



Impactos das Tecnologias na Engenharia Química 2

Carmen Lúcia Voigt
(Organizadora)

Carmen Lúcia Voigt
(Organizadora)

Impactos das Tecnologias na Engenharia Química 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: Natália Sandrini e Lorena Prestes

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)

134 Impactos das tecnologias na engenharia química 2 [recurso eletrônico] / Organizadora Carmen Lúcia Voigt. – Ponta Grossa (PR): Atena Editora, 2019. – (Impactos das Tecnologias na Engenharia Química; v. 2)

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader.

Modo de acesso: World Wide Web.

Inclui bibliografia

ISBN 978-85-7247-236-4

DOI 10.22533/at.ed.364190304

1. Engenharia química – Pesquisa – Brasil. I. Voigt, Carmen Lúcia. II. Série.

CDD 660.76

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

APRESENTAÇÃO

Empresas do segmento de alimentos e bebidas que adotam inovação e tecnologia em seus produtos, processos e serviços são reconhecidas e valorizadas pelo consumidor, conseqüentemente competitivas no mercado. A área industrial alimentícia é apenas uma das inúmeras opções que o engenheiro químico tem como campo de trabalho. Mas dentro desta, suas atribuições são variadas, formando um profissional capaz de atuar em múltiplas tarefas.

A necessidade de novas tecnologias na indústria de alimentos requer otimização dos processos de transformação e fabricação, desenvolvimento de novos produtos, avanço da biotecnologia, garantia no controle da qualidade dos produtos, análise econômica dos processos, além da garantia do controle ambiental dos rejeitos e efluentes industriais.

A inovação é fundamental para o desenvolvimento de qualquer empresa. No setor de alimentos não é diferente, e cada vez mais os consumidores desejam consumir novos produtos que consigam aliar sabor, nutrição, qualidade e segurança. Assim como uma destinação correta de resíduos e uso de subprodutos que favorecem consumidor e meio ambiente.

Neste segundo volume, apresentamos inovações tecnológicas na Engenharia Química no setor de alimentos e resíduos de alimentos com estudos estatísticos de controle e processos, modelagem matemática, estudo cinético, sínteses, caracterizações, avaliação de propriedades, rendimento e controle analítico.

A Indústria Alimentar está em evolução constante e a tecnologia desempenha um papel cada vez mais importante neste setor. Os avanços científicos e técnicos permitem hoje produzir alimentos e bebidas que se adaptam melhor à procura dos consumidores de uma forma segura, com processos produtivos mais sustentáveis e eficientes, cobrindo a procura dos mercados globais.

Convidamos você a conhecer os trabalhos expostos neste volume relacionados com alimentos, bebidas, resíduos de alimentos com utilização tecnológica de novos recursos para o produto ou processo.

Bons estudos.

Carmen Lúcia Voigt

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	1
ESTUDO E PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL DA ENCAPSULAÇÃO DE RESÍDUOS DO ABATE DE AVES	
Caroline Machado da Silva Marlei Roling Scariot Leonardo da Silva Arrieche	
DOI 10.22533/at.ed.3641903041	
CAPÍTULO 2	8
OTIMIZAÇÃO DO PROCESSO DE HIDRÓLISE ENZIMÁTICA DE VÍSCERAS DE FRANGO PARA OBTENÇÃO DE HIDROLISADOS PROTEICOS	
Tatiane Francini Knaul Schaline Winck Alberti Ana Maria Vélez	
DOI 10.22533/at.ed.3641903042	
CAPÍTULO 3	21
ESTUDO ESTATÍSTICO DO TEOR DE LIGNINA OXIDADA PARA O BAGAÇO DA CANA-DE-AÇÚCAR APÓS O PRÉ-TRATAMENTO COM PERÓXIDO DE HIDROGÊNIO ALCALINO	
Anna Alves da Silva Vieira Isabelle Cunha Valim Vinnicius Ferraço Brant Alex Queiroz de Souza Ana Rosa Fonseca de Aguiar Martins Cecília Vilani Brunno Ferreira dos Santos	
DOI 10.22533/at.ed.3641903043	
CAPÍTULO 4	26
IMPLANTAÇÃO DO CONTROLE ESTATÍSTICO NO PROCESSO DE CALEAÇÃO DA FABRICAÇÃO DE AÇÚCAR	
Lorena Marcele de Faria Leite Euclides Antônio Pereira de Lima Ana Cláudia Chesca Flávia Alice Borges Soares Ribeiro	
DOI 10.22533/at.ed.3641903044	
CAPÍTULO 5	31
CONTROLE ANALÍTICO PARA FERMENTAÇÃO ALCÓOLICA EM INDÚSTRIA CANAVIEIRA	
Douglas Ramos Alves Amanda Martins Aguiar Ana Paula Silva Capuci	
DOI 10.22533/at.ed.3641903045	

CAPÍTULO 6	43
UTILIZAÇÃO DE ALGORITMOS GENÉTICOS PARA OTIMIZAÇÃO DO PROCESSO DE DESLIGNIZAÇÃO DO BAGAÇO DA CANA-DE-AÇÚCAR COM PERÓXIDO DE HIDROGÊNIO	
<ul style="list-style-type: none"> Isabelle Cunha Valim Anna Alves da Silva Vieira Vinnicius Ferraço Brant Alex Queiroz de Souza Ana Rosa Fonseca de Aguiar Martins Cecília Vilani Brunno Ferreira dos Santos 	
DOI 10.22533/at.ed.3641903046	
CAPÍTULO 7	49
SÍNTESE E CARACTERIZAÇÃO DE METILCELULOSE A PARTIR DE BAGAÇO DE CANA	
<ul style="list-style-type: none"> Luís Fernando Figueiredo Faria Cláudia dos Santos Salim Luís Gustavo Ferroni Pereira Elisângela de Jesus Cândido Moraes 	
DOI 10.22533/at.ed.3641903047	
CAPÍTULO 8	56
ESTUDO CINÉTICO DA PRODUÇÃO DE HIDROMEL PELAS CEPAS <i>Saccharomyces cerevisiae</i> Lalvin 71b 1122 e <i>Saccharomyces bayanus</i> RED STAR PREMIER BLANK	
<ul style="list-style-type: none"> Ana Katerine de Carvalho Lima Lobato Lucas Gois Brandão Victor Hoffmann Barroso 	
DOI 10.22533/at.ed.3641903048	
CAPÍTULO 9	73
FILTRAÇÃO APLICADA AO PROCESSO DE CONCENTRAÇÃO DA VINHAÇA	
<ul style="list-style-type: none"> Fernando Oliveira de Queiroz Jéssica Oliveira Alves Marcelo Bacci da Silva 	
DOI 10.22533/at.ed.3641903049	
CAPÍTULO 10	95
CARACTERIZAÇÃO E TRATAMENTO, EM ESCALA INDUSTRIAL, DO LICOR NEGRO GERADO PELA ETAPA DE DESLIGNIFICAÇÃO DO ALGODÃO	
<ul style="list-style-type: none"> Lucrecio Fábio dos Santos Flávio Teixeira da Silva Teresa Cristina Brasil de Paiva 	
DOI 10.22533/at.ed.36419030410	
CAPÍTULO 11	111
<i>Saccharomyces cerevisiae</i> FED-BATCH FERMENTATION AND ARTIFICIAL INTELLIGENCE METHOD FOR ADJUSTING MODEL PARAMETERS TO EXPERIMENTAL DATA	
<ul style="list-style-type: none"> Marco César Prado Soares Gabriel Fernandes Luz Aline Carvalho da Costa Matheus Kauê Gomes Beatriz Ferreira Mendes Lucimara Gaziola de la Torre Eric Fujiwara 	
DOI 10.22533/at.ed.36419030411	

