENTO ESTRUTURAL	
Paulo Sérgio de Rezende Nascimento	
<b>DOI 10.22533/at.ed.51719110422</b>	
<b>SOBRE O ORGANIZADOR</b> .....	<b>231</b>

## COMPARATIVO ENTRE TENSOATIVOS ORGÂNICOS E INORGÂNICOS EM PROCESSO DE FLOTAÇÃO POR AR DISSOLVIDO UTILIZANDO EFLUENTE DE LAGOA DE ALTA TAXA PARA CULTIVO DE MICROALGAS (LAT) ALIMENTADA COM EFLUENTE SANITÁRIO

### **José Carlos Alves Barroso Júnior**

Universidade Federal do Rio Grande do Sul,  
Instituto de Pesquisas Hidráulicas  
Porto Alegre – Rio Grande do Sul

### **Nestor Leonel Muñoz Hoyos**

Universidade Federal do Rio Grande do Sul,  
Instituto de Pesquisas Hidráulicas  
Porto Alegre – Rio Grande do Sul

### **Luiz Olinto Monteggia**

Universidade Federal do Rio Grande do Sul,  
Instituto de Pesquisas Hidráulicas  
Porto Alegre – Rio Grande do Sul

### **Eddie Francisco Gómez Barrantes**

Universidade Federal do Rio Grande do Sul,  
Instituto de Pesquisas Hidráulicas  
Porto Alegre – Rio Grande do Sul

### **Gabrielli Harumi Yamashita**

Universidade Federal do Rio Grande do Sul,  
Programa de Pós-graduação em Engenharia  
de Produção  
Porto Alegre – Rio Grande do Sul

**RESUMO:** A disponibilidade de energia limpa e renovável para o futuro é um dos maiores desafios da sociedade e está intimamente ligada à estabilidade global, a prosperidade econômica e qualidade de vida. O aproveitamento energético a partir de biomassa tem sido explorado por diversos pesquisadores. Uma alternativa atrativa é a produção de biomassa

aliada ao tratamento de efluentes, acarretando na redução dos custos. Este trabalho apresenta o cultivo de biomassa de algas em Lagoa de Alta Taxa (LAT) com posterior separação através da flotação por ar dissolvido (FAD), utilizando dois tensoativos.

A LAT foi operada sob dois regimes diferentes, variando os tempos de detenção hidráulico (TDH), inicialmente utilizou-se TDH de 3 dias e em seguida 7,5 dias. No primeiro regime de operação obteve-se concentração de biomassa de  $90,7 \pm 44$  mg/L e para o segundo  $125 \pm 68$  mg/L, porém a produção por área foi mais elevada durante o primeiro regime de operação  $9,1 \pm 4,4$  g/(m<sup>2</sup>.d) , quando comparado ao segundo  $5,0 \pm 3,4$  g/(m<sup>2</sup>.d). A separação da biomassa (desaguamento) foi realizada a partir da FAD, testando um floculante orgânico (Tanfloc sg) e um coagulante inorgânico (cloreto férrico), sendo o primeiro mais eficiente para a remoção de biomassa,  $88,2 \pm 4,3$  %, quando comparado ao coagulante,  $66,8 \pm 11,0$  %. O custo por hora de operação do cloreto férrico foi menor, R\$ 2,67, quando comparado com o Tanfloc sg, R\$ 2,98, entretanto para remover a mesma quantidade de biomassa o Tanfloc sg apresentou menor custo.

**PALAVRAS-CHAVE:** Microalgas, Flotação por Ar Dissolvido, Lagoas de Alta Taxa, Coagulante orgânico, coagulante inorgânico.

**ABSTRACT:** The availability of clean and renewable energy for the future is one of the biggest challenges of society and is closely linked to global stability, economic prosperity and quality of life. The recovery of energy from biomass has been studied by several researchers in the last decades. An attractive alternative is the production of biomass coupled with treatment of effluents to allow for cost reductions. This work presents the cultivation of algal biomass in high-rate pond (HRP) with subsequent separation by dissolved air flotation (DAF) using two surfactants. The HRP was operated under two different regimes, varying the hydraulic retention time (HRT), which was initially operated with 3 days HRT and then 7.5 days. In the first regime it was obtained a biomass concentration of  $90.7 \pm 44$  and of  $125.6 \pm 68.3$  mg / L in the second. Moreover, the production per area was highest during the first operation regime  $9.1 \pm 4.4$  g / (m<sup>2</sup> · d) compared to the second  $5.0 \pm 3.4$  g / (m<sup>2</sup> · d). Separation of the biomass (dewatering) was achieved by means of DAF, using an organic flocculant (Tanfloc sg) and an inorganic coagulant (ferric chloride), the former being more effective for the removal of biomass,  $88.2 \pm 4.3\%$  when compared to coagulant,  $66.8 \pm 11\%$ . The operating costs per hour of ferric chloride was smaller, R\$ 2.67, compared with Tanfloc sg, R\$ 2.98, however to remove the same amount of biomass, Tanfloc sg showed lower cost.

