



Impactos das Tecnologias na Engenharia Química

Carmen Lúcia Voigt
(Organizadora)

Atena
Editora

Ano 2019

Carmen Lúcia Voigt
(Organizadora)

Impactos das Tecnologias na Engenharia Química

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 [recurso eletrônico] / Organizadora Carmen Lúcia Voigt. – Ponta Grossa (PR): Atena Editora, 2019. – (Impactos das Tecnologias na Engenharia Química; v. 1) Formato: PDF Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader. Modo de acesso: World Wide Web. Inclui bibliografia ISBN 978-85-7247-237-1 DOI 10.22533/at.ed.371190304 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

Inovações tecnológicas surgem a todo o momento, em todo o mundo, sendo utilizadas como uma ferramenta estratégica para manutenção e crescimento dos negócios nas indústrias. A Engenharia Química foi uma das carreiras que mais contribuiu para a evolução da Era Industrial para a Era Moderna.

A preocupação em desenvolver produtos e processos de produção torna a Engenharia Química responsável por pesquisas e projetos em relação aos materiais que passam por mudanças físicas e químicas, adquirindo outras características.

A Engenharia Química trabalha com a manipulação de compostos e substâncias para se criar novos produtos. Estes produtos proporcionam uma melhoria na qualidade de vida humana, pois além de pesquisas relacionadas, existe a preocupação em viabilizar as invenções, criar métodos baratos e eficientes de fabricação em massa, implementando processos químico-industriais cada vez melhores, mais econômicos e mais ecológicos.

Neste primeiro volume, organizado para você, apresentamos o papel do Engenheiro Químico no mercado de trabalho, pois este aplica conhecimentos adquiridos no estudo de Química e de Engenharia para criar soluções voltadas à produção ou ao uso de substâncias químicas. É o profissional que constrói um elo entre a ciência e a manufatura. Cabe ao engenheiro químico lidar com a formulação e a solução de problemas associados à indústria química, bem como trabalhar na operação e manutenção de sistemas. Também são expostos, neste volume, trabalhos relacionados ao ensino teórico e prático de Engenharia Química.

Além disso, encontram-se trabalhos relacionados com aplicações estatísticas, simulações e otimização de processos para melhoria de utilização de produtos e subprodutos. Assim como são expostos trabalhos de caracterização de materiais e alterações em processos químicos utilizando novas técnicas de análise de produto, avaliando comportamento, característica de sistemas, propriedades físico-químicas e alteração de composição de produtos já utilizados no mercado.

Baseado nestes trabalhos, convidamos você a aperfeiçoar seus conhecimentos na área da Engenharia Química. Os trabalhos selecionados oportunizam uma nova visão de materiais, processos e técnicas na área, mostrando o impacto tecnológico no desenvolvimento da indústria e sua relação direta com a sociedade e meio ambiente.

Boa leitura.

Carmen Lúcia Voigt

SUMÁRIO

| | |
|---|-----------|
| CAPÍTULO 1 | 1 |
| O PAPEL DO ENGENHEIRO QUÍMICO NO MERCADO DE TRABALHO: PRODUÇÃO DE UM GUIA PRÁTICO DIGITAL DESTINADO AOS GRADUANDOS E DEMAIS INTERESSADOS NA PROFISSÃO | |
| Raphael Carlos Rosa Pereira Eder Dias da Silva | |
| DOI 10.22533/at.ed.3711903041 | |
| CAPÍTULO 2 | 8 |
| GAMEQ: JOGO PARA O ENSINO NA ENGENHARIA QUIMICA | |
| Riccardo Cafagna Miguel do Valle Fróes Negreiros Falcão Felipe Emmanouil Martires Stamoglou Ana Lucia Barbosa de Souza Ewerton Emmanuel da Silva Calixto Fernando Luiz Pellegrini Pessoa | |
| DOI 10.22533/at.ed.3711903042 | |
| CAPÍTULO 3 | 17 |
| ELABORAÇÃO E AUTOMAÇÃO DE PROTÓTIPO DE REATOR CSTR CONSTRUÍDO COM MATERIAIS DE BAIXO CUSTO VOLTADO À EDUCAÇÃO DE ENGENHARIA QUÍMICA | |
| Cristiane Daliassi Ramos de Souza Sauro Franceschi de Carvalho Emeson de Souza Lemos Kevelyn Carolina Motta Sbravati | |
| DOI 10.22533/at.ed.3711903043 | |
| CAPÍTULO 4 | 27 |
| PROJETO DE DIMENSIONAMENTO DE MÓDULO CONTÍNUO A PARTIR DE MATERIAIS DE BAIXO CUSTO COMO IMPLEMENTAÇÃO DO ENSINO EXPERIMENTAL DE ENGENHARIA QUÍMICA | |
| Cristiane Daliassi Ramos de Souza Igor Moraes Bezerra Calixto Sauro Franceschi de Carvalho Matheus Macedo Teixeira Rafaela Misseia Cinque de Lima Marco Antônio de Alcântara Rocha | |
| DOI 10.22533/at.ed.3711903044 | |
| CAPÍTULO 5 | 36 |
| O SIMULADOR DO FUTURO APLICADO À INDÚSTRIA | |
| Fernanda Martins | |
| DOI 10.22533/at.ed.3711903045 | |
| CAPÍTULO 6 | 43 |
| TERMODINÂMICA QUÍMICA – COMPREENDENDO DE FORÇAS INTERMOLECULARES A COEFICIENTE DE ATIVIDADE | |
| Lisandra Ferreira de Lima Admilson Lopes Vieira | |
| DOI 10.22533/at.ed.3711903046 | |