CAPÍTULO 12 118

EXPERIMENTAL DESIGN FOR OPTIMAL PRODUCTION OF ALKALINE PHOSPHATASE UNDER LIQUID FERMENTATION WITH *Aspergillus* sp

Juliane Medeiros De Marco
Jennifer Salgado da Fonseca
Ricardo Lima Serudo

DOI 10.22533/at.ed.36419030412

CAPÍTULO 13 123

ESTUDO DO MODELO DE NÚCLEO DE RETRAÇÃO NA EXTRAÇÃO DE CAFEÍNA COM CO₂ SUPERCRÍTICO

Matheus Manhães Vieira da Silva
João Vítor Melo Amaral
Carlos Minoru Nascimento Yoshioka
Ana Beatriz Neves Brito

DOI 10.22533/at.ed.36419030413

CAPÍTULO 14 128

DETERMINAÇÃO EXPERIMENTAL DA SOLUBILIDADE DE α -TOCOFEROL EM MISTURAS DE ETANOL+ÁGUA

Iago Henrique Nascimento de Moraes
Ricardo Amâncio Malagoni

DOI 10.22533/at.ed.36419030414

CAPÍTULO 15 136

CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DO ÓLEO ESSENCIAL DE PERPÉTUA-ROXA (*Centratherum punctatum* Cass.) OBTIDO POR HIDRODESTILAÇÃO

Rafael Henrique Holanda Pinto
Maria Caroline Ferreira Rodrigues
Wanessa Almeida da Costa
Renato Macedo Cordeiro
Eloisa Helena de Aguiar Andrade
Raul Nunes de Carvalho Junior

DOI 10.22533/at.ed.36419030415

CAPÍTULO 16 143

MODELAGEM MATEMÁTICA DA EXTRAÇÃO DE ÓLEO DE *Bidens Pilosa* L. USANDO FLUIDO SUPERCRÍTICO

Ramon Gredilha Paschoal
Marianne Lima Higinio
Marisa Fernandes Mendes

DOI 10.22533/at.ed.36419030416

CAPÍTULO 17 161

RENDIMENTO E COMPOSIÇÃO QUÍMICA DO ÓLEO ESSENCIAL DE *Piper divaricatum* EM FUNÇÃO DA GRANULOMETRIA E MÉTODO DE EXTRAÇÃO

Erick Monteiro de Sousa
Tainá Oliveira dos Anjos
Rafaela Oliveira Pinheiro
Márcia Moraes Cascaes
Lidiane Diniz do Nascimento
Eloisa Helena de Aguiar Andrade

DOI 10.22533/at.ed.36419030417

CAPÍTULO 18 167

INFLUÊNCIA DA PRESSÃO E TEMPERATURA PARA OBTENÇÃO DO EXTRATO DE *Mentha spicata* L. UTILIZANDO EXTRAÇÃO SUPERCRÍTICA

Tháiris Karoline Silva Laurentino
Thuany Naiara Silva Laurentino
Ariovaldo Bolzan

DOI 10.22533/at.ed.36419030418

CAPÍTULO 19 172

ESTUDO REOLÓGICO DA POLPA DE JUÇARA (*Euterpe edulis* Mart) EM FUNÇÃO DA TEMPERATURA E TEOR DE SÓLIDOS SOLÚVES

Italo Iury de Souza Guida
Harvey Alexander Villa Vélez
Audirene Amorim Santana
Romildo Martins Sampaio

DOI 10.22533/at.ed.36419030419

CAPÍTULO 20 179

OBTENÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA DA POLPA DE ABACAXI ATRAVÉS DE EQUAÇÕES MATEMÁTICAS

Relyson Gabriel Medeiros de Oliveira
Williane Moraes de Souza
João Carlos Soares de Melo
Carlos Helaídio Chaves Costa
Adair Divino da Silva Badaró

DOI 10.22533/at.ed.36419030420

CAPÍTULO 21 186

CINÉTICA DE SECAGEM E COMPOSIÇÃO QUÍMICA DA POLPA DO FRUTO DE *Eugenia patrisii* Vahl. (MYRTACEAE)

Erick Monteiro de Sousa
Tainá Oliveira dos Anjos
Lidiane Diniz do Nascimento
Eloisa Helena de Aguiar Andrade
Cristiane Maria Leal Costa
Lênio José Guerreiro de Faria

DOI 10.22533/at.ed.36419030421

CAPÍTULO 22 192

MODELAGEM MATEMÁTICA DA CINÉTICA DE SECAGEM DE TOMATES TIPO CEREJA E UVA POR MODELOS SEMITEÓRICOS E EMPÍRICOS

Heitor Otacílio Nogueira Altino
Renata Nepomuceno da Cunha

DOI 10.22533/at.ed.36419030422

CAPÍTULO 23 207

SECAGEM DO EXTRATO DA CASCA DE BERINJELA EM SPRAY DRYER COM ADIÇÃO DE ADJUVANTES

Raissa Henrique Silva
Erica Cortez de Lima
Suziani Cristina de Medeiros Dantas
Thayse Naianne Pires Dantas
Maria de Fátima Dantas de Medeiros

DOI 10.22533/at.ed.36419030423

CAPÍTULO 24 214

CINÉTICA DE SECAGEM DO MESOCARPO DE BACURI

Layrton José Souza Da Silva
Dennys Correia Da Silva
Ilmar Alves Lopes
Harvey Alexander Villa Vélez
Audirene Amorim Santana

DOI 10.22533/at.ed.36419030424

CAPÍTULO 25 219

AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS NO ESTUDO DA SECAGEM E ORIENTAÇÃO DA MATRIZ DE FILMES BIODEGRADÁVEIS DE AMIDO E ACETATO DE AMIDO PELO MÉTODO *TAPE-CASTING*

Ana Luiza Borges Guimarães
João Borges Laurindo
Vivian Consuelo Reolon Schmidt

DOI 10.22533/at.ed.36419030425

CAPÍTULO 26 232

EFEITO DA CONCENTRAÇÃO DE MALTODEXTRINA NO PROCESSO DE LIOFILIZAÇÃO DE MANGABA

Antonio Jackson Ribeiro Barroso
Francisco De Assis Cardoso Almeida
João Paulo De Lima Ferreira
Luzia Márcia De Melo Silva
Deise Souza De Castro
Joselito Sousa Moraes
Micheline Maria Da Silva Ribeiro

DOI 10.22533/at.ed.36419030426

CAPÍTULO 27 237

OXIDAÇÃO DE DIFERENTES AÇÚCARES UTILIZANDO CATALISADOR DE PdPtBi/C

Fabiana dos Santos Lima
João Guilherme Rocha Poço

DOI 10.22533/at.ed.36419030427

CAPÍTULO 28 250

PROSPECÇÃO DE FUNGOS FILAMENTOSOS DO BIOMA CAATINGA COM POTENCIALIDADE PARA PRODUÇÃO DE QUITINASE

José Renato Guimarães
Kaíque Souza Gonçalves Cordeiro Oliveira
Eudocia Carla Oliveira de Araújo
Maria Lúcia da Silva Cordeiro
Isabella da Rocha Silva
Ranoel José de Sousa Gonçalves

DOI 10.22533/at.ed.36419030428

CAPÍTULO 29 257

PROJETO CONCEITUAL E ANÁLISE ECONÔMICA PRELIMINAR DO PROCESSO DE PERVAPORAÇÃO PARA RECUPERAÇÃO DO AROMA DO SUCO DE ABACAXI

Bárbara Carlos Bassane

Marianna Rangel Antunes

Cecília Vilani

Roberto Bentes de Carvalho

DOI 10.22533/at.ed.36419030429

CAPÍTULO 30 274

EFEITOS DO TAMANHO DOS GRÂNULOS, DO REVESTIMENTO E DO TIPO DE FERTILIZANTE NA LIBERAÇÃO DE AMÔNIA EM FERTILIZANTES NITROGENADOS