**KEYWORDS:** Microalgae, dissolved air flotation, high open pond, organic flocculant, inorganic coagulant.

## 1 | INTRODUÇÃO

A disponibilidade de energia limpa e renovável para o futuro é um dos maiores desafios da sociedade e está intimamente ligada a estabilidade global, a prosperidade econômica e qualidade de vida (GOUVEIA; OLIVEIRA, 2009)nitrogen and sulfur oxides. Neste aspecto a biomassa é um recurso abundante e renovável que pode ser convertido em diferentes produtos químicos, combustíveis e outros materiais de valor agregado (CHUM; OVEREND, 2001), podendo também serem cultivadas a partir de resíduos sanitários e industriais (BARROSO, 2015; BENEMANN, 2008; PITTMAN; DEAN; OSUNDEKO, 2011).

Frequentemente aliada ao tratamento de esgotos, as microalgas, quando cultivadas e controladas em LAT, auxiliam o tratamento de águas residuárias na remoção de nutrientes como fósforo e nitrogênio e possuem potencial energético elevado(CAI; PARK; LI, 2013; CRAGGS; SUTHERLAND; CAMPBELL, 2012; GARCÍA et al., 2006; SUTHERLAND et al., 2015).

A remoção de microalgas do meio líquido pode se obtida a partir de vários processos como o processo de coagulação, quando o agente químico é adicionado ao efluente ocorre a hidrólise, polimerização e a reação com a alcalinidade, formando hidróxidos comumente chamados de gel, compostos de íons positivos (MÁXIMO, 2007; ROEHRS, 2007).

Como a maioria das partículas coloidais e em suspensão possuem cargas

negativas em sua superfície, os íons formados na hidrólise desestabilizarão as cargas destas partículas, reduzindo o potencial zeta até próximo à zero, permitindo a aproximação e aglomeração das partículas e, como consequência, a formação dos flocos. Desse modo, os aglomerados poderão ser separados na decantação, flotação ou filtração (MÁXIMO, 2007; ROEHRS, 2007).

A formação de flocos ocorre em 2 etapas, descritas a seguir: inicialmente a mistura rápida, conhecida como coagulação; em seguida a floculação. Após a coagulação, as partículas apresentam tamanho variando entre 0,5  $\mu\text{m}$  e 5  $\mu\text{m}$  e são chamadas de partículas primárias. Na Etapa seguinte, na floculação, são formados flocos maiores capazes de sedimentar, com tamanho de 0,1 mm a 5mm ( $\varnothing$ DEGAARD, 1998; SANTOS, 2001).

O cultivo de algas a partir de efluentes e resíduos industriais eliminam custos significativos, tais como o custo de suprimento de  $\text{CO}_2$  e nutrientes, consumo de água e bombeamentos, contribuindo para a viabilização do processo de produção de energia e proteção do ambiente (CHISTI, 2007; CRAGGS; SUTHERLAND; CAMPBELL, 2012; DONOHUE; COGDELL, 2006; HU; SOMMERFELD, 2008).

Os flocculantes orgânicos são uma alternativa atrativa para a floculação de algas, pois estes reagem primeiramente com os sólidos em suspensão (LEE et al., 2012), enquanto os coagulantes químicos tendem a reagir não somente com partículas coloidais mas também com o fósforo presente no efluente (GREGOR; NOKES; FENTON, 1997; MOFFETT, 1968). Outro ponto favorável na utilização de flocculantes orgânicos é que este gera um lodo orgânico, o qual pode ser aplicado para diversos fins, por exemplo, adubo após o aproveitamento energético do lodo (BARROSO, 2015; BARROSO et al., 2016).

Coagulação/floculação química é a principal abordagem para a otimização econômica dos processos de adensamento de microalgas. A aplicação destes métodos é necessária principalmente devido aos grandes volumes de culturas de microalgas que devem ser processados e a necessidade de um método universal que pode ser aplicável a grande variedade de espécies (UDUMAN et al., 2010). Este processo de coagulação/floculação é utilizado para concentrar sólidos em suspensão 20-100 vezes (VANDAMME; FOUBERT; MUYLEAERT, 2013). Ele aumenta eficazmente o tamanho de partícula, antes do desaguamento, portanto, influência de forma significativa, reduzindo a demanda de energia (MOLINA GRIMA et al., 2003; SALIM et al., 2011)".

A flotação por ar dissolvido (FAD) caracteriza-se pela produção de elevado número de bolhas com diâmetro menor que 100-150  $\mu\text{m}$ . Surgiu em meados da década de 20, inicialmente para recuperação de fibras de papel e posteriormente obtiveram várias outras finalidades, como remoção de sólidos suspensos de pequeno diâmetro, passando por indústrias do papel, alimentícias, petroquímicas e tratamento de águas e esgotos (RODRIGUES, 1999; TCHOBANOGLIOUS et al., 2015).

Um grande número de experimentos mostram a recuperação de produtos, tais como óleo (AL-SHAMRANI; JAMES; XIAO, 2002a, 2002b; HOSNY, 1996; LI et al.,

2007; RODRIGUES, 1999; ZOUBOULIS; AVRANAS, 2000), minerais (ENGLERT; RODRIGUES; RUBIO, 2009), algas (TEIXEIRA; ROSA, 2007; TEIXEIRA; SOUSA; ROSA, 2010) e nos casos em que a escassez de água é o desafio, é de grande auxílio na melhoria da sua qualidade (EDZWALD, 1995; KITCHENER; GOCHIN, 1981).