| | |
|--|------------|
| CAPÍTULO 7 | 53 |
| DETERMINAÇÃO DE CURVAS DE EQUILÍBRIO SÓLIDO-LÍQUIDO DE SOLVENTES EUTÉTICOS PROFUNDOS (DES) EMPREGANDO A CALORIMETRIA EXPLORATÓRIA DIFERENCIAL (DSC) | |
| Helena Pletsch Mariana Carolina Gipiela Corrêa Dias Marcos Rogério Mafra | |
| DOI 10.22533/at.ed.3711903047 | |
| CAPÍTULO 8 | 59 |
| ANÁLISE E DIAGNÓSTICO DE FALHAS POR TÉCNICAS ESTATÍSTICAS APLICADAS A SISTEMAS DE BOMBEAMENTO HIDRÁULICO | |
| Rebeca Albino de Jesus Ezequiel José da Silva Honorato Fábio George Nogueira Cruz José Nilton Silva | |
| DOI 10.22533/at.ed.3711903048 | |
| CAPÍTULO 9 | 73 |
| COMPARAÇÃO DE PERFIS DE VELOCIDADE OBTIDOS POR TUBO DE PITOT E POR SOFTWARE DE SIMULAÇÃO ANSYS CFX | |
| Victor Felipe Arthur Coutinho Ladeia Rosilanny Soares Carvalho Anna Clara Marques de Queiroz João Carlos Gonçalves | |
| DOI 10.22533/at.ed.3711903049 | |
| CAPÍTULO 10 | 80 |
| ENGENHARIA DE PROCESSOS: DIMENSIONAMENTO, SIMULAÇÃO E ANÁLISE DE SENSIBILIDADE DE SISTEMAS DE EVAPORAÇÃO MÚLTIPLO EFEITO DE INDÚSTRIAS DE CELULOSE <i>KRAFT</i> | |
| Jamilly Marques Gasparoni Cássia Regina Santos Nunes Almeida Gustavo Matheus de Almeida | |
| DOI 10.22533/at.ed.37119030410 | |
| CAPÍTULO 11 | 96 |
| PROJETO DE HIDROCICLONES USANDO OTIMIZAÇÃO ROBUSTA E ESTUDO DO EFEITO DA ROBUSTEZ | |
| Vitor Alves Garcia Fran Sérgio Lobato Luiz Gustavo Martins Vieira | |
| DOI 10.22533/at.ed.37119030411 | |
| CAPÍTULO 12 | 111 |
| SELEÇÃO DE VARIÁVEIS E CONTROLE DE COMPOSIÇÃO POR INFERÊNCIA DE TEMPERATURA EM PROCESSO PRODUTIVO DO ETILBENZENO | |
| Arioston Araújo de Moraes Júnior Leopoldo Oswaldo Alcazar Rojas Paulo Romero de Araujo Mariz Emanuella Francisca de Lacerda Vieira Marcelo da Silva Pedro Jonas Laedson Marinho da Silva Santos | |
| DOI 10.22533/at.ed.37119030412 | |