Pedro Queiroz Takahashi

Gabriel Costa de Paiva

Marcelo Andrade de Godoy

José Mauro de Almeida

Deusanilde de Jesus Silva

DOI 10.22533/at.ed.36419030430

SOBRE A ORGANIZADORA..... 279

CARACTERIZAÇÃO E TRATAMENTO, EM ESCALA INDUSTRIAL, DO LICOR NEGRO GERADO PELA ETAPA DE DESLIGNIFICAÇÃO DO ALGODÃO

Lucrécio Fábio dos Santos

Escola de Engenharia de Lorena, da Universidade
de São Paulo
Lorena – São Paulo

Flávio Teixeira da Silva

Escola de Engenharia de Lorena, da Universidade
de São Paulo
Lorena – São Paulo

Teresa Cristina Brasil de Paiva

Escola de Engenharia de Lorena, da Universidade
de São Paulo
Lorena – São Paulo

RESUMO: Celulose é uma matéria-prima utilizada mundialmente em várias aplicações industriais, dentre elas na produção de tecidos, tintas, fibras e explosivos. Para produzir explosivos, reage-se a celulose com uma mistura ácida para obter a nitrocelulose e esta associada a outros materiais fornece diversos tipos de explosivos: pólvoras, dinamites, propelentes e outros. O processo de obtenção da Nitrocelulose envolve várias etapas, dentre elas a separação mecânica do algodão, tratamento químico: deslignificação e branqueamento, e nitração da celulose. A etapa de deslignificação gera o licor negro, um efluente tóxico e com elevadas carga orgânica e cor. As principais análises de caracterização nos efluentes in natura e tratado foram pH, cor, COT, DQO, DBO, sólidos e

toxicidade. O efluente in natura apresentou pH de 12,4, cor de 27.065 UC, DQO de 7.615 mg/L, DBO de 4.413 mg/L, COT de 2.455 mg/L, ST de 8.613 mg/L, STF de 3.845 mg/L e STV de 4.7686 mg/L. Após a caracterização, o efluente foi tratado quimicamente, em escala industrial, seguido de tratamento biológico, em escala piloto. A integração de processos possibilitou reduzir a DQO em 97%, a DBO em 99%, o COT em 97%, bem como não foram detectados níveis de toxicidade no efluente tratado, indicando que o sistema de tratamento integrado é promissor para remediação do licor negro.

PALAVRAS-CHAVE: Efluente. Licor negro. Deslignificação. Nitrocelulose. Explosivo

ABSTRACT: Cellulose is a raw material used worldwide in several industrial applications, among them in the production of fabrics, fibers and explosives. To produce explosives, the cellulose is reacted with an acidic mixture to obtain the nitrocellulose and this one associated with other materials supplies several types of explosives: gunpowder, dynamites, propellants and others. The process of obtaining Nitrocellulose involves several steps, among them the mechanical separation of the cotton, chemical treatment: delignification and bleaching, and nitration of the cellulose. The delignification step generates the black liquor, a toxic effluent with high organic load and color.

The main characterization analyzes in natura and treated effluents were pH, color, TOC, COD, BOD, solids and toxicity. The in natura effluent presented pH of 12.4, color of 27,065 UC, COD of 7,615 mg/L, BOD of 4,413 mg/L, TOC of 2,455 mg/L, TS of 8,613 mg/L, TFS of 3,845 mg/L and TVS of 4,7686 mg/L. After characterization, the effluent was chemically treated by industrial scale, followed by biological treatment, by pilot scale. The integration of processes made it possible to reduce COD by 97%, BOD by 99%, TOC by 97%, and no toxicity levels were detected in the treated effluent, indicating that the integrated treatment system is promising for the remediation of black liquor.

KEYWORDS: Effluent. Black liquor. Delignification. Nitrocellulose. Explosive

1 | INTRODUÇÃO

Esgotos sanitários, se lançados sem tratamento ou tratados inadequadamente, causam sérios danos ao ecossistema aquático porque são inerentemente poluentes. Podem conter, dentre outros, micropoluentes e alta carga orgânica. A ocorrência destes contaminantes no ecossistema aquático é frequentemente associada a vários efeitos negativos, incluindo toxicidade de curto e longo prazos, efeitos de desregulação endócrina e resistência a antibióticos de microrganismos (WANG *et al.*, 2014). Logo, estes contaminantes devem ser eliminados para lançamento no corpo receptor (ROTTA; MINKEA; STEINMETZB, 2017).

Para minimizar os efeitos negativos desses lançamentos, várias técnicas de tratamento são pesquisadas e propostas. Porém, às vezes, os custos para implantação industrial dessas pesquisas são proibitivos. Para que as águas residuais sejam lançadas no meio ambiente ou em uma estação de tratamento biológico, há que se ter um tratamento prévio visando reduzir os efeitos dos compostos recalcitrantes sobre a biota do sistema (GIL-PAVAS; GOMEZ; GARCIA, 2017).

Processos físicos, químicos, biológicos ou a integração destes estão entre as alternativas para remediação de efluentes. Os tratamentos químicos são caracterizados pela remoção ou conversão de contaminantes devido à adição de produtos químicos e pelas reações químicas. A coagulação, seguida da precipitação, e oxidação química são exemplos de processos químicos. A precipitação química se dá pela adição de um reagente capaz de, em contato com o material que se deseja precipitar, reagir e formar um precipitado estável de fácil remoção, melhorando a qualidade do efluente final. Os de oxidação se caracterizam por transformar a matéria orgânica em dióxido de carbono, água e íons inorgânicos, por meio de reações de degradação que envolvem espécies transitórias oxidantes, especialmente os radicais hidroxila (GIL-PAVAS; GOMEZ; GARCIA, 2017; TEIXEIRA; JARDIM, 2004).

Nos tratamentos biológicos, a remoção de contaminantes ocorre via atividade biológica, que reproduzem, de certo modo, os processos naturais que ocorrem nos corpos d'água após o lançamento do despejo, onde o material orgânico é transformado

em substâncias inertes por mecanismos naturais: autodepuração. Dentre os tratamentos biológicos, o processo de lodos ativados é o mais comum e amplamente utilizado (TEIXEIRA; JARDIM, 2004; SANT'ANNA, 2013; METCALF; EDDY, 2016). Este processo consiste na manutenção de uma massa ativa de organismos diversificados que, em presença de oxigênio, é capaz de estabilizar a matéria orgânica presente nos despejos líquidos, onde ocorre, inicialmente, a remoção dos sólidos coloidais e dos sólidos em suspensão ocorre por aglomeração física, floculação e por adsorção dentro dos flocos biológicos. Em seguida, a matéria orgânica é decomposta por processo de oxidação biológica, transformando-se em CO_2 , H_2O , NH_3 , novos organismos, energia e outros produtos. O processo de lodos ativados pode integrar-se a outros processos para melhorar a qualidade do efluente final (METCALF; EDDY, 2016; von SPERLING, 2016).

Os efluentes gerados pelas indústrias têxteis e derivados de lignocelulose (papel/celulose e nitrocelulose) possuem vários compostos químicos tóxicos que, além de apresentar cor intensa pela presença de lignina e de seus derivados, que dificultam a passagem de luz e prejudicam a fotossíntese, possuem elevada carga orgânica (AMARAL; ANDRADE; LANGE, 2013).

A nitrocelulose é a principal matéria-prima na produção de pólvoras, propelentes e dinamites à base de nitroglicerina. A fabricação da nitrocelulose envolve várias etapas (Figura 1), dentre elas a separação mecânica e tratamento químico (deslignificação e branqueamento) do algodão, nitração da celulose e estabilização da nitrocelulose (SANTOS, 2001). Estas etapas geram efluentes que, se não tratados poluem o meio ambiente (DURÁN *et al.*, 2010; AMARAL; ANDRADE; LANGE, 2013).

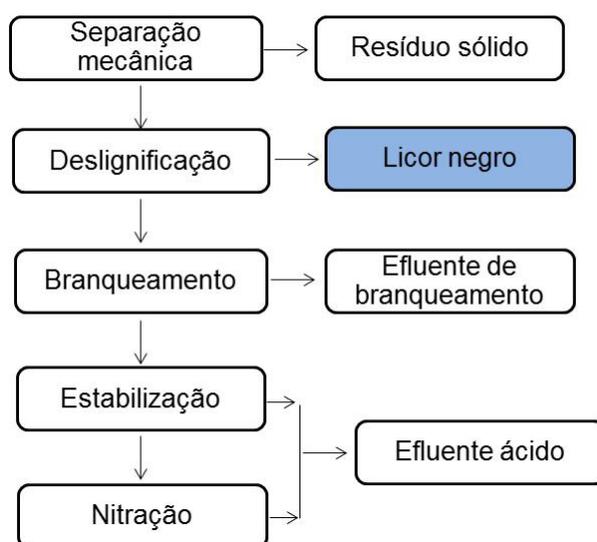


Figura 1. Principais etapas da produção de nitrocelulose e seus respectivos efluentes

Neste trabalho, será dada ênfase apenas à deslignificação, que é a etapa que gera o licor negro, o efluente mais crítico do processo de obtenção de nitrocelulose.