No caso de microalgas, PIENKOS; DARZINS, (2009) afirmam que a extração e operações de desaguamento são um dos principais desafios econômicos para o processamento de biocombustíveis de algas. A produção pode atingir 10 g/L de biomassa seca, a qual é substancialmente mais elevada do que a remoção de partículas finas em purificação de água por sistemas FAD. GUDIN e TAMPIER, (2009) estimou que a extração e desaguamento pode ser responsável por 30 % - 50 % do custo total de produção.

A FAD é altamente atrativa como meio de separação da biomassa de algas, já que esta é mais indicada em casos de separação de sólidos/líquido quando se trata de sólidos suspensos pequenos e/ou com densidades parecidas com a da água, como é o caso das microalgas.

Neste trabalho foi avaliada a produção de microalgas em diferentes regimes operacionais, mediante variação do tempo de detenção hidráulico (TDH) para a produção de biomassa algal com posterior separação por FAD quimicamente assistida, avaliando o custo para cada tensoativo utilizado.

## 2 | MATERIAIS E MÉTODOS

Os experimentos foram realizados na planta experimental de tratamento de águas residuárias do IPH, localizada na ETE São João Navegantes / DMAE, em Porto Alegre - RS.

O sistema experimental constituiu de uma LAT alimentada com efluente do reator UASB seguido de sistema de coagulação/floculação e Flotação por Ar Dissolvido (FAD).

O reator UASB foi utilizado como etapa de pré-tratamento para alimentação das lagoas, com foco na remoção de sólidos e matéria orgânica facilmente biodegradável.

A LAT é estruturada com fundo e diques revestidos em concreto, com taludes inclinados à 45° e impermeabilizada para evitar perdas por infiltração. Dispõe ainda de uma pá impulsora para promover a mistura completa impedindo a estratificação e sedimentação das algas.



Fig. 1 – Sistema piloto de tratamento de efluentes.

O sistema de separação sólido/líquido é composto por:

- Sistema de coagulação/floculação de mistura mecanizada é composto por um coagulador para mistura rápida e três câmaras de mistura lenta, compondo um floculador com dimensões de 2 m de comprimento por 1 m de largura e altura total de 0,55 m, operado com lâmina d'água de 0,45 m. A Tabela 1 apresenta as características de cada câmara.

- Um flotador convencional de operação contínua executado em chapas de acrílico para permitir a visualização do efeito de separação de sólidos e constituído de 3 câmaras, identificadas a seguir:

- Câmara de ascensão: 0,55 m x 0,1 m x 1,80 m (largura x comprimento x altura);

- Câmara de separação sólido-líquido: 0,55 m x 0,70 m x 1,85 m;

- Caixa coletora de lodo flotado: 0,55 m x 0,30 m x 0,20 m;

O volume útil total do flotador é de 1,12m<sup>3</sup>(0,55m x 1,10m x 1,85m).

- Um vaso de pressão com diâmetro interno de 97,8 mm e altura de 1,45m, tendo uma faixa de 80 cm preenchida com “*pall rings*” de 25 mm para a saturação da fase líquida.

- Um compressor de ar acionado por motor elétrico de 3CV para realizar a pressurização do vaso, normalmente em 3 atmosferas.

- Uma bomba dosadora helicoidal Netzsch com vazão máxima de 14 L/h, para dosagem do coagulante/floculante;

- Uma bomba helicoidal Netzsch para recirculação com vazão máxima de 800 L/h;

- Uma bomba centrífuga alimentadora do sistema de flotação com vazão máxima

de 2,5m<sup>3</sup>/h;

	Mistura Rápida (coagulador hidráulico)	Mistura Lenta		
		Câmara 1	Câmara 2	Câmara 3
Volume (m <sup>3</sup> )	0,0033	0,149	0,234	0,466
TDH (s)	7	316	496	987
Gradiente (s <sup>-1</sup> )	2000	75	50	25
Nº de agitadores	-	3	2	1

Tabela1 - Dimensões e Parâmetros Básicos de Operação do Sistema de Coagulação/ Floculação.

O experimento na LAT foi subdividido em duas Etapas, caracterizado pelo TDH das lagoas, conforme apresentado na Tabela 2. Para avaliar o efeito do coagulante e floculante utilizado foram realizados testes de jarros para otimização de dosagens, efeito do pH, gradiente e tempo de mistura da floculação.

TDH (dias)	Período de Operação LAT	Volume (m <sup>3</sup> )	Vazão (m <sup>3</sup> /h)	A <sub>s</sub> (m <sup>2</sup> )	Taxa de aplicação superficial (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .d)
1,67	03/2012 a 05/2013 (Etapa I)	80	2,01 ± 0,2	8	0,32
4,1	03/2014 a 03/2015 (Etapa II)	80	0,80 ± 0,2	148	0,13

Tabela2 - Etapas de Operação dos Sistemas.

O tempo de coagulação foi mantido em 1 minuto e o tempo de floculação na faixa de 20 a 40 minutos, o tempo de sedimentação foi mantido constante no valor de 30 minutos.

Nesta Etapa foram testados um coagulante inorgânico; cloreto férrico e um floculante orgânicos Tanfloc SG (TANAC S.A).