| | |
|---|------------|
| CAPÍTULO 13 | 119 |
| INFLUÊNCIA DA VARIAÇÃO DE PH, TEMPERATURA E TEMPO DE VAPORIZAÇÃO NO PROCESSO DE TINGIMENTO DE TECIDOS | |
| Wanyr Romero Ferreira Wilson Costa Resende Aline Pereira Leite Nunes | |
| DOI 10.22533/at.ed.37119030413 | |
| CAPÍTULO 14 | 128 |
| ANÁLISE CORROSIVA DO AÇO 304 QUANDO SUBMETIDO AO PROCEDIMENTO DE GALVANOPLASTIA | |
| Renata de Oliveira Marinho Marcelo Batista Queiroz Eudesio Oliveira Vilar Márcia Cristina de Sousa | |
| DOI 10.22533/at.ed.37119030414 | |
| CAPÍTULO 15 | 140 |
| EFEITO DA DENSIDADE DE CORRENTE NO PROCESSO DE OBTENÇÃO DE REVESTIMENTOS DE Co-W OBTIDOS POR ELETRODEPOSIÇÃO | |
| Arthur Filgueira de Almeida Bianca Oliveira Evaristo Josiane Dantas Costa Mikarla Baía de Sousa Nathália Cristina Morais Lia Fook Renato Alexandre Costa de Santana Ana Regina Nascimento Campos | |
| DOI 10.22533/at.ed.37119030415 | |
| CAPÍTULO 16 | 148 |
| FILTRO DE KALMAN ESTENDIDO E REDE NEURAL ARTIFICIAL NA ESTIMATIVA DE CONCENTRAÇÃO EM UM REATOR QUÍMICO NÃO ISOTÉRMICO | |
| Arioston Araújo de Moraes Júnior Leopoldo Oswaldo Alcazar Rojas Marcelo da Silva Pedro Paulo Romero de Araujo Mariz Emanuella Francisca de Lacerda Vieira Jonas Laedson Marinho da Silva Santos Rodrigo Marinho Guimarães | |
| DOI 10.22533/at.ed.37119030416 | |
| CAPÍTULO 17 | 153 |
| COMPÓSITO DE NANOCELULOSE BACTERIANA E NANOTUBOS DE CARBONO | |
| Guilherme Colla Vinícius Heidemann de Souza Fernanda Vieira Berti Luismar Marques Porto | |
| DOI 10.22533/at.ed.37119030417 | |

| | |
|---|------------|
| CAPÍTULO 18 | 160 |
| IMOBILIZAÇÃO DE COLÁGENO HUMANO TIPO I EM MEMBRANAS DE NANOCELULOSE BACTERIANA | |
| Ana Carolina Jorge Meyer Emily Marques dos Reis Luismar Marques Porto | |
| DOI 10.22533/at.ed.37119030418 | |
| CAPÍTULO 19 | 167 |
| CENTRIFUGATION STEP CONTROL OF CELLULOSE NANOCRYSTALS SUSPENSION BY pH AND TURBIDITY MEASUREMENTS | |
| Mayara Felix Santana Bárbara Castro Moreira Flávia Mitsue Yamashita Nilda de Fátima Ferreira Soares José Mauro de Almeida Alvaro Vianna Novaes de Carvalho Teixeira Deusanilde de Jesus Silva | |
| DOI 10.22533/at.ed.37119030419 | |
| CAPÍTULO 20 | 173 |
| ESTUDO TERMODINÂMICO DA ADSORÇÃO DO CORANTE CRISTAL VIOLETA EM NANOTUBOS DE CARBONO FUNCIONALIZADOS | |
| Leonardo Martins Vargas Gabriel Facciochi Dörtzbacher Guilherme Luiz Dotto | |
| DOI 10.22533/at.ed.37119030420 | |
| CAPÍTULO 21 | 181 |
| ESTUDO DA REOLOGIA E DA SALINIDADE DE MICROEMULSÕES À BASE DE GLICERINA PARA SEREM UTILIZADAS NA RECUPERAÇÃO DE PETRÓLEO | |
| Amanda Brito de Carvalho Fabiola Dias da Silva Curbelo Elayne Andrade Araújo Alfredo Ismael Curbelo Garnica | |
| DOI 10.22533/at.ed.37119030421 | |
| CAPÍTULO 22 | 196 |
| ORGANOFILIZAÇÃO DE ARGILAS BENTONÍTICAS PARA APLICAÇÃO EM FLUIDOS DE PERFURAÇÃO BASE MICROEMULSIONADA | |
| Renata Rodrigues Magalhães Roxana Pereira Fernandes de Sousa Alfredo Ismael Curbelo Garnica Fabiola Dias da Silva Curbelo Thaine Taumaturgo Caminha | |
| DOI 10.22533/at.ed.37119030422 | |