Deslignificação: esta etapa é realizada em 4 autoclaves, com capacidade de

6.200 L/cada, onde são adicionados em torno de 1.050 kg de algodão pré-tratado mecanicamente e 5.200 L de solução de hidróxido de sódio (25 g/L), previamente preparada, cuja concentração de álcali deve ser controlada na solução extrativa, para se obter uma celulose com alto grau de cristalinidade, baixa degradação e com alto rendimento (TEMMING; GRUNERT; HUCKFELDT, 1973; ZHBANKOV *et al.*, 1989).

Em seguida, a autoclave é fechada e a temperatura é elevada para 150°C, com o uso de vapor. Com o aumento da temperatura, a pressão aumenta para cerca de 6 kgf/cm². Dependendo do tipo de nitrocelulose a ser produzida, o tempo de cozimento pode variar de 80 a 90 minutos. Esta etapa remove a lignina, gorduras e ceras que envolvem a fibra de celulose, obtendo-se, por autoclave, em torno de 5.000 L de efluente (SANTOS, 2001).

Após, o algodão deslignificado é lavado exaustivamente com água, gerando, por autoclave, mais 30.000 L de efluente rico em lignina que contém grupos hidroxil, que são formados através do ataque nucleofílico dos grupos OH⁻ à molécula de lignina (GIERER, 1982; ZHI-HUA; DIMITRIS, 1997; ADLER, 1977). A clivagem das ligações éter β -O-4 é responsável pela despolimerização e solubilização da lignina. Esta clivagem é representada na Figura 2, de acordo com modelo proposto por Gierer, 1982.

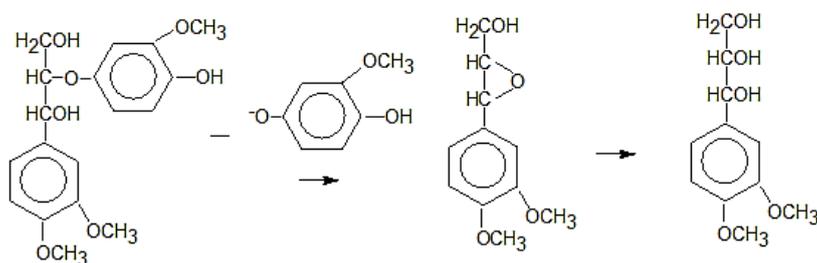


Figura 2. Clivagem da ligação éter β -O-4 de composto modelo, gerando um epóxido e posteriormente um arilglicerol

Além dos produtos de degradação da lignina, Helmy e El-Motagali (1992) mostraram que durante o tratamento alcalino ocorrem mudanças na estrutura da celulose, em função do tempo e temperatura em que esta é exposta. Em soluções alcalinas, a celulose é oxidada pelo oxigênio, cuja reação é representada na Figura 3. Nota-se que a oxidação ocorre principalmente sobre as hidroxilas primárias, que são transformados em grupos aldeídos (II e III). As hidroxilas secundárias também são parcialmente oxidadas, gerando aldeídos. O produto resultante sofre um rearranjo intermolecular para formar um enol (IV e V). Como resultado da enolação, as ligações glicosídicas, usualmente resistentes a álcali, tornam-se facilmente hidrolisáveis em soluções alcalinas. Estas reações são conhecidas por *peeling* (FENGEL; WEGENER, 1989).

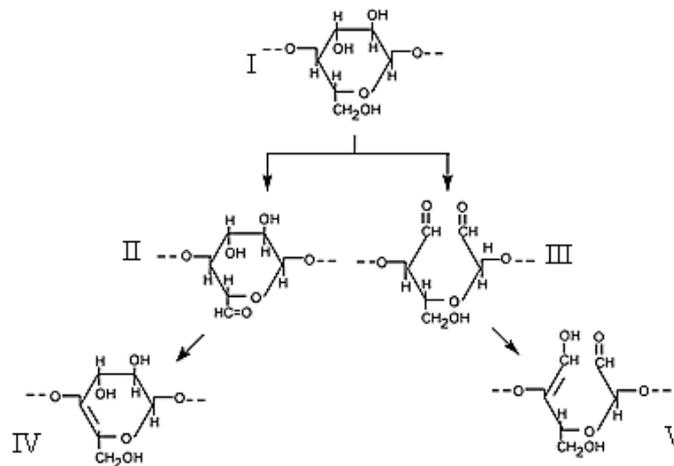


Figura 3. Representação da reação de degradação oxidativa da celulose (I), gerando compostos que contêm grupos aldeídos (II e III), os quais sofrem um rearranjo transformando-se em enóis (IV e V)

Esses compostos são arrastados pelas águas de lavagem e podem reagir com os efluentes das etapas posteriores, formando produtos de difícil degradação (HELMY; EL-MOTAGALI, 1992; PAIVA., 1999).

Os produtos resultantes, junto com os ácidos resinosos e ácidos graxos, provenientes dos extrativos, são os principais responsáveis pelas demandas química e bioquímica de oxigênio, toxicidade e elevada coloração nesse efluente (ZHI-HUA; DIMITRS, 1997; KOSTAMO; KUKKONEN; HOLMBOM, 2004). Esses compostos são arrastados pelas águas de lavagem e podem contaminar o ecossistema aquático se não forem tratados adequadamente (HELMY; EL-MOTAGALI, 1992).

Foram realizadas várias pesquisas em escala de bancada e piloto para tratamento do licor negro, as quais forneceram as bases para elaboração e execução de um projeto em escala industrial. Após tratamento químico em escala industrial, o efluente tratado quimicamente foi submetido ao processo de lodos ativados em escala piloto, cujos resultados são apresentados neste trabalho.

2 | MATERIAIS E MÉTODOS

Nesta Secção são apresentadas as principais etapas experimentais da pesquisa.

2.1 Caracterização do algodão

O algodão de segundo corte chega à Empresa em fardos de aproximadamente 200 Kg e é submetido à etapa inicial para a produção de nitrocelulose. Esta etapa consiste na separação mecânica de impurezas, como pedaços de sementes, cascas do algodão, corpos metálicos e sílica, através de um equipamento denominado desfibrador. Foram realizadas várias amostragens em intervalos regulares, as quais foram caracterizadas de acordo com os itens 2.1.1, 2.1.2, 2.1.3, 2.1.4 e 2.1.5.

2.1.1 Determinação de extrativos

Uma amostra de 4,5 g de algodão foi extraída com etanol 95% em um Soxhlet até o solvente tornar-se incolor. O algodão extraído e seco ao ar, para evaporação do excesso de solvente, foi submetido à secagem em estufa a $105 \pm 3^\circ\text{C}$ até massa constante, determinada em balança analítica. As extrações foram realizadas em triplicata.

2.1.2 Determinação de lignina klason insolúvel em meio ácido

A quantidade de lignina insolúvel em meio ácido foi determinada de acordo com o método Klason modificado (ASTM, 1966). Uma amostra de 2 g de algodão extraído e seco foi transferida para um béquer de 100 mL e tratada com 10 mL de H_2SO_4 72%, sob vigorosa agitação, em um banho termostatizado. A xilana foi hidrolisada à temperatura ambiente (25°C) e a celulose a $45 \pm 0,5^\circ\text{C}$, ambas por 7 min. A reação foi interrompida com adição de 50 mL de água destilada. A amostra foi transferida quantitativamente para um erlenmeyer de 500 mL, usando-se 275 mL de água destilada. Para a completa hidrólise dos oligômeros restantes, o erlenmeyer foi fechado com papel alumínio e autoclavado por 15 min a 1,05 bar. Após a descompressão da autoclave, o frasco foi retirado e resfriado à temperatura ambiente. A mistura reacional foi inicialmente filtrada para um balão volumétrico de 500 mL, o qual foi, posteriormente, avolumado com água destilada. A solução foi armazenada para análises posteriores de lignina solúvel, carboidratos e ácidos orgânicos, de acordo com os procedimentos descritos nos itens 2.1.3 e 2.1.4, respectivamente. Os sólidos retidos no papel de filtro, previamente pesado, foram lavados com aproximadamente 1,5 L de água destilada e secos em estufa a $105 \pm 3^\circ\text{C}$ até massa constante. O material foi calcinado de acordo com o procedimento descrito no item 2.1.5. A quantidade de cinzas foi determinada e a massa de lignina determinada por diferença.