Os testes de separação sólido/líquido, em escala piloto, foram realizados em triplicata para cada coagulante/floculante, sendo operado em bateladas de 4 horas, para maior confiabilidade do sistema. Durante uma hora e meia de operação não foi coletada amostra do efluente, devido ao TDH total do sistema de separação (uma hora e 10 minutos). Após este tempo foram realizadas coletas a cada 30 minutos de operação, compondo cinco amostras por teste. Após é realizada a mesclagem das cinco amostras é coletada uma amostra homogênea final do efluente para quantificação dos parâmetros físico-químicos. A biomassa flotada de microalgas é coletado em tempo integral e ao final coleta-se uma amostra homogeneizada do todo.

As análises foram baseadas no *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2003), exceto a análise de clorofila-a, baseada em (WETZEL; LIKENS, 2000) e a análise de lipídios, baseada em Parte superior do formulário (BLIGH;

DYER, 1959; RANJAN; PATIL; MOHOLKAR, 2010). A análise estatística dos dados foi feita utilizando os testes ANOVA e Tukey considerando a significância de 5 % ( $p=0,05$ ) com o *software Minitab 17*, 2014.

### 3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Caracterização do efluente

O efluente sanitário utilizado neste trabalho foi coletado a partir de uma bomba submersível localizada no tanque do efluente bruto (pós desarenação) da estação de tratamento de esgoto São João Navegante em Porto Alegre- RS, Brazil.

As características do efluente bruto (afluente ao reator UASB) e do efluente do reator UASB (afluente a LAT) são apresentadas pela Tabela 3.

O reator UASB foi utilizado como etapa de pré-tratamento do efluente sanitário, auxiliando na retenção de sólidos sedimentáveis, reduzindo o acúmulo de sólidos no fundo da LAT. Este apresentou grande importância também na quebra de aminoácidos, proteínas e outros, elevando a concentração de amônia no efluente (amonificação), o que possibilita maior disponibilidade para a conversão da amônia em nitrito e nitrato na LAT, facilitando a assimilação do nitrogênio pelas microalgas (BARROSO, 2015; LOURENÇO, 2009; REZENDE et al., 2003).

O reator UASB auxilia também na remoção de matéria orgânica facilmente biodegradável, reduzindo parâmetros como a DQO, DBO, sólidos totais e sólidos suspensos voláteis (MONTEGGIA, 1991).

Parâmetro*	Etapa I		Etapa II	
	Afluente	Efluente	Afluente	Efluente
<b>Alcalinidade</b>	189± 59 <sup>a</sup>	216 ± 31 <sup>b</sup>	195 ± 15 <sup>a</sup>	229 ± 22 <sup>b</sup>
<b>ST</b>	432 ± 183 <sup>a</sup>	323 ± 90 <sup>b</sup>	381 ± 56 <sup>a</sup>	325 ± 41 <sup>b</sup>
<b>SSV</b>	77,2 ± 28 <sup>a</sup>	24,1 ± 24 <sup>b</sup>	89,9 ± 39 <sup>a</sup>	30,7 ± 10 <sup>b</sup>
<b>DBO</b>	229 ± 65 <sup>a</sup>	130 ± 63 <sup>b</sup>	214 ± 93 <sup>a</sup>	147 ± 54 <sup>b</sup>
<b>DQO</b>	338 ± 161 <sup>a</sup>	246 ± 180 <sup>b</sup>	330 ± 217 <sup>a</sup>	126 ± 97 <sup>b</sup>
<b>COT</b>	-	-	71,9 ± 32 <sup>a</sup>	28,4 ± 5,8 <sup>b</sup>
<b>NTK</b>	43,1 ± 18 <sup>a</sup>	43 ± 5,2 <sup>a</sup>	40,3 ± 13 <sup>a</sup>	36,3 ± 6,6 <sup>a</sup>
<b>N-Amoniacal</b>	22,7 ± 9,1 <sup>a</sup>	26,7 ± 9,1 <sup>a</sup>	26,4 ± 11 <sup>a</sup>	32,3 ± 7,3 <sup>a</sup>
<b>Pt</b>	-	-	2,7 ± 1,4 <sup>a</sup>	2,63 ± 0,4 <sup>a</sup>
<b>Fosfato</b>	2,04 ± 1,1 <sup>a</sup>	2,72 ± 0,3 <sup>b</sup>	1,56 ± 0,6 <sup>a</sup>	2,47 ± 0,7 <sup>b</sup>

Tabela 3 - Caracterização do afluente e efluente do reator UASB.

\* valores expressos em mg/L. \*\*análise estatística com valor de  $p=0,05$ . Produção e caracterização da biomassa

### 3.2 Produção e caracterização da biomassa

A produção de biomassa de algas na LAT apresentou diferenças significativas para diferentes regimes de operação. A Tabela 4 apresenta resultados da produtividade de biomassa para as diferentes etapas. Na Etapa II há maior concentração de biomassa, porém durante a Etapa I a produtividade de biomassa é maior, levando-se em conta a produção por unidade de área e tempo.

	<b>Etapa I</b>	<b>Etapa II</b>
<b>Média (mg/L)</b>	90,7 ± 44 <sup>b</sup>	125 ± 68 <sup>a</sup>
<b>Máximo (mg/L)</b>	177	294,3
<b>Mínimo (mg/L)</b>	18,0	30,0
<b>Q (m<sup>3</sup>/h)</b>	2,0	0,8
<b>Biomassa (g/(m<sup>2</sup>.d))</b>	9,1 ± 4,4 <sup>a</sup>	5,0 ± 3,4 <sup>b</sup>

Tabela 4 - Valores médios da produtividade de biomassa para Etapa I e II.