| | |
|---|------------|
| CAPÍTULO 23 | 201 |
| PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS E VOLUMÉTRICAS DO QUEROSENE DE AVIAÇÃO E DO BIOQUEROSENE | |
| Idila Rafaela Carvalho Gonçalves Ana Clara Cazarin Queiroz Luciana Loureiro de Pinho Rolemberg de Andrade Sílvia Maria Zanini Sebrão Krishnaswamy Rajagopal | |
| DOI 10.22533/at.ed.37119030423 | |
| CAPÍTULO 24 | 210 |
| AVALIAÇÃO REOLÓGICA DE TINTAS ACRÍLICAS COMERCIAIS E ADITIVADAS COM CARGA CONDUTORA | |
| Alex da Silva Sirqueira Mônica Cristina dos Santos Vieira Mônica Feijó Naccache Stanley Pires de Alcântara | |
| DOI 10.22533/at.ed.37119030424 | |
| CAPÍTULO 25 | 222 |
| EFEITO DA ADIÇÃO DA CINZA GASEIFICADA DE CARVÃO PULVERIZADO NA FORMULAÇÃO DE CERÂMICA VERMELHA | |
| Gabryella Cerri Mendonça Cristiano Corrêa Ferreira | |
| DOI 10.22533/at.ed.37119030425 | |
| CAPÍTULO 26 | 232 |
| TRANSFERÊNCIA DE CALOR EM SISTEMAS PARTICULADOS: DETERMINAÇÃO DA CONDUTIVIDADE TÉRMICA EFETIVA DE FERTILIZANTES GRANULADOS NA ESTAGNAÇÃO DE AR | |
| Hugo Perazzini Maira Tonon Bitti Perazzini Rayssa Caroline Ribeiro Bernardes João Marcos Cardoso Silva | |
| DOI 10.22533/at.ed.37119030426 | |
| CAPÍTULO 27 | 248 |
| DETERMINAÇÃO DA SOLUBILIDADE DA UREIA EM SOLUÇÕES AQUOSAS DE ETANOL | |
| Raquel de Oliveira Silva Ana Paula Silva Capuci Raíssa Araújo de Oliveira Campos Ricardo Amâncio Malagoni | |
| DOI 10.22533/at.ed.37119030427 | |
| CAPÍTULO 28 | 255 |
| CALIBRAÇÃO DE MEDIDORES DE VAZÃO COM ALTAS VAZÕES E VISCOSIDADES ELEVADAS: UMA ALTERNATIVA TÉCNICA À LEGISLAÇÃO BRASILEIRA DE ROYALTIES E PARTICIPAÇÕES ESPECIAIS | |
| Carlos Eduardo Ribeiro de Barros Barateiro Romulo Carlos da Silva Emerik | |
| DOI 10.22533/at.ed.37119030428 | |
| SOBRE A ORGANIZADORA | 271 |

IMOBILIZAÇÃO DE COLÁGENO HUMANO TIPO I EM MEMBRANAS DE NANOCELULOSE BACTERIANA

Ana Carolina Jorge Meyer

Universidade Federal de Santa Catarina
Florianópolis - Santa Catarina

Emily Marques dos Reis

Universidade Federal de Santa Catarina
Florianópolis - Santa Catarina

Luismar Marques Porto

Universidade Federal de Santa Catarina
Florianópolis - Santa Catarina

RESUMO: O uso de biomateriais na cicatrização de feridas têm crescido extensivamente na tentativa de suprir as necessidades não atendidas por curativos convencionais. A utilização de plataformas de nanocelulose bacteriana (BNC) torna-se interessante devido às propriedades desse hidrogel. O objetivo desse estudo foi a imobilização de colágeno, uma proteína que participa diretamente da cicatrização de feridas, em membranas de BNC visando produzir biomateriais capazes de acelerar o processo de cicatrização. A imobilização foi feita através da conversão dos grupos hidroxila da BNC a grupos carboxílicos e sua posterior ativação para que se ligassem ao grupamento amina do colágeno. Imagens de microscopia eletrônica de varredura (MEV) permitiram a visualização das fibras de colágeno na membrana produzida e a análise

por espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier confirmou a presença dos grupos funcionais previstos. Quando testado quanto à citotoxicidade, o material se provou não citotóxico e conseqüentemente com potencial para ser testado na reparação tecidual.

PALAVRAS-CHAVE: biomateriais; colágeno, cicatrização.

ABSTRACT: The use of biomaterials in wound healing is growing extensively in an attempt to provide some of the wound's needs not met by conventional dressings. Therefore, the use of bacterial nanocellulose (BNC) scaffolds becomes interesting due to the properties of this hydrogel. The purpose of this study was to immobilise collagen, a protein that has an important role in wound healing, on BNC membranes aiming to produce a biomaterial capable of accelerating the healing process. The immobilisation occurs by converting the hydroxyl groups of BNC to carboxyl groups and subsequently activating them to form chemical bonds with collagen's amine groups. Images obtained from scanning electron microscopy (SEM) allowed the visualisation of the collagen fibers on the membranes that were produced and an analysis by Fourier-transform infrared spectroscopy (FTIR) confirmed the presence of the expected functional groups on the material.