2.1.3 Determinação de lignina klason solúvel em meio ácido

A quantidade de compostos solúveis em meio ácido foi determinada conforme metodologia descrita por Rocha *et al.* (1993). Uma alíquota de 5 mL do hidrolisado, obtido no item 2.1.2, foi alcalinizada com NaOH 6,5 mol/L até pH 12,5 (2 mL) e diluída com água destilada em balão volumétrico de 100 mL. A absorvância da solução em 280 nm foi determinada em um espectrofotômetro UV/Visível, SHIMADZU 150-02, usando-se água destilada como referência. A concentração de lignina foi calculada com base na absortividade média da lignina em pH 12 (25 L/g.cm).

2.1.4 Determinação de carboidratos e ácidos orgânicos por CLAE

Os carboidratos e os ácidos orgânicos presentes no hidrolizado foram

determinados em um cromatógrafo líquido SHIMADZU, modelo CTO-6A (ROCHA *et al.*, 1997). Uma alíquota de 40 mL do hidrolizado, obtido no item 2.1.2, teve pH ajustado com NaOH 6,5 mol/L de 0,6 para a faixa de 1 a 3 e, em seguida, foi diluída com água destilada em um balão volumétrico de 50 mL. O hidrolizado ácido foi extraído em cartuchos de extração sólida Sep-Park C18 (Waters), para remoção de compostos aromáticos e, então, uma alíquota foi injetada (20 μ L) em uma coluna Aminex HPX-87H (300 x 7,8 mm, *Bio-Rad Laboratories Ltd*) acoplada a uma pré-coluna trocadora de cátions. Como fase móvel foi empregada H₂SO₄ 0,005 mol/L com vazão de 0,6 mL/min, a 45°C, conforme procedimento descrito por SILVA (1995). Os compostos foram monitorados com um detector de índice de refração (IR) SHIMADZU R10-6A. As áreas dos picos, que correspondem às hexoses e às pentoses, foram utilizadas para calcular as massas de glucana e xilana, respectivamente. Essas massas foram divididas pelo peso seco do material inicial e multiplicadas pelo fator de hidrólise. Os fatores de hidrólise para conversão de glicose e celobiose em glucana são 0,90 e 0,95, respectivamente. De maneira análoga, xilose e arabinose foram convertidas em xilana e o ácido acético em grupos acetil, usando-se os fatores 0,88 e 0,72, respectivamente. As concentrações de celobiose, glicose, xilose, arabinose, e ácido acético foram determinadas a partir de curvas de calibração obtida com padrões analíticos.

2.1.5 Determinação do teor de cinzas

A determinação do teor de cinzas no algodão foi feita de acordo com a metodologia descrita por Silva (1995). Uma massa seca de 0,5 g, obtida no item 2.1.1, foi pesada com incerteza de 0,1 mg em um cadinho de porcelana. Em seguida, o material foi calcinado, inicialmente a 300°C, por 1 hora e depois por mais 2 horas a 800°C. Após a calcinação, o cadinho foi resfriado em dessecador e a massa de cinzas determinada. A massa de cinzas da lignina foi usada para corrigir o teor de lignina insolúvel, determinado no item 2.1.2. O teor de cinzas foi calculado pela Equação 1.

$$Cz (\%) = (M_2 - M_1) / M_3 \times 100 \quad (1)$$

Onde: Cz = massa de cinzas expressa em porcentagem;
M₁ = massa do cadinho calcinado vazio (g);
M₂ = massa do cadinho com cinzas (g);
M₃ = massa de sólido seca (g).

2.2 Coleta e caracterização do efluente

As amostras foram coletadas nas condições mais críticas de lançamento: primeiro e segundo descartes do processo de deslignificação, que juntos deram origem ao licor negro, que foi caracterizado em pH, cor, demandas química (DQO) e bioquímica de oxigênio (DBO), carbono orgânico total (COT), sólidos suspensos totais (ST), sólidos

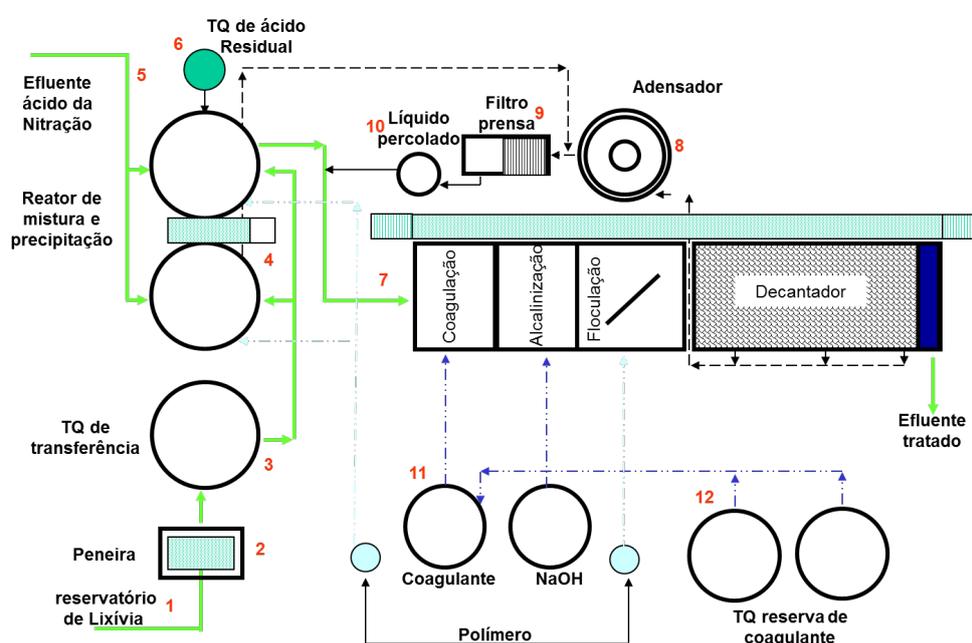
totais fixos (STF), sólidos totais voláteis (STV). A caracterização dos efluentes in natura e tratado foi realizada de acordo com Standard Methods e APHA-AWWA, conforme os parâmetros previstos na Seção II, Artigo 18 do Decreto Estadual 8.468, de 1976 da CETESB, e Seção II, Artigo 16 da Resolução CONAMA 430/2011, bem como foram realizados testes de toxicidade frente ao microcrustáceo *Artemia salina*.

2.3 Ensaio de toxicidade

Os ensaios de toxicidade foram realizados em triplicata, de acordo com Hartl e Humpf (2000), modificado. O procedimento experimental consistiu em incubar cistos (ovos) de *Artemia salina* de alta eclosão, sob temperatura entre 28 a 30°C (temperatura obtida através de uma lâmpada comum de 60 W, afastada de 20 cm), por um período de 24h, em uma solução de NaCl, de concentração 3,8% (P/V), preparada a partir do sal previamente seco e água deionizada (o sal e os ovos foram adquiridos em lojas que vendem alimentos para peixes). Após a eclosão, as larvas foram separadas e colocadas em frascos de 5 mL, nos quais havia 1 mL da solução salina. Em cada frasco foram colocadas 10 larvas e, em seguida, foram adicionados 1,5 e 3,0 mL dos efluentes, correspondendo a concentrações de 30 e 60% (V/V), respectivamente. Em seguida, os frascos foram avolumados para 5 mL com a solução salina e incubados por mais 24 horas, sob as mesmas condições de temperatura. Fez-se uma prova em branco, ou seja, sem adição de efluente. Após esse período, foram contadas as larvas mortas e vivas em cada frasco para avaliação da viabilidade, sendo o resultado expresso em porcentagem de larvas mortas.