A produção de microalgas pode ser obtida através da clorofila-*a*, já que esta consiste em elemento essencial das células de organismos fotossintetizantes. A Tabela 5 permite visualizar os valores de concentração na LAT.

	<b>Etapa I</b>	<b>Etapa II</b>
<b>Média (mg/L)</b>	1,02 ± 0,7	1,52 ± 1,1
<b>Máximo (mg/L)</b>	2,72	4,85
<b>Mínimo (mg/L)</b>	0,07	0,01

Tabela 5 - Valores médios de Clorofila-*a* para Etapa I e II.

A análise estatística comprovou que há diferença significativa entre os dados da concentração de clorofila-*a* para as Etapas I e II ( $p = 0,016$ ), sendo mais elevada durante a Etapa II.

	<b>Cloreto Férrico 40 mg/L</b>		<b>Tanfloc sg 50 mg/L</b>	
	<b>Remoção FAD</b>	<b>Remoção total</b>	<b>Remoção FAD</b>	<b>Remoção total</b>
<b>Sólidos Totais</b>	33,5 ± 5,2	33,3 ± 5,5	41,5 ± 6,6	40,8 ± 7,2
<b>Sólidos Suspensos Voláteis</b>	66,8 ± 11,0	74,0 ± 11,2	88,2 ± 4,3	90,6 ± 5,6
<b>Clorofila-<i>a</i></b>	52,5 ± 4,1%	-	91,2 ± 4,6%	-

Tabela 6 – Comparativo de remoção de biomassa para cada coagulante/floculante.

O desaguamento das microalgas ocorreu a partir da coagulação/floculação com posterior flotação, resultando em uma biomassa de microalgas adensada, utilizada para análises da biomassa. A Tabela 6 apresenta o coagulante e floculante utilizado seguido de sua dosagem e eficiência de remoção.

A Tabela 6 apresentam resultados que permitem concluir que o floculante Tanfloc sg é mais indicado para a remoção de microalgas cultivadas em LAT alimentadas com efluente sanitário por meio da FAD, já que este apresenta maior eficiência na remoção de sólidos suspensos totais e clorofila-a (fatores de medição direta de microalgas).

A utilização das microalgas como fonte de energia é baseada principalmente pelo teor de lipídios e/ou a produção de biogás através da digestão anaeróbia (BENEMANN; OSWALD, 1996; MEHRABADI; CRAGGS; FARID, 2015; PIENKOS, 2007).

O resultado da análise de lipídios das microalgas apresentaram teor de lipídios médio de  $7,0 \pm 0,3$  %, pesquisas menos recentes em condições controladas de temperatura, radiação e meio de cultura e obtiveram valores médios de 30 % (RODOLFI et al., 2009), considerando baixo o valor alcançado neste trabalho, porém pesquisas mais atuais, também em condições controladas, apresentam valores entre 11,6 % e 15,2 % (HO et al., 2013).

Os valores de lipídios obtidos neste trabalho são inferiores aos comparados com a bibliografia, porém neste projeto os custos de produção são inferiores aos demais comparados (cobertos pela estação de tratamento de efluentes).

### 3.3 Levantamento dos custos de produção

Os custos da produção de biomassa de algas em LAT pode ser dividido em duas partes; i) produção de microalgas; ii) desaguamento ou adensamento da biomassa; apresentados nas Tabelas 7 e 8. Neste trabalho não foi levado em consideração os custos de implementação dos sistemas físicos, já que este custo é igual para qualquer um dos coagulantes/floculantes testados.

	<b>Produção de microalgas</b>	<b>Desaguamento/Adensamento</b>
<b>Motor</b>	1 motor de 1 cv (0,96 KW)	1 motobomba helicoidal (0,8KW) 1 motobomba centrífuga (2,2 KW)
<b>Coagulante (39 % de pureza)</b>		R\$ 1,70/litro
<b>Floculante (25 % de pureza)</b>		R\$ 2,50/litro

Tabela 7 - Custos da produção e adensamento de microalgas.

Fonte: <http://www.eletronpaineis.com.br/downloads/26.pdf>

As dosagens ótimas de coagulante/floculante permite calcular o custo dos gastos com produtos químicos, como este é inserido por unidade de tempo adotou-se o custo por hora, apresentado na Tabela 9, o cálculo do custo energético foi realizado a partir das tarifas cobradas pela Agência Nacional de Energia Elétrica do Brasil (ANEEL).

A Tabela 8 apresenta os custos de funcionamento do sistema de separação sólido/líquido. A utilização do cloreto férrico gera menor custo ao sistema, quando

comparado ao Tanfloc sg, obtendo diferença no custo de R\$ 223/mês, considerado o funcionamento do sistema de desaguamento de 24 horas por dia e 30 dias por mês.