The collagen-BNC membranes were also proved to be non-cytotoxic and consequently with great potential to be applied to tissue repair.

KEYWORDS: biomaterials, collagen, wound healing.

1 | INTRODUÇÃO

A cicatrização de feridas envolve uma série de interações entre mediadores de citocinas, diferentes tipos de células e os componentes da matriz extracelular (MEC) no decorrer das fases da cicatrização (Brett, 2008). Para auxiliar o processo, tratamentos adequados são fundamentais. Os métodos mais comuns utilizam materiais que visam não deixar as feridas expostas e manter o meio úmido, para evitar traumas, reduzir a dor, aumentar a vascularização e promover a cicatrização (Field, Kerstein, 1994).

Biopolímeros são amplamente utilizados em medicina regenerativa como curativos alternativos para feridas e queimaduras, devido à sua biocompatibilidade, biodegradabilidade, baixo custo e semelhança com a MEC (Balakrishnan, Jayakrishnan, 2005). A nanocelulose bacteriana (BNC) é um biopolímero que possui nanoestrutura fibrilar semelhante à MEC (Rambo et al., 2008). Sua estrutura porosa tridimensional confere-lhe propriedades únicas, como a alta capacidade de retenção de água, resistência mecânica, alta porosidade e biocompatibilidade (Klemm et al., 2011; Trovatti et al., 2011). Devido a estas propriedades, existe um crescente interesse de pesquisa no desenvolvimento de materiais com aplicação em cicatrização de feridas e queimaduras (Muangman et al., 2011; Kwak et al., 2015). No entanto, a BNC tem baixa bioatividade e atividade química se comparado à MEC. Assim, a introdução de grupos ativos na superfície das nanofibras da BNC é necessária para melhorar o desempenho deste material na reparação tecidual.

O colágeno, principal componente da MEC, tem sido indicado como acelerador do processo de cicatrização (Lee et al., 2001), auxiliando na migração e estratificação das camadas de células como fibroblastos e queratinócitos (Brett, 2008). Por esse motivo, muitos autores já trabalharam com algum tipo de material polimérico e colágeno (Lu et al., 2014, Souza, 2015), entretanto, as ligações físicas que foram realizadas para a produção desses materiais não são tão eficientes quanto as ligações químicas – sendo estas mais eficazes quando se visa um processo de cicatrização prolongado. Assim, o objetivo deste trabalho foi a funcionalização de membranas de BNC com colágeno humano tipo I (COL) para o desenvolvimento de um material com propriedades aplicáveis a cicatrização de feridas.

2 | MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Materiais

Todos os reagentes foram comprados de Sigma-Aldrich Brasil Ltd. e utilizados conforme recebidos, exceto quando mencionado.

2.2 Produção da BNC

As membranas de BNC foram produzidas pelo cultivo da bactéria *Gluconacetobacter hansenii*, ATCC 23769. Primeiramente, 100 μ L de inóculo foram plaqueados em meio manitol ágar. Após 7 dias de cultivo a 26 °C, 30 colônias isoladas foram selecionadas e inoculadas em 5 mL de meio manitol (25 g-L⁻¹), extrato de levedura (5,0 g-L⁻¹) e peptona (3,0 g-L⁻¹), esterilizado (pH 6,5). Subsequentemente, 5 mL do inóculo foram adicionados à 45 mL de meio manitol e a solução foi transferida para placas de 24 poços (1 mL/poço) e mantida em cultura estática à 26 °C durante 4 dias. No fim, as membranas formadas foram removidas e purificadas em NaOH (0,1 M) à 50°C por 24 h e finalmente lavadas com água destilada até atingirem pH 6,5.

2.3 Produção da BNC-COL

As membranas de BNC produzidas na etapa anterior foram oxidadas com HNO₃/H₃PO₄-NaNO₂ como descrito por Kumar e Yang (2002), para converter os grupos hidroxilas livres da BNC em grupos carboxilas. As membranas foram imersas em uma solução de ácido nítrico e ácido fosfórico 2:1 (v/v) e após foi acrescentado nitrito de sódio (p/v). A mistura permaneceu com leve agitação, em ambiente sem a presença de luz, por 24 h. Posteriormente, as membranas oxidadas (BNC-OX) foram transferidas para uma solução 0,2% (p/p) de glicerol durante 15 minutos para remover o oxidante. Por fim, foram lavadas com acetona e deixadas secar por 30 minutos a 25 °C.