2.4 Tratamento químico do licor negro, em escala industrial

A Figura 4 apresenta o esquema da estação de tratamento projetada para tratar o licor negro, com capacidade nominal de 40 m³/h.



2.4.1 Sequência das etapas

O licor negro chega à estação por uma tubulação de PVC, de 4 polegadas (1). Passa por uma peneira (2) para reter os sólidos grosseiros em suspensão. Em seguida, por gravidade, é enviado para o tanque de transferência (3) e deste, por bombeamento, é enviado para os tanques de reação/precipitação (4), os quais são operados em batelada e de forma alternada. Nesta etapa, acidifica-se o licor negro até pH menor que 1,5, utilizando-se o efluente ácido da etapa de nitratação (5), e na falta deste utiliza-se ácido sulfúrico residual (6). O tempo de processo nos tanques de reação/precipitação é de aproximadamente 2 horas. Após, o sobrenadante segue para um tanque compartimentado (7), onde ocorrem os processos de coagulação, floculação, ajuste de pH e decantação. O precipitado retido nestes tanques é enviado para o adensador de lodo (8) e deste para o filtro-prensa (9). O percolado do filtro-prensa volta para o sistema de tratamento. A sequência final de tratamento ocorre no compartimento de decantação do tanque (7), finalizando o tratamento químico.

As Figuras 5a e 5b mostram parte dos equipamentos utilizados nesse processo de tratamento.

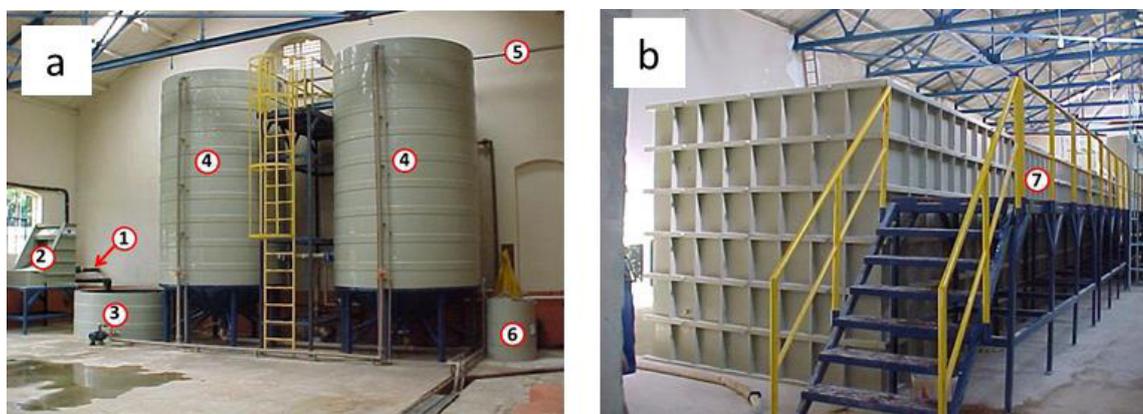


Figura 5. a) Sequência do tratamento do licor negro: 1) tubulação de PVC; 2) peneira estática; 3) tanque de transferência; 4) tanques de reação e precipitação; 5) tubulação de efluente de nitratação; 6) tanque de ácido residual; b) tanque de coagulação, correção de pH, floculação e decantação (7)

Em seguida, o efluente foi submetido ao tratamento biológico com lodos ativados, em processo semicontínuo. Alguns autores reportam que os processos químicos, como a coagulação, são amplamente utilizados como tratamento terciário para remoção de resíduos suspensos, matéria orgânica e fósforo (TRAN *et al.*, 2012; LI *et al.*, 2017). Entretanto, neste trabalho o processo químico foi utilizado como pré-tratamento para o processo biológico.

2.5 Tratamento biológico

O processo biológico foi realizado em um reator de aço-inox, de 500 L, provido de três válvulas de drenagem, em sistema RBS, com ciclos de enchimento/reação/sedimentação/esvaziamento de 6h (Figura 6).



Figura 6. Vista parcial do reator biológico, com capacidade de 500L

O tempo de sedimentação do lodo variou de 20 a 30 minutos. Para suprimento de ar foi utilizado um compressor e para sua distribuição no interior do reator foram utilizados difusores. A intensidade do ar foi controlada de modos a manter a massa microbiana em suspensão e possibilitar uma concentração de oxigênio da ordem de 8 mg/L. Antes de submeter o efluente ao tratamento biológico, o pH foi corrigido para $7,0 \pm 0,3$, com solução de NaOH (10% P/V), e o monitoramento foi realizado com pHmetro da marca MICRONAL, mod. B-374 durante todo o processo. O estudo de tratabilidade foi realizado por mais de 6 meses (SANTOS, 2006).

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

O algodão empregado na produção de nitrocelulose foi caracterizado conforme as técnicas descritas no item 2.1. Os resultados indicaram que o algodão possui em média 77,1% de glucanas, com predominância de celulose; 2,2% de poliooses, distribuídas em xilanas (1,2%), grupos metilglucurônicos (0,289%), arabinose (0,568%) e grupos acetil (0,19%) todos ligados à cadeia principal das xilanas; 8,9% de lignina Klason, sendo 2,34% do total reportado como lignina solúvel; 2,2% de compostos inorgânicos reportados como cinzas e 4,2% de extrativos, totalizando 95% de compostos identificados, cujos resultados são apresentados na Tabela 1.

Componentes	Composição (%)
Glucanas (com predominância de celulose)	77,1 ± 0,9
Xilanas	1,2 ± 0,1
Grupos metilglucurônicos ligados às xilanas	0,289 ± 0,006
Arabinose ligada às xilanas	0,568 ± 0,004
Grupos acetil ligados às xilanas	0,19 ± 0,05
Lignina Klason insolúvel	6,6 ± 0,2
Lignina Klason solúvel	2,34 ± 0,04
Cinzas	2,210 ± 0,001
Extrativos	4,2 ± 0,3
Total	95 ± 2

Tabela 1. Composição química do algodão. Quantidade expressa em relação a 100 g de algodão seco

O cromatograma da Figura 7 apresenta vários compostos presentes no hidrolisado e que não identificados, o que pode justificar o não fechamento em 100% da composição do algodão.

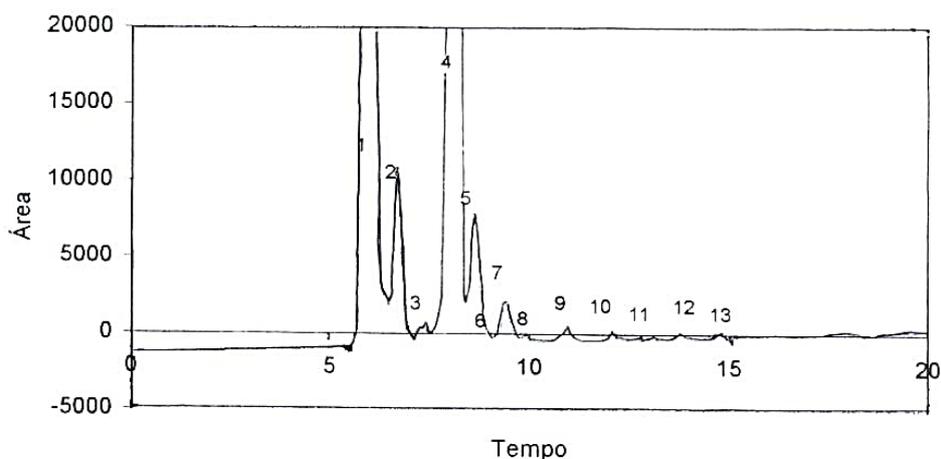


Figura 7. Cromatograma do hidrolisado obtido da hidrólise ácida do algodão.

Os tempos de retenção e áreas dos picos são reportados na Tabela 2.

