

# Engenharia Sanitária e Ambiental: Tecnologias para a Sustentabilidade 2

---

**Alan Mario Zuffo**  
(Organizador)



Alan Mario Zuffo

(Organizador)

# Engenharia Sanitária e Ambiental: Tecnologias para a Sustentabilidade 2

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 2 / Organizador Alan Mario Zuffo. – Ponta Grossa (PR): Atena Editora, 2019. – (Engenharia Sanitária e Ambiental; v. 2)

Formato: PDF

Requisitos do sistema: Adobe Acrobat Reader.

Inclui bibliografia

ISBN 978-85-7247-250-0

DOI 10.22533/at.ed.500191104

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 II 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>
A INFLUÊNCIA DAS ANOMALIAS DE TEMPERATURA DA SUPERFÍCIE DO MAR SOBRE A PRECIPITAÇÃO DO NORDESTE DO BRASIL	
Luanny Gabriele Cunha Ferreira Alexandre Kemenes	
<b>DOI 10.22533/at.ed.5001911041</b>	
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	<b>9</b>
ADSORÇÃO DE CORANTES TÊXTEIS UTILIZANDO A CASCA DA CASTANHA DO PARÁ	
Jordana Georjin Letícia de Fátima Cabral de Miranda Paola Rosiane Teixeira Hernandes Daniel Allasia Guilherme Luiz Dotto	
<b>DOI 10.22533/at.ed.5001911042</b>	
<b>CAPÍTULO 3</b> .....	<b>16</b>
AGRICULTURA: UMA ALTERNATIVA PARA O USO DO LODO GERADO NA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE EFLUENTE IBEROSTAR NA REGIÃO METROPOLITANA DE SALVADOR-BA	
Iolanda de Almeida Bispo Sheila dos Santos Almeida Selma Souza Alves	
<b>DOI 10.22533/at.ed.5001911043</b>	
<b>CAPÍTULO 4</b> .....	<b>32</b>
ANÁLISE DA DEGRADAÇÃO DOS MANGUEZAIS NA CAPITAL SERGIPANA	
Fabrícia Vieira Vanessa Guirra Almeida Paulo Sérgio de Rezende Nascimento	
<b>DOI 10.22533/at.ed.5001911044</b>	
<b>CAPÍTULO 5</b> .....	<b>38</b>
ANÁLISE DO DESCARTE INADEQUADO DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL E DEMOLIÇÃO EM TERRENOS BALDIOS NO MUNICÍPIO DE ALAGOINHAS - BA	
Crislane Santos Nascimento Amanda Pereira Bispo Rêgo Crisliane Aparecida Pereira dos Santos David Brito Santos Junior Hebert França Oliveira Leidiane de Jesus Santana Renato Santos da Silva	
<b>DOI 10.22533/at.ed.5001911045</b>	
<b>CAPÍTULO 6</b> .....	<b>45</b>
ANÁLISE DO SANEAMENTO BÁSICO NO CONJUNTO COHAB EM ICOARACI NO MUNICÍPIO DE BELÉM-PA	
Lucas Cortinhas Cardoso Ferreira Helenice Quadros de Menezes	
<b>DOI 10.22533/at.ed.5001911046</b>	

<b>CAPÍTULO 7</b> .....	<b>53</b>
ANÁLISE E MAPEAMENTO DE REGIÕES DE DESPEJO DE EFLUENTES NO RIO POXIM POR MÉTODOS DE GEOPROCESSAMENTO NA CAPITAL SERGIPANA	
José Alves Bezerra Neto	
Nicole Príncipe Carneiro da Silva	
Paulo Sérgio de Rezende Nascimento	
<b>DOI 10.22533/at.ed.5001911047</b>	
<b>CAPÍTULO 8</b> .....	<b>61</b>
APA DA FAZENDINHA: CONSCIENTIZAÇÃO DOS PROBLEMAS AMBIENTAIS LOCAIS POR PARTE DOS MORADORES ENTRE OS ANOS DE 2013 A 2015	
Pedro Ribeiro da Silva Neto	
Tatiana Santos Saraiva	
Bruno Alves Lima Porto	
<b>DOI 10.22533/at.ed.5001911048</b>	
<b>CAPÍTULO 9</b> .....	<b>66</b>
ARMAZENAMENTO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS EM AQUÍFEROS DO AGRESTE SERGIPANO: ANÁLISE QUALI-QUANTITATIVA DAS POTENCIALIDADES HÍDROGEOLÓGICAS POR TÉCNICAS DE SENSORIAMENTO REMOTO	
Nicole Príncipe Carneiro da Silva	
Ana Karolyne Fontes Andrade	
Paulo Sérgio de Rezende Nascimento	
<b>DOI 10.22533/at.ed.5001911049</b>	
<b>CAPÍTULO 10</b> .....	<b>75</b>
AVALIAÇÃO DA ATIVIDADE ANTIOXIDANTE DO EXTRATO DE <i>Euphorbia tirucalli</i> Linneau NA PRODUÇÃO DO BIODIESEL DE SOJA	
William Frederick Schwanz Kiefer	
Yvanna Carla de Souza Salgado	
José Osmar Castagnolli Junior	
Maria Elena Payret Arrua	
Sandra Regina Masetto Antunes	
<b>DOI 10.22533/at.ed.50019110410</b>	
<b>CAPÍTULO 11</b> .....	<b>91</b>
AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DA ELETRODIÁLISE NO TRATAMENTO DE EFLUENTES DO SETOR DE GEMAS	
Maria de Lourdes Martins Magalhães	
Simone Stülp	
Eduardo Miranda Ethur	
Verônica Radaelli Machado	
<b>DOI 10.22533/at.ed.50019110411</b>	
<b>CAPÍTULO 12</b> .....	<b>102</b>
AVALIAÇÃO DA MATÉRIA ORGÂNICA E COMPOSTOS NITROGENADOS EM <i>WETLANDS</i> COMO ALTERNATIVA NO PÓS-TRATAMENTO DE ESGOTO DOMÉSTICO	
Isadora Godoy Brandão	
Beatriz Santos Machado	
Juliane Gonçalves da Silva	
<b>DOI 10.22533/at.ed.50019110412</b>	