A imobilização de colágeno foi realizada conforme retratado por Liu e colaboradores (2005) e Li e colaboradores (2008). Resumidamente, as membranas BNC-OX foram imersas em tampão 0,02M de MES (ácido 2-morfolinoetanosulfônico monohidratado), pH 4,5, contendo EDC (1-etil-3-(3-dimetilaminopropil) carbodiimida)/NHS (N-hidroxisuccinimida) 0,01M (1:1) durante 24 h a 4 °C com agitação, para a ativação dos grupos carboxílicos de BNC-OX. Após, as membranas foram imersas em uma solução de 0,1-mg-mL⁻¹ de colágeno humano tipo I por 24 h à 4 °C. As membranas resultantes (BNC-COL) foram lavadas com PBS três vezes e posteriormente foi realizada uma última lavagem com água deionizada.

2.4 Caracterização da BNC-COL

A técnica de espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier (FTIR) foi utilizada para confirmar a presença de alterações específicas dos grupos funcionais em BNC- COL. Os espectros de infravermelho foram registrados em um

espectrofotômetro Agilent (modelo Carry 600), com resolução de 4 cm⁻¹, no intervalo de 4000 – 600 cm⁻¹. Além disso, foi realizada a análise morfológica da superfície das membranas por microscopia eletrônica de varredura (MEV) através do aparelho JEOL JSM-6390LV operando a 10kV.

2.5 Citotoxicidade

A citotoxicidade das membranas BNC-COL foi avaliada por contato direto, de acordo com a ISO 10993-05. Membranas de BNC foram utilizadas como controle. Fibroblastos de camundongo imortalizados (L929) foram cultivados em DMEM (Dulbecco's Modified Eagle's Medium) suplementado com 10% de soro fetal bovino e 1% de penicilina/estreptomicina. As células foram cultivadas com uma densidade de 9×10^3 células-cm⁻² em placas de 24 poços por 24 h em ambiente contendo 5% CO₂ à 37 °C. Posteriormente, membranas de BNC e BNC-COL foram adicionadas aos poços. Após 1, 3 e 7 dias de cultura a atividade metabólica das células foi avaliada pelo ensaio de MTS [3- (4,5- dimetiltiazol-2-il) -5-(3-carboximetoxifenil)-2-(4-sufofenil)-2H-tetrazólio] de acordo com as instruções (Promega Biotecnologia do Brasil, Ltda. (São Paulo, SP)). As placas de cultura foram mantidas em uma atmosfera umidificada a 5% de CO₂ à 37 °C durante 2 h. A absorbância das soluções sobrenadantes foi medida por leitor Micro ELISA a 490 nm.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Caracterização da BNC-COL

A Figura 1 apresenta os espectros de FTIR das membrana de BNC e BNC-COL. O espectro da BNC apresenta bandas características desse material, onde a banda de absorção atribuída ao grupo hidroxila e a ligação de hidrogênio é observada em 3343 cm⁻¹ (Choi et al., 2004), presente também em BNC-COL. A confirmação da imobilização de colágeno nas membranas BNC-COL é feita através da identificação do grupamento amida I a 1652 cm⁻¹, além das bandas para amida II e III em 1523 cm⁻¹ e 1236 cm⁻¹ (Payne; Veis, 1988), respectivamente.

A morfologia da superfície das membranas foi analisada por MEV. A Figura 2a apresenta uma típica imagem de BNC, onde observa-se uma estrutura tridimensional bem organizada com poros interconectados, formada por uma rede entrelaçada de nanofibras. Essas características foram preservadas após a imobilização do colágeno, como pode ser visto na Figura 2b. Sendo assim, as propriedades e a aplicabilidade da BNC, que se devem às características citadas (Klemm et al., 2011; Trovatti et al., 2011), continuam presentes em BNC-COL. Nessa membrana, as fibras de colágeno aparentam estar dispostas de maneira irregular, estando tanto na superfície como preenchendo a estrutura da nanocelulose. Os cristais que estão presentes na Figura 2b correspondem à presença de NaCl, como observado por Souza (2015).