Picos	Compostos	Tempo	Área
1	ni	6,019	5272195
2	Celobiose	6,712	36012
3	Grupo metilglucurônico	7,365	3908
4	Glicose	8,066	774953
5	Xilose	8,625	26280

6	ni	9,057	1842
7	ni	9,414	8500
8	ni	9,851	2603
9	ni	10,879	4250
10	ni	12,046	2453
11	ni	12,687	2108
12	Ácido acético	13,808	652
13	ni	14,637	1079

Tabela 2. Área e tempo de retenção dos picos presentes no cromatograma do hidrolizado obtido da hidrólise ácida do algodão.

ni = não identificado

A Tabela 3 apresenta os resultados da caracterização do licor negro, in natura e após cada etapa de tratamento: químico, em escala industrial, e biológica com lodos ativados, em escala piloto.

Parâmetros	Unidade	In natura	Após tratamento	
			Químico	Biológico
pH		12,4 ± 0,5	7,1* ± 0,3	7,1 ± 0,3
Cor	UC	27.065 ± 879	1.988 ± 84	2.113 ± 132
DQO		7.615 ± 252	908 ± 38	198 ± 17
DBO		4.413 ± 194	359 ± 14	43 ± 7
COT		2.455 ± 158	153 ± 10	83 ± 7
ST	mg/L	8.613 ± 232	3.472 ± 86	288 ± 13
STF		3.845 ± 103	1.540 ± 49	176 ± 16
STV		4.768 ± 129	1.932 ± 76	112 ± 9
N		25 ± 6	1,9 ± 0,2	4,7 ± 0,6
P		< 5	< 5	< 5

Tabela 3. Caracterização do licor negro, in natura e após tratamento: químico, em escala industrial, seguido de biológico em reator de 500L (Valores médios + desvio padrão)

(*) após correção com solução de NaOH, de concentração 10% (P/V)

A caracterização do efluente in natura revelou elevados valores de cor, DQO, DBO, COT e Sólidos, o que corrobora os resultados da caracterização do algodão.. Com relação à DBO, o valor encontrado (4.413 ± 194 mg/L) foi muito superior ao preconizado pelo Decreto Estadual 8.468, de 1976, Artigo 18, que estabelece 60 mg/L para lançamento nos corpos hídricos.

O tratamento químico, em escala industrial, possibilitou reduzir a cor em 93%, a DQO em 88%, a DBO em 92% e o COT em 94%, o que indica que a planta industrial

está operando de forma satisfatória. Comparando o efluente in natura com o efluente oriundo do tratamento biológico (integração de processos), observou-se que foi possível reduzir a DQO em 97%, a DBO em 99% e o COT em 97%. Após o tratamento biológico, não foram observadas alterações significativas na cor do efluente, sugerindo que o processo de lodo ativado não é eficaz para redução de cor.

Com relação à toxicidade, a Tabela 4 apresenta os resultados dos ensaios frente ao microcrustáceo *Artemia salina*, realizado com o licor negro, in natura e após tratamento, nas concentrações de 30% e 60%.

Morte do microcrustáceo <i>Artemia salina</i> (%)			
Concentração de efluente (%)	In natura	Após tratamento	
		Químico	Biológico
30	100	36	0,0
60	100	62	0,0

Tabela 4. Toxicidade do licor negro, in natura e após tratamento, frente ao microcrustáceo *Artemia salina*

Constatou-se que o efluente sem qualquer tratamento prévio, nas concentrações avaliadas, causou a morte de 100% do organismo teste. A toxicidade apresentada por esse efluente sem tratamento, possivelmente, esteja relacionada à alta concentração de matéria orgânica presente em sua composição e pode ser atribuída aos compostos de baixa massa molar, derivados da degradação da lignina e dos extrativos presentes no algodão bruto (KOSTAMO KUKKONEM; HOLMBOM, 2004; SANTOS; SILVA; PAIVA, 2017).

Efluentes das indústrias de lignocelulósicos são caracterizados pela elevada toxicidade, causada por compostos como clorofenóis, cloroligninas, ácidos orgânicos, resinas ácidas, dioxinas e seus derivados (DURÁN et al., 2010). Também, o efeito sinérgico entre a matéria orgânica e os íons metálicos pode elevar a toxicidade desse tipo de efluente (KOPINK; POERSCHERMANN; STOTTMERISTER, 1995).

A toxicidade não foi eliminada totalmente pelo tratamento químico, pois morreram 36% e 62% dos organismos teste, nas concentrações de 30% e 60%, respectivamente, o que indica a necessidade de um tratamento complementar. Possivelmente, algum material remanescente não extraído pelo tratamento químico causou a morte dos microcrustáceos. Isso mostra que o tratamento químico, apesar de reduzir em mais de 90% a carga orgânica, ainda necessita de um refinamento, o que, nesta pesquisa, foi realizado com o sistema de lodos ativados.

Após tratamento biológico, não foi constatada toxicidade nas concentrações avaliadas (30% e 60%), sugerindo que o tratamento integrado é uma alternativa promissora para minimizar os compostos tóxicos presentes no efluente avaliado.

Barreto *et al.* (2009) trataram o licor negro em escala de bancada. Porém, os

autores utilizaram a combinação do processo oxidativo avançado (POA), sistema TiO_2/UV , com biológico, empregando fungo *Aspergillus* 2BNL1, isolado de um sistema de lodos ativados. Os autores empregaram um reator de vidro de 250 mL de volume útil, encamisado, irradiado por uma lâmpada de baixa pressão, de 125 W (254 nm), em que a temperatura no interior do reator foi controlada pela circulação de água na camisa do equipamento. A agitação foi realizada com agitador magnético. Avaliaram os sistemas de tratamento de forma isolada e combinados. Os tratamentos com POA ou fungos de forma isolada apresentaram baixa eficiência para redução de TOC, 17,2% e 19,8%, respectivamente. Entretanto, obtiveram melhores resultados com a combinação desses processos. A combinação do tratamento com fungos seguido de fotocatalise foi mais eficiente do que o tratamento com fotocatalise seguida de fungos, cujas reduções foram de 62% e 49%, respectivamente [5].

4 | CONSIDERAÇÕES

O licor negro apresentou altos teores lignina e carga orgânica, determinados como demanda química de oxigênio (7.615 ± 252 mg/L), elevada cor (27.065 ± 879 UC) e toxicidade frente ao microcrustáceo *Artêmia salina*, o que faz desse efluente um risco potencial para o meio ambiente, se descartado sem tratamento.

Somente com o tratamento químico, em escala industrial, foi possível obter reduções significativas de cor (93%), DQO (88%), DBO (92%) e COT (94%). Entretanto, não foram suficientes para enquadrar o efluente aos padrões de lançamento exigidos pela legislação ambiental. Então, o efluente tratado quimicamente foi submetido ao processo biológico com lodos ativados, que possibilitou reduzir ainda mais os valores de DQO (198 ± 17 mg/L), DBO (43 ± 9 mg/L) e COT (83 ± 7 mg/L), permitindo, assim seu enquadramento aos padrões de lançamento.

A toxicidade não foi eliminada totalmente pelo tratamento químico. Porém, a redução obtida permitiu tratar o efluente biologicamente, o que indica que o tratamento integrado é promissor para a remediação do licor negro.

Vale salientar dois pontos importantes: (i) este trabalho possibilitou o reaproveitamento do efluente da etapa de nitrificação, e (ii) os dados da pesquisa serviram de subsídio para projetar um sistema de lodos ativados, com capacidade nominal de $260 \text{ m}^3/\text{h}$.

REFERÊNCIAS

ADLER, E. **Lignin chemistry – past, present and future**. Wood Sci. Technol. v.11, p.169-218, 1977.

AMARAL, M. C. S.; ANDRADE, L. H.; LANGE, L. C.; Borges, C. P. **Avaliação da biotratabilidade do efluente de branqueamento de polpa celulósica por processos aeróbios e anaeróbios**. Eng. Sanit. Ambient. v.18. n 3. jul/set. p. 253-262. 2013.

APHA - AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION (AWWA), WATER ENVIRONMENTAL FEDERATION (WEF), **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 18 ed. American Public Health Association. Washington. 1992.