**CAPÍTULO 13 ..... 112**

AVALIAÇÃO DA REDUÇÃO FOTOCATALÍTICA DE  $HgCl_2$ , EM FASE AQUOSA, POR ZNO E  $TiO_2$  COMERCIAIS ATIVADOS POR RADIAÇÃO ARTIFICIAL OU SOLAR

Ana Letícia Silva Coelho  
Giane Gonçalves Lenzi  
Luiz Mário de Matos Jorge  
Onélia Aparecida Andreo dos Santos

**DOI 10.22533/at.ed.50019110413**

**CAPÍTULO 14 ..... 119**

AVALIAÇÃO DE ASPECTOS E IMPACTOS AMBIENTAIS EM ÁREAS DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE NA AVENIDA LITORÂNEA, SÃO LUÍS/MA

Karla Bianca Novaes Ribeiro  
Karine Silva Araujo  
James Werllen de Jesus Azevedo

**DOI 10.22533/at.ed.50019110414**

**CAPÍTULO 15 ..... 127**

AVALIAÇÃO DE IMPACTOS AMBIENTAIS EM UMA USINA DE ASFALTO LOCALIZADO NO MUNICÍPIO DE RECIFE-PE

Júlio César Pinheiro Santos

**DOI 10.22533/at.ed.50019110415**

**CAPÍTULO 16 ..... 134**

AVALIAÇÃO DE IMPACTOS AMBIENTAIS: UM ESTUDO DE CASO NO AÇUDE GRAVATÁ, MUNICÍPIO DE SERRINHA-BA

Gilberto Ferreira da Silva Neto  
Maria Auxiliadora Freitas dos Santos  
Jackeline Lisboa Araújo Santos  
Marcio Ricardo Oliveira dos Santos  
Istefany Oliveira de Santana Lima

**DOI 10.22533/at.ed.50019110416**

**CAPÍTULO 17 ..... 142**

AVALIAÇÃO DO PADRÃO COMERCIAL DA GÉRBERA ESSANDRE SOB APLICAÇÃO DE EFLUENTE DE LAGOA DE ESTABILIZAÇÃO

Pedro Henrique Máximo de Souza Carvalho  
João Vitor Máximo de Souza Carvalho

**DOI 10.22533/at.ed.50019110417**

**CAPÍTULO 18 ..... 148**

BACIA DE EVAPOTRANSPIRAÇÃO: UMA ALTERNATIVA VIÁVEL PARA TRATAMENTO DE EFLUENTES EM ZONAS RURAIS

Heitor Soares Machado  
Saulo Paulino Salgado  
Luiz Gomes Ferreira Junior  
Andréia Boechat Delatorre  
Bárbara Diniz Lima  
Antônio Delfino de Jesus Junior  
Wellington Pacheco David

**DOI 10.22533/at.ed.50019110418**

<b>CAPÍTULO 19</b> .....	<b>163</b>
BALNEABILIDADE DA PRAIA DE ONDINA_ UM ESTUDO SOBRE A INFLUÊNCIA DA PRECIPITAÇÃO E A RELAÇÃO COM O SANEAMENTO BÁSICO	
Luciano da Silva Alves	
Laís Lage dos Santos	
Catiana da Silva Alves	
Ivo Cruz Teixeira	
<b>DOI 10.22533/at.ed.50019110419</b>	
<b>CAPÍTULO 20</b> .....	<b>172</b>
BARREIRAS DE PROTEÇÃO EM SISTEMAS DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO – UMA EXPERIÊNCIA NA DIRETORIA DE OPERAÇÃO DO INTERIOR DA EMBASA	
João Marcelo Gonçalves Coelho	
Itaiara Sá Marques	
Ricardo de Macedo Lula Silva	
Alex Oliveira Cruz	
Márcio Santana Rocha de Souza	
<b>DOI 10.22533/at.ed.50019110420</b>	
<b>CAPÍTULO 21</b> .....	<b>182</b>
BIODEGRADABILIDADE ANAERÓBIA DE EFLUENTES DA AGROINDÚSTRIA ACEROLEIRA	
Nayara Evelyn Guedes Montefusco	
Andreza Carla Lopes André	
Patrícia da Silva Barbosa	
Ruanna Souza Matos	
Miriam Cleide Cavalcante de Amorim	
<b>DOI 10.22533/at.ed.50019110421</b>	
<b>CAPÍTULO 22</b> .....	<b>194</b>
BIOENSAIOS DE TOXICIDADE AGUDA COM SEMENTES DE <i>Lactuca sativa</i> UTILIZANDO O SULFATO FERROSO	
Geórgia Peixoto Bechara Mothé	
Camila de Miranda Pereira Corrêa	
Glacielen Ribeiro de Souza	
Jader José dos Santos	
Ruann Carlos Marques Rodrigues da Silva	
Aline Chaves Intorne	
<b>DOI 10.22533/at.ed.50019110422</b>	
<b>SOBRE O ORGANIZADOR</b> .....	<b>200</b>



## AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DA ELETRODIÁLISE NO TRATAMENTO DE EFLUENTES DO SETOR DE GEMAS

**Maria de Lourdes Martins Magalhães**  
**Simone Stülp**  
**Eduardo Miranda Ethur**  
**Verônica Radaelli Machado**

**RESUMO:** O processo de tingimento de ágatas gera consideráveis quantidades de águas residuais potencialmente prejudiciais ao meio ambiente, tais como efluente com íons metálicos, entre eles nitrato e ferro. O objetivo do presente estudo foi investigar a eficiência técnica de eletrodiálise na remoção de íons contaminantes presentes no efluente produzido pela indústria de tingimento ágata com base em parâmetros como a corrente limite e a cronopotenciometria. O ensaio de corrente limite utilizou uma solução de  $\text{KNO}_3$   $0,1 \text{ mol L}^{-1}$  e o cronopotenciométrico, uma solução de  $\text{Fe}(\text{NO}_3)_2$   $0,025 \text{ mol L}^{-1}$ . Os ensaios foram realizados de modo estático em uma célula de acrílico com 3 compartimentos separados por membranas íon seletivas com o auxílio de dois eletrodos de Ag/AgCl imersos em capilares de Luggin, um ânodo de  $70\text{TiO}_2/30\text{RuO}_2$  DSA® e uma placa de titânio como cátodo. Os resultados apontaram uma corrente limite de  $0,17 \text{ A}$  para o processo, além da remoção de  $401,30 \text{ mg L}^{-1}$  do nitrogênio total e  $1.107,0 \text{ mg L}^{-1}$  de ferro. Dessa forma, conclui-se que a eletrodiálise é uma técnica eficaz no tratamento de efluentes contendo íons

metálicos e ainda propõe-se a possibilidade do reúso dos íons, em um subsequente processo de tingimento de ágatas.

**PALAVRAS-CHAVE:** Corrente limite. Eletrodiálise. Tecnologias limpas. Tratamento de efluentes.

**ABSTRACT:** The agate dyeing process employs significant quantities of potentially harmful waste water to the environment, such as effluent with metal ions, including nitrate and iron. The aim of this study was to investigate the electro dialysis technique efficiency in the removal of contaminant ions present in the wastewater produced by the agate dyeing industry based on parameters such as current limit and chronopotentiometry. The current limit experiments utilized  $\text{KNO}_3$   $0.1 \text{ mol L}^{-1}$  and chronopotentiometry a solution of  $\text{Fe}(\text{NO}_3)_2$   $0.025 \text{ mol L}^{-1}$ . The experiments were performed statically in acrylic cell three compartments separated by ion selective membranes and fitted with two Ag / AgCl electrodes immersed in a Luggin capillary, a  $70\text{TiO}_2/30\text{RuO}_2$  DSA® anode and a titanium plate as cathode. The results showed a current limit of  $0.17 \text{ A}$  for the process, and the removal of  $401.30 \text{ mg L}^{-1}$  of total nitrogen and  $1107.0 \text{ mg L}^{-1}$  iron. Thus, it is concluded that the electro dialysis is an effective method for treating effluents containing metal ions and also proposes the possibility of reuse of ions in a subsequent agate dyeing process.

## 1 | INTRODUÇÃO

Em termos mundiais, o Brasil destaca-se pela variedade de gemas encontradas e extraídas em seu território. O estado do Rio Grande do Sul apresenta uma das maiores províncias gemológicas do país, além de concentrar um elevado número de indústrias de processamento com empresas que atuam no setor de beneficiamento de gemas, como por exemplo a ágata, que pode ser utilizada em sua forma natural ou alterada, na maioria das vezes, por processos de tingimento que envolvem tratamentos térmicos e empregam corantes orgânicos sintéticos tais como cristal violeta e rodamina-B, além de soluções contendo nitrato, cianeto ou amônio e complexos de cromo ou ferro com consequente obtenção de colorações como rosa, roxa, verde e vermelha.

Os processos de tingimento têm gerado relevantes volumes de efluentes líquidos caracterizados por colorações acentuadas, concentrações elevadas de vários íons metálicos (PADILHA et al., 2009) além de alta carga orgânica, o que define esses corantes como potenciais contaminantes, tendo como consequências, a geração de um passivo ambiental.

As técnicas convencionais de tratamento dos efluentes, além de utilizarem grandes quantidades de produtos químicos, podem originar um grande volume de resíduos com uma determinada toxicidade. Atualmente, há um crescente interesse em processos alternativos de tratamento dos efluentes que gerem o mínimo de agressão ao meio ambiente e sejam economicamente viáveis. A possibilidade do reúso da água a partir desses processos também vem sendo tratada com relevância.

Estudos avançados no tratamento de efluentes dos tingimentos de gemas têm sido realizados a partir de processos fotocatalíticos e de adsorção no caso da remoção da rodamina-B, métodos fotocatalíticos e de biossorção para a degradação do cristal violeta além dos métodos de oxidação química e por Fenton, que visam a remoção dos componentes orgânicos, embora ainda haja a necessidade de técnicas que permitam a remoção dos íons metálicos presentes nesses efluentes. Os processos eletroquímicos que utilizam membranas têm conquistado um espaço significativo no que diz respeito ao tratamento de efluentes contendo íons metálicos.

A eletrodialise (ED) é uma técnica eletroquímica alternativa que vem sendo empregada na dessalinização da água e no tratamento de águas residuais para a remoção de íons (BOSKO et al., 2014), na qual espécies iônicas em solução são transportadas para diferentes compartimentos de uma célula através de membranas íon seletivas, aniônica e catiônica, por ação de um campo elétrico (BRETT e BRETT, 2005), apresenta vantagens quando comparada aos processos tradicionais (STRATHMANN, 2004), já que funciona de forma contínua, não requer mudança de fases, não demanda adição de reagentes químicos, além de minimizar a geração de

resíduos contaminantes e impactos ambientais. Dessa forma, a ED desponta como uma tecnologia limpa e expressa a possibilidade de reúso da água e dos íons presentes inicialmente no efluente.