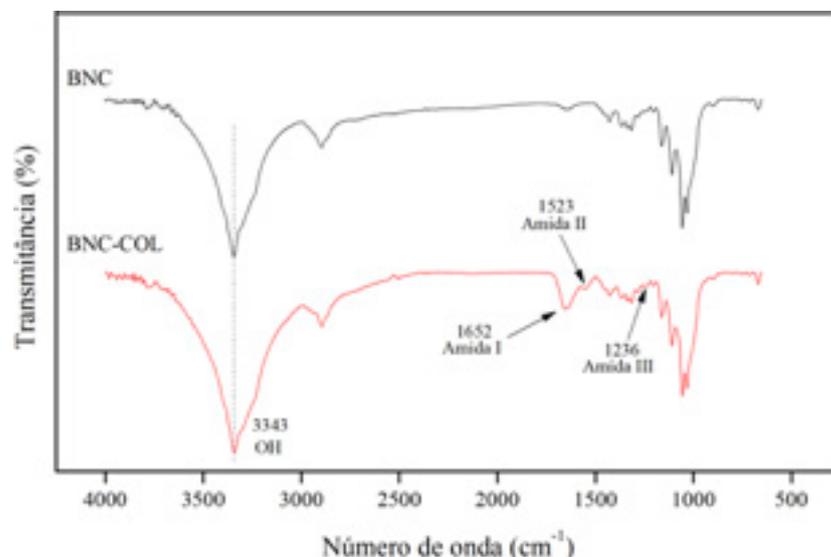


Figura 1 – FTIR das membranas BNC e BNC-COL.

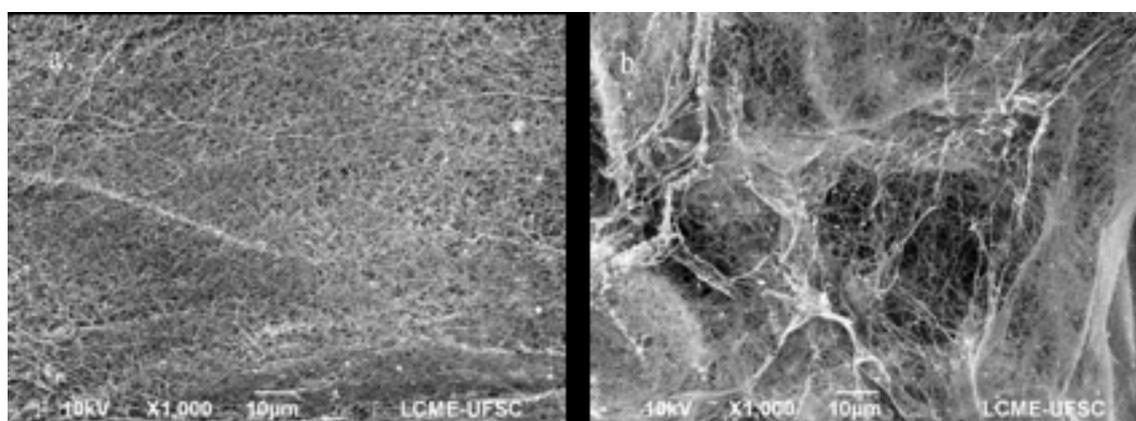


Figura 2 – MEV da superfície das membranas (a) BNC e (b) BNC-COL

3.2 Citotoxicidade da BNC-COL

As membranas de BNC são consideradas materiais não citotóxicos, como constatado por Czaja e colaboradores (2007). Para analisar se a imobilização do colágeno interfere no potencial citotóxico das membranas de BNC foi realizado um ensaio de citotoxicidade. Os resultados obtidos através do teste de MTS mostraram que as membranas de BNC e BNC- COL não induziram uma resposta citotóxica após 7 dias em contato com as células, de acordo com a norma ISO-10993-5: 2009. Após 1 e 3 dias de cultura, a atividade metabólica das membranas em contato com BNC e BNC-COL foram semelhantes. Entretanto, depois de 7 dias de cultura, houve um aumento significativo de 99,8% da atividade metabólica das células em contato com BNC-COL, se comparado à BNC (Figura 3).

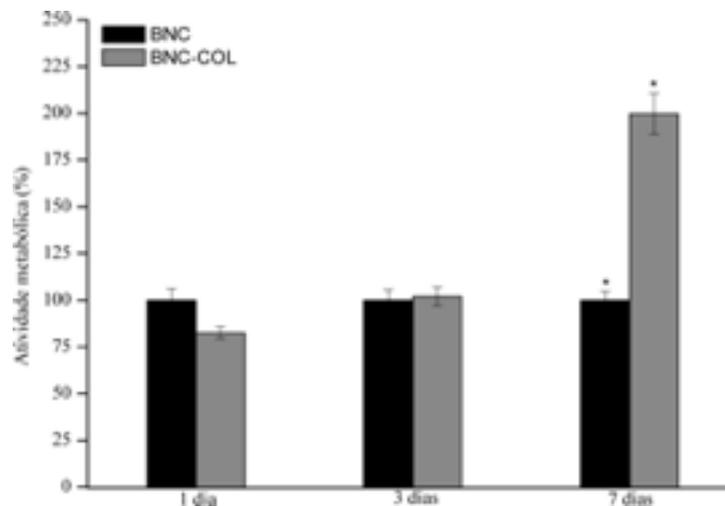


Figura 3 – Atividade metabólica de células L929 após contato direto com as membranas de BNC e BNC-COL por 7 dias. * Diferença significativa, $P < 0.05$.