ASTM - AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. Methods. **D.1106-56** : Standard Test Method for Lignin in Wood. 1966

BARRETO, M.R.; SOUZA, J.V.B.; SILVA, E.S.; SILVA, F.T.; PAIVA, T.C.B. **Combined photo catalytic and fungal processes for the treatment of nitrocellulose industry wastewater**, J. Hazard. Mater. v. 161, p. 1569-573, 2009.

DURÁN N, CORDI L, ASSALIN M.R., ALMEIDA E.S., MORAES S.G. **Impacto na microbiota do lodo ativado durante a aclimação com diferentes efluentes industriais**. Engenharia Ambiental - Espírito Santo do Pinhal, v. 7, n. 3, p. 003-011, jul/set , 2010.

FENGEL, D.; WEGENER, G. **Wood Chemistry**, Ultrastructure, Reactions. Berlin: Walter de Gruyter, 1989.

GIERER, J. **The chemistry of delignification**. Part 2. Holzforchung, v. 36, n. 2, p. 55-64, 1982.

GIL-PAVAS E, GOMEZ ID, GARCÍA MAG. **Coagulation-flocculation sequential with Fenton or Photo-Fenton processes as an alternative for the industrial textile wastewater treatment**. Journal of Environmental Management 191 p. 189-197, 2017.

HARTL, M.; HUMPF, H.U. **Toxicity assessment of using the brine shrimp (Artemia salina) bioassay**. Food and Chemical Toxicology, v. 38, p. 1097-1102, 2000.

HELMY, S.A.; EL-MOTAGALI. **Polymer degradation and stability: studies of the alkaline degradation of cellulose**. Part 1. Changes in Characteristics of cellulose with time and temperature, n. 38, p. 235-238, 1992.

KOPINK, F.D.; POERSCHERMANN, J.; STOTTMERISTER, U. **Environmental science technology**. v. 29, p. 941-950, 1995.

KOSTAMO, A.; KUKKONEN, J.V.K.; HOLMBOM, B. **Fate of wood extractives in wastewater treatment plants at kraft pulp mills and mechanical pulp mills**. Water Research. 38, p. 972-982. 2004.

LI, N.; SHENG, G.-P.; LU, Y.-Z.; ZENG, R. J.; Yu, H.-Q. **Removal of antibiotic resistance genes from wastewater treatment plant effluent by coagulation**. Water Research. v 111, p. 204-212, 2017.

METCALF, L., EDDY, H.P. **Tratamento de efluentes e recuperação de recursos**: 5 ed. McGraw-Hill. 2016. 1980 p.

PAIVA, T.C.B. **Caracterização e Tratamento de Efluente de Branqueamento TCF de Indústria de Papel e Celulose**. Unicamp. Campinas/São Paulo: 1999. 77 p. (Tese de Doutorado).

ROTTA, E.; MINKEA, R.; STEINMETZB, H. **Removal of phosphorus from phosphonate-loaded industrial wastewaters via precipitation/flocculation**. Journal of Water Process Engineering. v.17, p. 188-196, 2017.

ROCHA, G.J.M., SILVA, F.T., SCHUCHARDT, U. **Improvement of a Rapid UV Spectrophotometric Method for Determination of Lignin in Alkaline Solution**. Proceedings of the third Brazilian Symposium on the Chemistry of Lignins and Other Wood Components. Programme and Abstracts. Belo Horizonte/MG: set. 8 - 10. 1993. p. 73.

- ROCHA, G.J.M., SILVA, F.T, CURVELO, A.A.S., ARAÚJO, G.T. **A Fast and Accurate Method for Determination of Cellulose and Other Wood Compon.** Proceedings. Curitiba/PR: 31 ago. - 5 set. 1997. p. 3 - 8.
- SANT'ANNA, G. L. Jr. *Tratamento biológico de efluentes: fundamentos e aplicações.* Ed. Interciência. 2 ed. Rio de Janeiro/RJ. 418p. 2013.
- SANTOS, L. F. **Sistema de lodos ativados aplicado no tratamento de efluentes oriundos das etapas de fabricação de nitrocelulose.** Lorena, 2001. 103 p. (Dissertação de Mestrado) Biotecnologia Industrial. Faculdade de Engenharia Química de Lorena. Lorena. 2001.
- SANTOS, L. F. **Caracterização e tratamento de efluentes da fabricação de nitrocelulose.** Lorena, 2006. 102 p. (Tese de Doutorado) Biotecnologia Industrial. Faculdade de Engenharia Química de Lorena. Lorena. 2006.
- SANTOS, L. F.; SILVA, F.T.; PAIVA, T.C.B. **Characterization and treatment of effluents from the three main stages of nitrocellulose production for explosives.** IJRET: International Journal of Research in Engineering and Technology. V6, Issue 3, March 2017. p. 50-54.
- SILVA, F.T. **Obtenção de Insumos Químicos a partir do Aproveitamento Integral do Bagaço de Cana.** Unicamp. Campinas/São Paulo: 1995. 106 p. (tese de Doutorado).
- TEIXEIRA, C. P. A. B.; JARDIM, W. F. **Processos oxidativos avançados: conceitos teóricos.** Caderno Temático 03. LQA/Unicamp. Campinas/SP. 2004. Disponível em <http://lqa.iqm.unicamp.br/cadernos/caderno3.pdf>. Acesso em: 31/03/2016.
- TEMMING, H., GRUNERT, H., HUCKFELDT, H. **Linters:** Technical Information on Cotton Cellulose. English Translation of the 2. ed. Revised and Augmented German Edition. 1973
- TRAN, N.; DROGUI, P.; BLAIS, J.-F.; MERCIER, G. **Phosphorus removal from spiked municipal wastewater using either electrochemical coagulation or chemical coagulation as tertiary treatment.** Separation and Purification Technology. v 95, p. 16-25, 2012.
- VON SPERLING, M. **Lodos ativados: Princípios do tratamento biológico de águas residuárias.** 4. ed. Belo Horizonte. Departamento Engenharia Sanitária e Ambiental (DESA). 2016. v. 4, 461 p.
- WANG, XC; LUO, Y; GUO, W; NGO, HH; NGHIEM, LD; HAI, FI; ZHANG, J; LIANG, S. **A review on the occurrence of micropollutants in the aquatic environment and their fate and removal during wastewater treatment.** Science of the Total Environment 473–474 (2014) 619-641.
- ZHBANKOV, R.G., SOCARRÁS, A., FIRSOV, S.P., QUINTELA, O., TEELAER, R.E. **Sobre los Derivados de la Caña de Azucar:** Estudios de los Cambios Estructurales Sufridos por la Celulosa del Bagaço Sometida a Tratamientos Alcalinos. 23: 1989. p. 52 - 55.
- ZHI-HUA, J.; DIMITRIS, S.A. **Isolation and characterization of residual lignins in kraft pulps.** Canada: Department of Chemistry. McGill University and Pulp and Paper Res. University Street, 1997. p.1-6.

SOBRE A ORGANIZADORA

CARMEN LÚCIA VOIGT Doutora em Química na área de Química Analítica e Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos pela Universidade Estadual de Ponta Grossa. Especialista em Química para a Educação Básica pela Universidade Estadual de Londrina. Graduada em Licenciatura em Química pela Universidade Estadual de Ponta Grossa. Experiência há mais de 10 anos na área de Educação com ênfase em avaliação de matérias-primas, técnicas analíticas, ensino de ciências e química e gestão ambiental. Das diferentes atividades desenvolvidas destaca-se uma atuação por resultado, como: supervisora de laboratórios na indústria de alimentos; professora de ensino médio; professora de ensino superior atuando em várias graduações; professora de pós-graduação *lato sensu*; palestrante; pesquisadora; avaliadora de artigos e projetos; revisora de revistas científicas; membro de bancas examinadoras de trabalhos de conclusão de cursos de graduação. Autora de artigos científicos. Atuou em laboratório multiusuário com utilização de técnicas avançadas de caracterização e identificação de amostras para pesquisa e pós-graduação em instituição estadual.

Agência Brasileira do ISBN
ISBN 978-85-7247-236-4