Um fator essencial para a aquisição de um fluxo máximo de íons por unidade de área da membrana e garantia da eficiência do processo é a aplicação de consideráveis valores de densidades de correntes na técnica da ED. A corrente elétrica é transportada por apenas um íon, cátion ou ânion, na membrana, fator que depende da seletividade iônica da membrana, enquanto que na solução tanto cátions quanto ânions realizam o referido transporte. Dessa forma, a corrente aplicada interfere diretamente na capacidade de extração da operação de ED (STRATHMANN, 2004).

Neste sentido, o objetivo do presente trabalho é avaliar a eficiência da técnica de ED na extração de íons presentes em efluentes gerados pelo tingimento de ágatas em célula de 3 compartimentos através da determinação da corrente máxima utilizada, de maior eficiência para o processo.

## 2 | MATERIAL E MÉTODOS

Os ensaios foram realizados em células eletroquímicas de acrílico com 3 compartimentos, separados por membranas Selemion® AMV e CMV, aniônica e catiônica respectivamente. Os eletrodos utilizados eram de  $70\text{TiO}_2/30\text{RuO}_2$  DSA® como ânodo e titânio De Nora como cátodo. A fonte de corrente constante era ICEL PS-7000 (0-35 V, 0-3 A). Os ensaios foram desenvolvidos à temperatura ambiente, sem agitação e em triplicata.

### 2.1 Determinação da corrente limite do processo

A célula eletroquímica utilizada apresentava capacidade de 200 mL por compartimentos que foram preenchidos com uma solução de  $\text{KNO}_3$   $0,1 \text{ mol L}^{-1}$  e a área efetiva das membranas era de  $8,90 \text{ cm}^2$ . Os ensaios foram desenvolvidos com o auxílio de quatro eletrodos, sendo dois eletrodos com área de imersa de  $12,5 \text{ cm}^2$  e os outros dois, de referência de Ag/AgCl imersos em capilares de Luggin, dispostos próximos à superfície da membrana catiônica. Incrementos sucessivos de corrente elétrica foram realizados em intervalos de 2 minutos com registro da corrente aplicada e potencial do sistema na membrana, com o auxílio de um multímetro MINIPA-ET-2081.

A eficiência da corrente foi avaliada através da construção de curvas de polarização, que relacionam a densidade de corrente aplicada ( $j$ ) com o potencial da membrana obtido ( $E$ ), além de curvas  $E$   $i^{-1}$  versus  $i^{-1}$ , de acordo com Cowan e Brown (1959).

## 2.2 Ensaios cronopotenciométricos

Nos experimentos, foi utilizada uma célula com volume de 50 mL em cada compartimento. A área efetiva das membranas era de 0,785 cm<sup>2</sup>. Os compartimentos foram preenchidos com uma solução de Fe(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> 0,025 mol L<sup>-1</sup>. Os ensaios foram desenvolvidos com o auxílio de quatro eletrodos, sendo dois eletrodos de referência de Ag/AgCl imersos em capilares de Luggin, dispostos próximos à superfície da membrana catiônica. Os ensaios foram desenvolvidos com o auxílio de quatro eletrodos, sendo dois eletrodos com área de imersão de 10,0 cm<sup>2</sup> e os outros dois, de referência de Ag/AgCl imersos em capilares de Luggin, dispostos próximos à superfície da membrana catiônica. Um potenciostato/galvanostato Autolab/PGSTAT 128N da Autolab/ Eco Chemie foi utilizado, acoplado a um microcomputador e foi aplicado um pulso de corrente entre os dois eletrodos, dispostos nas extremidades da célula. A resposta da queda de potencial para cada pulso de corrente foi registrada durante 120 segundos.

## 2.3 Tratamento do efluente pela técnica de ED

Um efluente real proveniente de indústria de beneficiamento de gemas localizada no RS foi utilizado nos ensaios, constituído de soluções de lavagem provenientes do pós-tingimento azul, verde e vermelho de ágatas, que contém ferrocianeto de potássio, ácido crômico, cloreto de amônio, ácido nítrico, perclorato de ferro II e sucata de ferro. A corrente elétrica aplicada no sistema de ED foi de 2,20 A, com base nos estudos prévios de corrente limite, e o potencial de célula foi de 30 V.

A célula de eletrodialise apresentava capacidade de 6 L e o sistema foi operado em modo estático. As membranas apresentavam área efetiva de 63,61 cm<sup>2</sup> e os eletrodos, área de imersão de 189 cm<sup>2</sup>. No compartimento central foi inserido o efluente a ser tratado e nos compartimentos laterais, uma solução de Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,2 mol L<sup>-1</sup>. As medidas do potencial foram executadas com o auxílio de um multímetro MINIPA-ET-2081. O tempo de tratamento aplicado ao efluente foi em um período de 10 horas. As medidas de pH e condutividade foram feitas *in situ*, sendo que o pHmetro utilizado foi o 827 pH Lab da Metrohm e o condutivímetro 856 Conductivity Module da Metrohm. As análises realizadas foram o nitrogênio total (NT) pelo TNM-1 da Shimadzu, carbono orgânico total (COT) pelo TOCM-1 da Shimadzu, e espectrometria de absorção atômica de ferro pelo Analyst 100 da PerkinElmer.

O cálculo da extração percentual foi realizado através da equação 1 descrita por Jamaluddin et al. (1995).

$$E\% = \frac{C_i^0 - C_i^t}{C_i^0} \times 100 \quad (1)$$

Onde,  $\alpha$  é a extração percentual,  $C_0$  é a concentração de íons na solução diluída no início do experimento e  $C_t$  é a concentração de íons na solução diluída no instante do experimento.