Processo	Custo Cloreto Férrico (R\$/(h·d))	Custo Tanfloc sg (R\$/(h·d))
<b>Produção de microalgas</b>	0,56	0,56
<b>Desaguamento (bombas)</b>	1,74	1,74
<b>Desaguamento (Produto químico)</b>	0,37	0,68
<b>Total (R\$/h)</b>	2,67	2,98
<b>Funcionamento de 30 dias por 6h/d</b>	480	536
<b>Funcionamento de 30 dias por 24h/d</b>	1922	2145

\*considerando o valor de 1 kwh = R\$ 0,58 (Fonte: CEEE, 2015).

Tabela 8 - Comparativo dos custos para os coagulantes/floculantes

O Tanfloc sg apresentou maior eficiência de remoção de biomassa como já visto por outros autores (LEE et al., 2012; YANG; QIAN; SHEN, 2004), porém com custo mais elevado. Entretanto, ao analisar o conjunto da eficiência com base nos custos é possível verificar que para a Etapa I o Tanfloc sg remove em média 19,4 g/(m<sup>3</sup>·h) a mais que o cloreto férrico e para Etapa II a diferença de remoção é ainda mais elevada em torno de 26,8 g/(m<sup>3</sup>·h).

Para que o cloreto férrico tenha a mesma remoção de biomassa apresentada pelo Tanfloc sg é necessário que o sistema alimentado com cloreto férrico opere por 0,32 h mais por hora de processo, desta forma o custo de funcionamento considerando 24 h por dia e 30 dias por mês que eram R\$ 1922/mês seria de R\$ 2537/mês. Porém como não há possibilidade do dia ter mais de 24 h, seria necessário construir outra planta de FAD para que o processo utilizando cloreto férrico remova a mesma quantidade de biomassa apresentada pelo Tanfloc sg.

Desta forma, analisando o custo para remoção da mesma quantidade de biomassa para os dois surfactantes testados tem-se o menor custo utilizando o Tanac sg, reduzindo o custo total em R\$ 392,00/mês.

Outro ponto forte do Tanac sg é ser um floculante orgânico, assim, junto como a biomassa de microalgas (orgânica) forma-se uma nova biomassa orgânica que pode ser utilizada como fonte energética e ao final do processo o resíduo sólido pode ser utilizado como matéria prima para a confecção de adubo, após o devido tratamento, caso necessário.

A biomassa quando utilizado o cloreto férrico deve ser estudada mais a fundo, pois esta terá elevada concentração de ferro na biomassa, neste aspecto a biomassa pode ser uma fonte de energia e após a utilização do potencial energético deve-se descartar devidamente o resíduo sólido, podendo gerar custos para este descarte.

Se for analisado o efluente líquido final do processo de desaguamento (coagulação-floculação-flotação), será necessário a correção do pH quando utilizado

cloreto férrico (pH final = 5,6), já para o caso do Tanac sg, além de remover mais sólidos da fase líquida, o pH não sofre elevadas alterações, estabelecendo-se na faixa do neutro (6,0 -8,0).

## 4 | CONCLUSÃO

O estudo mostrou que o cultivo controlado de microalgas em LAT alimentadas com efluente sanitário é atrativo e tem o potencial de produzir elevadas quantidades de biomassa energética. Obtendo produção de biomassa de algas por área mais elevada ao operar a LAT com menor TDH 2,2 dias quando comparado ao TDH de 4,1 dias.

Os tensoativos apresentaram desempenho elevado na remoção e adensamento de microalgas, as quais apresentam potencial energético para auxiliar na redução de custos de plantas de tratamento de efluentes sanitários e/ou industriais.

A porcentagem média de lipídios encontrada nas microalgas foi de  $7,0 \pm 0,3$  %, sendo atrativa, já que o custo de produção desta é baixo quando comparado com cultivos terrestres e cultivos sob condições controladas de microalgas.

A utilização do floculante Tanfloc sg apresentou maior eficiência de remoção da biomassa do meio líquido, apesar de apresenta maior custo, porém quando analisado o custo por remoção de biomassa este apresenta menor custo quando comparado com o cloreto férrico.

Para o tratamento de efluente verificou que há mais vantagens quando se utiliza o Tanac sg, pois este além de não modificar significativamente o pH do efluente final resulta em uma biomassa orgânica que pode ser incorporada na produção de adubo, após o tratamento caso seja necessário, já para o cloreto férrico a biomassa deve ser analisada e verificar quais as possíveis utilizações.

## REFERÊNCIAS

ØDEGAARD, H. **OPTIMISED PARTICLE SEPARATION IN THE PRIMARY STEP OF WASTEWATER TREATMENT.** Water Science and Technology, v. 37, p. 43–53, 1998.

AL-SHAMRANI, A. .; JAMES, A.; XIAO, H. **Separation of oil from water by dissolved air flotation. Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects**, v. 209, n. 1, p. 15–26, 2002a.

AL-SHAMRANI, A. A.; JAMES, A.; XIAO, H. **Destabilisation of oil-water emulsions and separation by dissolved air flotation.** Water Research, v. 36, n. 6, p. 1503–1512, 2002b.

APHA. **American Public Health Association, et al. Standard methods for the examination of water and wastewater.** 2. ed. [s.l.] American Public Health Association., 2003.

BARROSO, J. A. **PRODUÇÃO DE BIOMASSA DE ALGAS EM LAGOAS DE ALTA TAXA ALIMENTADAS COM ESGOTO SANITÁRIO COM POSTERIOR SEPARAÇÃO POR FLOTAÇÃO POR AR DISSOLVIDO.** Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental., 2015.