4 | CONCLUSÃO

As membranas BNC-COL foram obtidas através de ligações covalentes entre os grupamentos amina do colágeno e carboxílicos da BNC. Os resultados do FTIR confirmaram a imobilização química do colágeno nas membranas produzidas e as imagens de MEV mostraram que essa imobilização não alterou a microestrutura do material. A análise de citotoxicidade confirmou que o material não afetou negativamente a atividade metabólica das células L929. Sendo assim, as membranas BNC-COL poderão ser vantajosas quando utilizadas para aceleração do processo de cicatrização de feridas.

REFERÊNCIAS

BALAKRISHNAN, B.; JAYAKRISHNAN, A. Self-cross-linking biopolymers as injectable in situ forming biodegradable scaffolds. *Biomaterials*, v. 26, n. 18, p. 3941-3951, 2005.

BRETT, D. A review of Collagen and Collagen-based Wound Dressings. *Wounds*, v.20, n. 12, p. 347-356, 2008.

CHOI, Y. et al. Preparation and characterization of acrylic acid-treated bacterial cellulose cation-exchange membrane. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, v. 79, p. 79-84, 2004.

CZAJA, W. K. et al. The future prospects of microbial cellulose in biomedical applications. *Biomacromolecules*, v. 8, n. 1, p. 1-12, 2007.

FIELD, F. K.; KERSTEIN, M. D. Overview of wound healing in a moist environment. *The American Journal of Surgery*, v. 167, n. 1A, p. 2S-6S, 1994.

International Organization for Standardization. "Biological Evaluation of Medical Devices Part 5: Tests for In Vitro Cytotoxicity," ISO 10993-5., vol. 5, pp. 1 – 52, 2009.

KLEMM, D. et al. Nanocelluloses: A new family of nature-based materials. *Angewandte Chemie*

International Edition, v. 50, n. 24, p. 5438-66, 2011.

KUMAR, V.; YANG, T. HNO₃/H₃PO₄-NANO₂ mediated oxidation of cellulose - Preparation and characterization of bioabsorbable oxidized celluloses in high yields and with different levels of oxidation. *Carbohydrate Polymers*, v. 48, n. 4, p. 403–412, 2002.

KWAK, M. H. et al. Bacterial cellulose membrane produced by *Acetobacter* sp. A10 for burn wound dressing applications. *Carbohydrate Polymers*, v. 122, p. 387-398, mai. 2005.

LEE, C. H.; SINGLA, A.; LEE, Y. Biomedical applications of collagen. *International Journal of Pharmaceutics*. v. 221, n. 1, p. 1-22, 2001.

LI, W. et al. Electrospun nano fibers immobilized with collagen for neutral stem cells culture. *Journal of Materials Science: Materials in Medicine*, v. 19, p. 847-854, 2008.

LIU, T. Y. et al. Hemocompatibility and anaphylatoxin formation of protein-immobilizing polyacrylonitrile hemodialysis membrane. *Biomaterials*, v. 26, n. 12, p. 1437–1444, 2005.

LU, T. et al. Composite aerogels based on dialdehyde nanocellulose and collagen for potential applications as wound dressing and tissue engineering scaffold. *Composites Science and Technology*, v. 94, p. 132-138, 2014.

MUANGMAN, P. et al. Efficiency of microbial cellulose dressing in partial-thickness burn wounds. *The Journal of The American College of Certified Wound Specialists*, v. 3, p. 16–9, 2011.

PAYNE, K. J.; VEIS, A. Fourier Transform IR Spectroscopy of Collagen and Gelatin Solution: Deconvolution of the Amide I Band for Conformational Studies. *Biopolymers*, v. 27, p. 1749-1760, 1988.

RAMBO, C. R. et al. Template assisted synthesis of porous nanofibrous cellulose membranes for tissue engineering. *Materials Science and Engineering: C*, v. 28, n. 4, p. 549-554, 2008.

SOUZA, D. J. de. Incorporação de colágeno de rã-touro em membranas de nanocelulose visando aplicação em medicina regenerativa. 2015. 115 f. Dissertação de Mestrado - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Santa Catarina.

TROVATTI, E. et al. Gluconacetobacter sacchari: An efficient bacterial cellulose cell-factory. *Carbohydrate Polymers*, v. 86, n. 3, p. 1417-1420, 2011.

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 978-85-7247-237-1