### 3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Determinação da corrente limite

As correntes limites foram determinadas para a solução de  $\text{KNO}_3$   $0,1 \text{ mol. L}^{-1}$ , de acordo com o método de Cowan e Brown (1959), baseado na relação entre o potencial total da célula e a corrente aplicada. As Figuras 1 e 2 apresentam, respectivamente, a curva corrente-potencial e a curva  $E - i^{-1}$  versus  $i^{-1}$  para a solução de  $\text{KNO}_3$ .

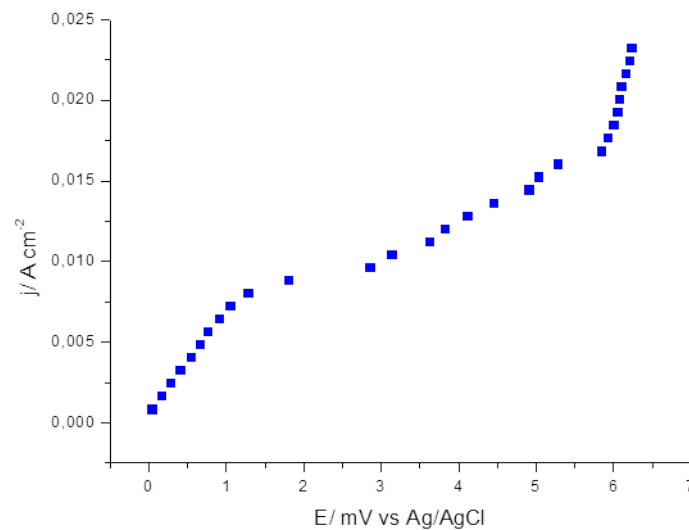


Figura 1 - Curva corrente-potencial para a solução de  $\text{KNO}_3$   $0,1 \text{ mol L}^{-1}$

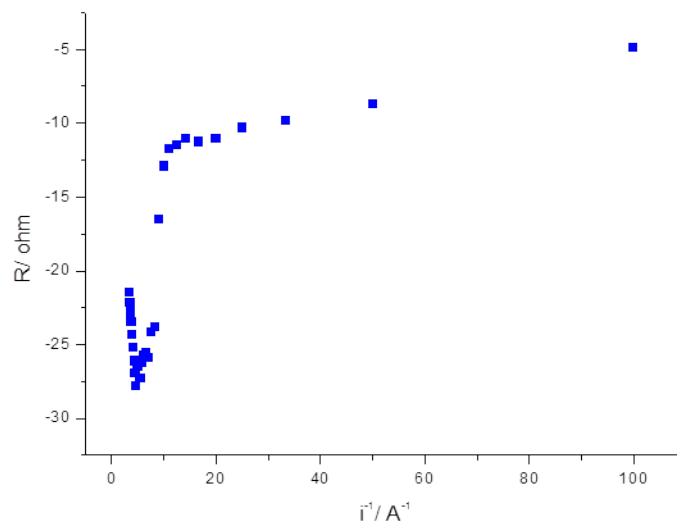


Figura 2 - Curva R versus  $i^{-1}$  para a solução de  $\text{KNO}_3$  0,1 mol  $\text{L}^{-1}$

A curva corrente-potencial apresenta um resultado típico com três regiões bem definidas, onde a primeira região é característica de correntes baixas com um comportamento ôhmico do sistema solução/membrana observado pela relação linear entre a densidade de corrente e potencial, no qual a resistência do sistema pode ser atribuída ao equilíbrio no transporte iônico entre a membrana e a solução. A segunda região se configura por uma região de difusão com uma diferença na inclinação da curva, causado por um acréscimo na resistência da membrana e valores da densidade de corrente limite. Já na terceira região, ocorre um incremento na densidade de corrente, superando o limite da corrente e o transporte dos íons é reforçado por ligeiros incrementos do potencial, possivelmente pela condução da corrente pelas espécies  $\text{H}^+$  e  $\text{OH}^-$  da dissociação da água ou pelo fenômeno de convecção (MISHCHUK, 1998).

Através dos ensaios, foi possível determinar a corrente limite para o sistema contendo a solução de  $\text{KNO}_3$  0,1 mol  $\text{L}^{-1}$ , obtendo-se um valor de 0,17 A, com uma densidade de corrente igual a 13,6 mA  $\text{cm}^{-2}$ . Segundo Strathmann<sup>4</sup>, para ser eficaz, a técnica da eletrodialise deve ser operada com densidades de corrente inferiores à corrente limite, nesse caso com correntes inferiores 0,17 A e, por isso, foi utilizado o valor de 0,15 A nos ensaios subsequentes.

Para avaliar a eficiência da corrente utilizada, foi realizado um ensaio de eletrodialise com a solução de  $\text{KNO}_3$ . A eficiência foi avaliada em duas condições diferenciadas: no valor determinado a partir da obtenção da corrente limite (0,15 A) e em um valor acima do limite de corrente (0,70 A). Os ensaios de extração em termos do Nitrogênio Total (NT) no compartimento central da célula forneceram dados para a análise do desempenho da técnica de ED. A Tabela 1 apresenta os resultados nas duas condições avaliadas.