- BARROSO, J. A. et al. **Comparativo entre tensoativos orgânicos e inorgânicos em processo de flotação por ar dissolvido utilizando efluente de lagoa de alta taxa para cultivo de microalgas (LAT) alimentada com efluente sanitário.** Congresso FIEMA, 2016.
- BENEMANN, J. R. Overview : **Algae Oil to Biofuels (annotated presentation) Abstract – a short history of algae biofuels.** Fuel, n. 925, 2008.
- BENEMANN, J. R.; OSWALD, W. J. **Systems and Economic Analysis of Microalgae Ponds for Conversion of CO<sub>2</sub> to Biomass** Pittsburgh, PA Dept. of Energy Pittsburgh Energy technology Center, , 1996.
- BLIGH, E. G.; DYER, W. J. **A rapid method of total lipid extraction and purification.** Canadian Journal Biochemistry Physiological, v. 27, p. 911–917, 1959.
- CAI, T.; PARK, S. Y.; LI, Y. **Nutrient recovery from wastewater streams by microalgae: Status and prospects.** Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 19, p. 360–369, mar. 2013.
- CHISTI, Y. **Biodiesel from microalgae.** Biotechnology advances, v. 25, n. 3, p. 294–306, 2007.
- CHUM, H. L.; OVEREND, R. P. **Biomass and renewable fuels.** Fuel Processing Technology, v. 71, n. 1–3, p. 187–195, 2001.
- CRAGGS, R.; SUTHERLAND, D.; CAMPBELL, H. **Hectare-scale demonstration of high rate algal ponds for enhanced wastewater treatment and biofuel production.** Journal of Applied Phycology, v. 24, n. 3, p. 329–337, 2012.
- DONOHUE, T. J.; COGDELL, R. J. **Microorganisms and clean energy.** Nature Reviews Microbiology, v. 4, n. 11, p. 800, 2006.
- EDZWALD, J. K. **Principles and applications of dissolved air flotation.** Water Science Technologies, 1995.
- ENGLERT, A. H.; RODRIGUES, R. T.; RUBIO, J. **Dissolved air flotation (DAF) of fine quartz particles using an amine as collector.** International Journal of Mineral Processing, v. 90, n. 1–4, p. 27–34, 2009.
- GARCÍA, J. et al. **Long term diurnal variations in contaminant removal in high rate ponds treating urban wastewater.** Bioresource Technology, v. 97, n. 14, p. 1709–1715, 2006.
- GOUVEIA, L.; OLIVEIRA, A. C. **Microalgae as a raw material for biofuels production.** Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology, v. 36, n. 2, p. 269–274, fev. 2009.
- GREGOR, J. E.; NOKES, C. J.; FENTON, E. **Optimising natural organic matter removal from low turbidity waters by controlled pH adjustment of aluminium coagulation.** Water Research, v. 31, n. 12, p. 2949–2958, 1997.
- HO, S. H. et al. **Characterization and optimization of carbohydrate production from an indigenous microalga *Chlorella vulgaris* FSP-E.** Bioresource Technology, v. 135, p. 157–165, 2013.
- HOSNY, A. Y. **Separating oil from oil-water emulsions by electroflotation technique.** Separations Technology, v. 6, n. 1, p. 9–17, 1996.
- HU, Q.; SOMMERFELD, M. **Photobioreactors: Design Considerations for Sustainable High-Yield Algal Oil Production.** 2008 NREL-AFOSR Joint Workshop on Algal Oil for Jet Fuel Production, v. 85212, p. 1–15, 2008.