Tempo (min)	NT (mg $\text{L}^{-1}$ )	
	Medidas no valor da corrente limite (0,15 A)	Medidas acima do valor da corrente limite (0,70 A)
0	92,2	92,2
30	45,9	86,9
60	32,3	78,8

Tabela 1 - Resultados do NT antes e após o tratamento por ED

A partir desses dados, foi possível realizar o cálculo da extração percentual através da equação 1 e observar que houve uma redução de 14,5% no teor de nitrogênio com aplicação de uma corrente de 0,70 A, ou seja, bem acima do valor da corrente limite do sistema. Já com o valor da corrente limite (0,15 A) houve um incremento na eficiência do processo, com uma extração de 65% no teor de nitrogênio. Esse fato confirma a

importância da determinação da corrente limite do processo.

### 3.2 Ensaios cronopotenciométricos

As curvas cronopotenciométricas da solução de  $\text{Fe}(\text{NO}_3)_2$   $0,025 \text{ mol L}^{-1}$  (Figura 3) foram construídas a partir da variação do potencial da membrana íon seletiva em função do tempo para uma determinada densidade de corrente aplicada. Os dados obtidos foram empregados na obtenção de informações sobre o transporte dos íons através da membrana.

Com a aplicação de um pulso de corrente, houve um incremento no potencial ocasionado pela diminuição significativa da concentração dos contra-íons na superfície da membrana em relação à concentração da solução no compartimento. Assim, o ponto de inflexão para cada pulso de corrente é conhecido como tempo de transição, e a densidade de corrente limite do sistema foi alcançada.

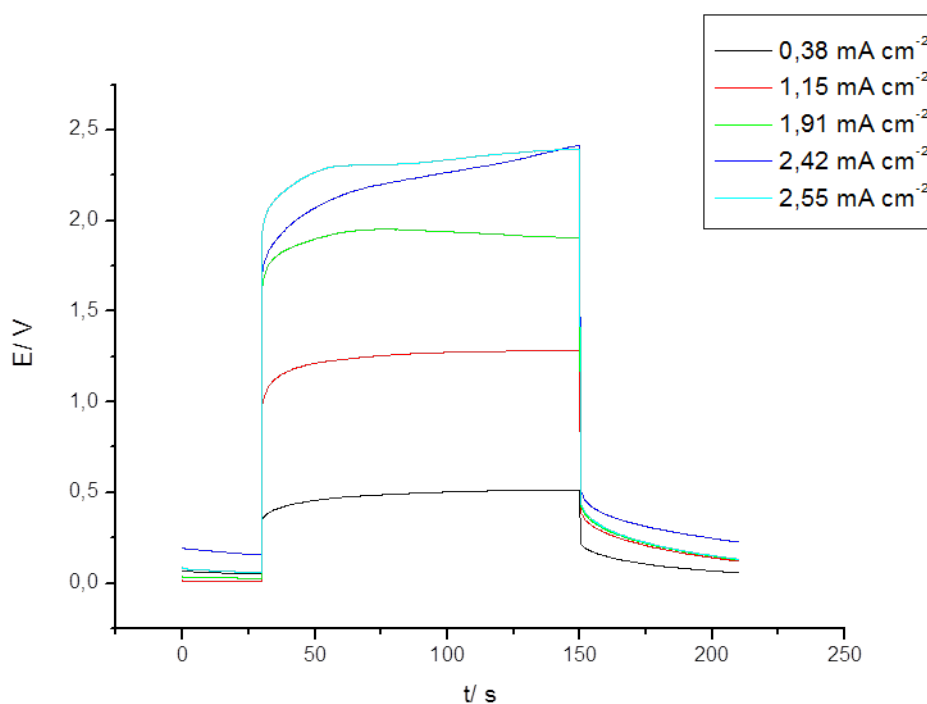


Figura 3 - Cronopotenciograma para a solução de  $\text{Fe}(\text{NO}_3)_2$   $0,025 \text{ mol L}^{-1}$

As curvas cronopotenciométricas da solução de  $\text{Fe}(\text{NO}_3)_2$  apresentam um comportamento que corresponde a um padrão ôhmico (PISMENSKAIA, 1998), ou seja, há um incremento rápido no potencial, associado à resistência ôhmica do conjunto solução/membrana. Em valores baixos de densidade de corrente ( $0,38$  e  $1,15 \text{ mA cm}^{-2}$ ) não há um aumento significativo no potencial durante o tempo de aplicação do pulso e em tempos maiores que , o potencial permanece praticamente constante até o fim do pulso. Já em valores próximos a corrente limite, surge um incremento no potencial devido a uma diminuição na concentração de íons ferro no compartimento central que pode ser interpretado como um aumento na resistência da membrana devido a

precipitados formados na sua superfície.

De acordo com estudos realizados (CHEKIOUA e DELIMI, 2015), a formação dos precipitados pode ser originada em função de variações locais do pH, como por exemplo, na interface membrana/solução pela ocorrência da dissociação da água em íons  $H^+$  e  $OH^-$ , o que leva ao aumento do pH na superfície da membrana e possível formação de hidróxidos de ferro.

### 3.3 Tratamento do efluente pela técnica de ED

Antes do tratamento ser iniciado, foram realizadas medidas de pH, condutividade, carbono orgânico total (COT) e nitrogênio total (NT) do efluente bruto. A Figura 4 apresenta a célula de eletrodialise pós tratamento.

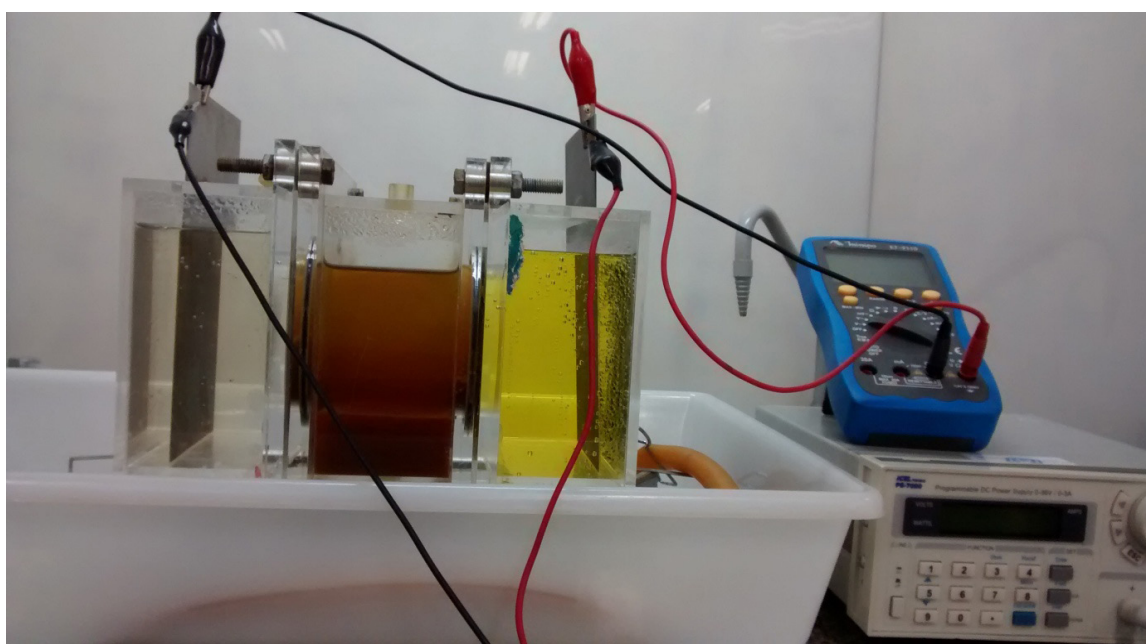


Figura 4 - Célula utilizada no tratamento de ED

A corrente aplicada no sistema de ED foi escolhida com base na determinação da corrente limite da solução de  $KNO_3$   $0,1 \text{ mol L}^{-1}$ . A Tabela 2 apresenta os resultados do tratamento referentes ao pH, condutividade, COT e NT em um tempo total de 10 horas, referentes ao compartimento central da célula de eletrodialise.

Tempo (horas)	pH	Condutividade ( $\text{mS cm}^{-1}$ )	COT ( $\text{mg L}^{-1}$ )	NT ( $\text{mg L}^{-1}$ )
0	1,7	3,1	129,3	462,6
1	1,8	1,9	32,9	466,3
2	1,9	1,9	40,8	195,4
3	2,0	1,7	30,6	167,5
5	2,2	1,3	55,1	98,7
6	2,2	1,3	41,4	106,3
7	2,3	1,1	64,4	66,7



Tabela 2 - Características do efluente durante o tratamento por ED

De acordo com os resultados obtidos é possível observar que houve um aumento no pH do efluente, embora inexpressivo, já que o mesmo ainda se encontra em uma faixa de alta acidez. O aumento ocorre em função das reações que ocorrem nos compartimentos (QUIN, 2004), formação de íons hidroxila ( $\text{OH}^-$ ) no compartimento catódico e de íons  $\text{H}^+$  provenientes da oxidação da água, no compartimento anódico, que conferem às soluções catódica e anódica um pH alcalino e ácido, respectivamente. Já a transferência iônica das espécies presentes no efluente para os outros compartimentos leva ao aumento do pH do compartimento central. Dessa forma, há a necessidade de adequação do pH aos parâmetros legais para o descarte após o tratamento, de acordo com as orientações de resoluções ambientais vigentes (BRASIL, 2011).

A efetiva redução de 67,7 % na condutividade do efluente durante o processo indica a remoção dos íons metálicos do efluente. Dessa forma, é possível comprovar a diluição da solução do compartimento central e concentração das soluções dos compartimentos laterais pela transferência de íons através das membranas íon seletivas. Também houve uma significativa redução de 86,7% no NT, que pode ser explicado, possivelmente pela remoção dos íons nitrato do efluente durante o tratamento.

Em relação ao COT, os resultados estão adequados, com uma redução de 76,3%, já que o maior problema no que se refere ao tratamento por ED seria o *fouling*, caracterizado pelo depósito de matéria orgânica sobre a superfície da membrana, provocando a redução da capacidade de difusão dos íons através da membrana (DAVID, 2013).

A remoção de íons ferro presentes no efluente durante o tratamento também foi avaliada. A concentração de ferro no efluente bruto era de 1242,0 mg L<sup>-1</sup>. Após 10 horas de tratamento, a concentração de ferro passou para 135 mg L<sup>-1</sup>.

Os resultados indicam uma expressiva redução na concentração de ferro do efluente bruto de 89,1% em um intervalo de 10 horas de tratamento, onde comparado aos resultados de estudos anteriores (MOURAD, 2013), observa-se a eficiência do processo aplicado.

A partir dos resultados obtidos, é possível observar que a concentração de ferro decai com o tempo de tratamento, confirmando a transferência de íons  $\text{Fe}^{2+}$  através da membrana catiônica.

Assim, foi observada a formação de precipitado insolúvel no compartimento central, que pode ser removido posteriormente por separação física e motiva diferenças no somatório total da concentração de íons ferro, quando comparados os valores iniciais e após 10 horas de tratamento do compartimento central. Além disso, houve decantação de materiais particulados ao fundo da célula no compartimento central, o que também pode ocasionar a variação do somatório de concentrações.

O efluente, em estocagem antes do tratamento, também apresenta pequena decantação de particulados, o que pode ser explicado pelas concentrações de matéria orgânica (COT) no efluente proveniente da utilização de óleo diesel marítimo como lubrificante nas etapas de corte e lapidação das gemas, que são realizadas previamente ao processo de tingimento.