- KITCHENER, J. A.; GOCHIN, R. J. **The mechanism of dissolved air flotation for potabela water: basic analysis and a proposal.** *Water Research*, v. 15, n. 5, p. 585–590, 1981.
- LEE, K. E. et al. **Development, characterization and the application of hybrid materials in coagulation/flocculation of wastewater: A review.** *Chemical Engineering Journal*, v. 203, p. 370–386, 2012.
- LI, X. et al. **Separation of Oil from Wastewater by Air Flotation.** *Flotation Technology: Volume 12*, v. 17, n. 4, p. 85–119, 2007.
- LOURENÇO, S. DE O. **Las microalgas en Brasil.** *Research on microalgal cultivation to produce biofuels in Brazil.* 2009.
- MÁXIMO, V. A. **Tratamento Por Coagulação-Floculação Dos Lixiviados Do Aterro Sanitário Da Região Metropolitana De Florianópolis.** 2007.
- MEHRABADI, A.; CRAGGS, R.; FARID, M. M. **Wastewater treatment high rate algal ponds (WWT HRAP) for low-cost biofuel production.** *Bioresource Technology*, v. 184, p. 202–214, maio 2015.
- MOFFETT, J. W. **The Chemistry of High-Rate Water Treatment.** *American Water Works Association*, v. 59, n. 11, p. 1393–1412, 1968.
- MOLINA GRIMA, E. et al. **Recovery of microalgal biomass and metabolites: Process options and economics.** *Biotechnology Advances*, v. 20, n. 7–8, p. 491–515, 2003.
- MONTEGGIA, L. O. **The Use of Specific Methanogenic Activity for Controlling Anaerobic Reactors.** Ph.D. diss., University of Newcastle, 1991.
- PIENKOS, P. T. **The potential for biofuels from algae.** *Algae Biomass Summit*, 2007.
- PIENKOS, P. T.; DARZINS, A. **Perspective: Jatropha cultivation in southern India: Assessing farmers' experiences.** *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*, v. 6, n. 3, p. 246–256, 2009.
- PITTMAN, J. K.; DEAN, A. P.; OSUNDEKO, O. **The potential of sustainable algal biofuel production using wastewater resources.** *Bioresource Technology*, v. 102, n. 1, p. 17–25, 2011.
- RANJAN, A.; PATIL, C.; MOHOLKAR, V. S. **Mechanistic assessment of microalgal lipid extraction.** *Industrial and Engineering Chemistry Research*, v. 49, n. 6, p. 2979–2985, 2010.
- REZENDE, O. DE O. et al. **Importância da compreensão dos ciclos biogeoquímicos para o desenvolvimento sustentável.** *Ecologia*, p. 52, 2003.
- RODOLFI, L. et al. **Microalgae for oil: Strain selection, induction of lipid synthesis and outdoor mass cultivation in a low-cost photobioreactor.** *Biotechnology and Bioengineering*, v. 102, n. 1, p. 100–112, 2009.
- RODRIGUES, R. T. **Tratamento de águas oleosas de plataformas marítimas por flotação por gás dissolvido.** p. 101, 1999.
- ROEHRS, F. **Tratamento Físico - Químico de Lixiviado de Aterro Sanitário por Filtração Direta Ascendente FABIO ROEHRS Tratamento Físico - Químico de Lixiviado de Aterro Sanitário por Filtração Direta Ascendente.** 2007.
- SALIM, S. et al. **Harvesting of microalgae by bio-flocculation.** *Journal of Applied Phycology*, v. 23, n. 5, p. 849–855, 2011.

SANTOS, H. R. **Aplicação De Coagulantes No Afluente De Reator Anaeróbio De Leito Expandido Alimentado Com Esgoto Sanitário.** p. 166, 2001.

SUTHERLAND, D. L. et al. **Enhancing microalgal photosynthesis and productivity in wastewater treatment high rate algal ponds for biofuel production.** *Bioresource Technology*, v. 184, p. 222–229, 2015.

TAMPIER, M. **Microalgae Technologies and Processes for Biofuels/Bioenergy Production in British Columbia.** Current Technology, Suitability and Barriers to Implementation Prepared for The British Columbia Innovation Council, 2009.

TCHOBANOGLIOUS, G. et al. **Tratamento de Efluentes e Recuperação de Recursos.** 5ª edição ed. [s.l: s.n.].

TEIXEIRA, M. R.; ROSA, M. J. **Comparing dissolved air flotation and conventional sedimentation to remove cyanobacterial cells of *Microcystis aeruginosa*. Part II. The effect of water background organics.** *Separation and Purification Technology*, v. 53, n. 1, p. 126–134, 2007.

TEIXEIRA, M. R.; SOUSA, V.; ROSA, M. J. **Investigating dissolved air flotation performance with cyanobacterial cells and filaments.** *Water Research*, v. 44, n. 11, p. 3337–3344, 2010.

UDUMAN, N. et al. **Dewatering of microalgal cultures: A major bottleneck to algae-based fuels.** *Journal of Renewable and Sustainable Energy*, v. 2, n. 1, 2010.

VANDAMME, D.; FOUBERT, I.; MUYLAERT, K. **Flocculation as a low-cost method for harvesting microalgae for bulk biomass production.** *Trends in Biotechnology*, v. 31, n. 4, p. 233–239, 2013.

WETZEL, R. G.; LIKENS, G. E. **Limnological analysis.** 357. ed. Philadelphia: WB Saunders Co., 2000.

YANG, W. Y.; QIAN, J. W.; SHEN, Z. Q. **A novel flocculant of Al(OH)<sub>3</sub>-polyacrylamide ionic hybrid.** *Journal of Colloid and Interface Science*, v. 273, n. 2, p. 400–405, 2004.

ZOUBOULIS, A. I.; AVRANAS, A. **Treatment of oil-in-water emulsions by coagulation and dissolved-air flotation.** *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, v. 172, n. 1–3, p. 153–161, 2000.

## **SOBRE O ORGANIZADOR**

**Alan Mario Zuffo** - Engenheiro Agrônomo (Universidade do Estado de Mato Grosso – UNEMAT/2010), Mestre em Agronomia – Produção Vegetal (Universidade Federal do Piauí – UFPI/2013), Doutor em Agronomia – Produção Vegetal (Universidade Federal de Lavras – UFLA/2016). Atualmente, é professor visitante na Universidade Federal do Mato Grosso do Sul – UFMS no Campus Chapadão do Sul. Tem experiência na área de Agronomia – Agricultura, com ênfase em fisiologia das plantas cultivadas e manejo da fertilidade do solo, atuando principalmente nas culturas de soja, milho, feijão, arroz, milheto, sorgo, plantas de cobertura e integração lavoura pecuária. E-mail para contato: alan\_zuffo@hotmail.com

Agência Brasileira do ISBN  
ISBN 978-85-7247-251-7



9 788572 472517