A formação desses precipitados demonstra uma limitação da aplicação do tratamento de ED, porém pode ser minimizada com modificações nas condições de realização dos experimentos como a agitação do sistema (Brauns et al, 2012) e de layout da célula (DERMENTZIS, 2010).

Importante ressaltar que, devido a sua eficácia, o tratamento por eletrodialise surge como uma prática que possibilita o reúso de água e insumos, fator cada vez mais importante, não só para a adequação às resoluções da legislação, como também para reduzir o seu consumo e custos de produção (DERMENTZIS, 2010).

Com base nos resultados, há uma proposta do grupo de pesquisa que visa a possibilidade do reúso da solução proveniente do compartimento anódico após aplicação da técnica de ED no tingimento ágatas.

#### 4 | CONCLUSÃO

O estudo do tratamento de efluentes contendo íons metálicos no setor de gemas, particularmente ágatas, através da eletrodialise demonstrou que a técnica é viável. Os resultados obtidos evidenciaram que a determinação do valor da corrente limite utilizada durante o tratamento é essencial, já que no ensaio de 60 minutos com a aplicação de uma corrente bem acima da corrente limite (0,70 A) houve a redução de 14,5% no teor de nitrogênio, porém com o valor aproximado da corrente limite (0,15 A) houve um aumento significativo na eficiência do processo, com uma redução de 65% no teor de nitrogênio.

Os cronopotenciogramas para uma solução de  $\text{Fe}(\text{NO}_3)_2$ , indicaram que em valores próximos a corrente limite, surge um incremento no potencial devido a uma diminuição na concentração de íons ferro no compartimento central e a um aumento na resistência da membrana devido a um precipitado formado na superfície da mesma.

A condutividade no compartimento central foi reduzida de  $3,08 \text{ mS cm}^{-1}$  para  $1,05 \text{ mS cm}^{-1}$  após 10 horas de tratamento, o que aponta a remoção dos íons metálicos do efluente pela passagem através membranas íon seletivas. Além disso, houve a remoção de 87,86% de nitrogênio e 89,13% de ferro no efluente bruto, o que demonstra a eficiência da técnica.

Cabe ressaltar que esses resultados indicam a eficiência da técnica de eletrodialise, além da possibilidade do reúso dos íons, em um subsequente processo de tingimento de ágatas.

## REFERÊNCIAS

- BOSKO, M. L.; RODRIGUES, M. A. S.; FERREIRA, J. Z.; MIRÓ, E. E.; BERNARDES, A. M. **Nitrate reduction of brines from water desalination plants by membrane electrolysis**, Journal of Membrane Science, v. 451, p. 276-284, 2014.
- BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Urbano e Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA); **Resolução do no 430, de 13/05/11**, Brasília: Brasil.
- BRETT, Christopher M. A.; BRETT, Ana Maria O. **Electrochemistry: principles, methods and applications**. Oxford: Oxford University Press, 2005.
- CHEKIOUA, A.; DELIMI, R. **Purification of H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> of Pickling Bath Contaminated by Fe(II) Ions Using Electrodialysis Process**. Energy Procedia. v.74, p.1418-1433, 2015.
- COWAN, D.A.; BROWN, J.H. **Effect of turbulence on limiting current in electro dialysis cells**. Industrial and Engineering Chemistry. v. 51, n.12, p.1445-1448, 1959.
- DAVID A. V.; DAMNEARN K.; MICHEL S.; KITTY N. **Fouling in reverse electro dialysis under natural conditions**. Water Research. v. 47, p. 1289. 2013.
- DERMENTZIS, K. **Removal of nickel from electroplating rinse waters using electrostatic shielding electro dialysis/electrodeionization**. Journal of Hazardous Materials. v. 173, p. 647-652. 2010.
- BRAUNS, E.; BOSSAER, J.; TOYE, S. S.; MIJNENDONCKX, K.; PINOY, L.; VAN DER BRUGGEN, B. **A study of electro dialysis operating with mixed flow mode** Original Research Article. Separation and purification technology. v. 08, p. 356–365. 2012.
- JAMALUDDIN, A. K. M. et al. **Salt extraction from hydrogen-sulfide scrubber solution using electro dialysis**. Journal AIChE, 41 (5), p. 1194-1203, 1995.
- MISHCHUK, N. A. **Perspectives of the electro dialysis intensification**. Desalination. v. 117, p. 283-296, 1998.
- MOURAD, Ben Sik Ali; DORRA, Jellouli; BÉCHIR, Hamrouni. **Iron removal from brackish water by electro dialysis**. Environmental Technology. v. 34. n. 17. 2013.
- PADILHA, M. L.; FERREIRA, L. G.; PHILIPPI JR., A.; MALHEIROS, T. F. **Prática ambiental em indústrias têxteis do Estado de São Paulo**. Revista Brasileira de Ciências Ambientais, v.1, p. 38-44, 2009.
- PISMENSKAIA, N.; SISTAT, P.; HUGUET, P.; NIKONENKO, V.; POURCELLY, G. **Chronopotentiometry applied to the study of ion transfer through anion exchange membranes**. Journal of Membrane Science. v. 228, p. 65-76, 2004.
- QUIN, J. J.; WAI, M. N.; HTUN, M.; LEE, H. **A pilot study for reclamation of a combined rinse from a nickelplating operation using a dual-membrane UF/RO process**. Desalination. v.161, p. 155-167, 2004.
- STRATHMANN, H. **Íon-exchange membrane separation processes**. Membrane Science and Technology Series, 1<sup>st</sup> ed., Elsevier; Amsterdam, 2004.

## **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 978-85-7247-250-0

