

ANAIS

**III CONGRESSO DE ENGENHARIA DE
BIOPROCESSOS E BIOTECNOLOGIA**



ISSN 2595-9182

Universidade Federal de São João del-Rei

05 a 07 de julho

Ouro Branco

Minas Gerais



**III CONGRESSO REGIONAL DE ENGENHARIA DE
BIOPROCESSOS E BIOTECNOLOGIA**
05 a 07 de julho de 2023 Ouro Branco, Minas Gerais, Brasil



Universidade Federal
de São João del-Rei





Sumário

Apoiadores.....	4
III Congresso de Engenharia de Bioprocessos e Biotecnologia.....	5
Organização.....	6
 Comissão Científica.....	8
Programação IIISIMBIO.....	11
Temas dos trabalhos apresentados.....	13
Trabalhos Completos.....	17

Apoiadores



Universidade Federal
de São João del-Rei



GERDAU

analítica



CREA-MG
Conselho Regional de Engenharia
e Agronomia de Minas Gerais



AAA
ASSOCIAÇÃO DOS APOSENTADOS
E PENSIONISTAS DE OURO BRANCO

III Congresso de Engenharia de Bioprocessos e Biotecnologia

A Biotecnologia tem sido considerada mundialmente uma das áreas de maior impacto científico e econômico nas últimas décadas, por meio dela é possível melhorar a qualidade de vida das pessoas nas mais diversas áreas da sociedade, como saúde, produção agrícola, meio ambiente etc.

Quando a biotecnologia encontra a engenharia ela se eleva à sua máxima potencialidade, pois, a engenharia com seus processos, e capacidade de escalonamento, coloca os produtos biotecnológicos ao alcance da população.

A coordenação do Curso de Engenharia de Bioprocessos se empenha em fazer com que a sociedade servida por esses profissionais, os conheça cada dia mais. Fazendo a gestão de um curso de qualidade e divulgando a engenharia de bioprocessos, bem como a biotecnologia, para a sociedade e empresas, por diferentes meios. Um deles é a promoção de eventos como esse.

Devido a Pandemia da COVID-19, o evento foi postergado de 2021 para 2023. Entretanto, não ficamos parados e o curso foi conectado com diferentes instituições políticas, de pesquisa e empresariais para que houvesse maior divulgação do curso e alcançasse o caráter regional do evento.

A terceira edição do SIMBIO, continua a missão de divulgar a Engenharia de Bioprocessos e a Biotecnologia. Obteve-se, pela primeira vez o alcance regional do evento, através de novas parcerias, com a Universidade Estadual Paulista (UNESP) e as empresas Analítica e LAC, produtos laboratoriais. O evento foi grandioso, com mais de 120 participantes.

Mas queremos mais, queremos tornar este evento um marco nacional para atrair mais alunos, profissionais e empresas, para que possamos convergir o encontro desses atores do setor em networking, parcerias e empregos.

A quarta edição do evento acontecerá em 2025, esperamos vocês por lá

Organização

Comissão Geral

- Prof. Dr^a. Isabel Cristina Braga Rodrigues - Docente do Departamento de Química, Biotecnologia e Engenharia de Bioprocessos (DQBIO), UFSJ.
- Prof. Dr^a. Daniela Leite Fabrino - Docente do Departamento de Química, Biotecnologia e Engenharia de Bioprocessos (DQBIO), UFSJ.
- Vithoria Maria Berçot Pitta – Discente de Engenharia de Bioprocessos pela Universidade Federal de São João del-Rei.
- Gustavo Medeiros de Souza – Discente de Engenharia de Bioprocessos pela Universidade Federal de São João del-Rei.
- Tainá Cristina Ignacio da Silva – Discente de Engenharia de Bioprocessos pela Universidade federal de São João del-Rei.
- Daniele Gonçalves de Oliveira - Discente de Pós-graduação pela Universidade Estadual Paulista.

Comissão Acadêmica

- Prof. Dr. Boutros Sarrouh - Docente do Departamento de Química, Biotecnologia e Engenharia de Bioprocessos (DQBIO), UFSJ.
- Prof. Dr^a. Elídia Maria Guerra - Docente do Departamento de Química, Biotecnologia e Engenharia de Bioprocessos (DQBIO), UFSJ.
- Prof. Dr. José Carlos de Magalhães – Docente do Departamento de Química, Biotecnologia e Engenharia de Bioprocessos (DQBIO), UFSJ.
- Prof. Dr. Rafael Mafra de Paula Dias – Docente do Departamento de Química, Biotecnologia e Engenharia de Bioprocessos (DQBIO), UFSJ.
- Gabriel Loureiro Barbosa Aguiar – Discente de Engenharia de Bioprocessos, pela Universidade Federal de São João del-Rei.
- Wellington Luís Oliveira de Souza Filho – Discente de Engenharia de Bioprocessos pela Universidade Federal de São João del-Rei.

Comissão de Logística

- Prof. Me. Marília Magalhães Gonçalves - Docente do Departamento de Química, Biotecnologia e Engenharia de Bioprocessos (DQBIO), UFSJ.
- Prof. Dr^a. Sandra de Cássia Dias - Docente do Departamento de Química, Biotecnologia e Engenharia de Bioprocessos (DQBIO), UFSJ.
- Kesia Cristina Costa Maia – Discente de Engenharia de Bioprocessos, pela Universidade Federal de São João del-Rei.
- Letícia Inouhe Ziliotti – Discente de Engenharia de Bioprocessos, pela Universidade Federal de São João del-Rei.

Comissão de Infraestrutura

- Prof. Dr^a. Alessandra Costa Vilaça - Docente do Departamento de Química, Biotecnologia e Engenharia de Bioprocessos (DQBIO), UFSJ.
- Prof. Dr. Ênio Nazaré de Oliveira Junior - Docente do Departamento de Química, Biotecnologia e Engenharia de Bioprocessos (DQBIO), UFSJ.
- Prof. Dr. Igor José Boggione Santos - Docente do Departamento de Química, Biotecnologia e Engenharia de Bioprocessos (DQBIO), UFSJ.
- Felipe Ramalho Estanislau – Discente de Engenharia de Bioprocessos, pela Universidade Federal de São João del-Rei.
- Ana Letícia Lima de Souza – Discente de Engenharia de Bioprocessos, pela Universidade Federal de São João del-Rei.
- Patrícia Avelar Ribeiro – Discente de Engenharia de Bioprocessos, pela Universidade Federal de São João del-Rei.
- Gabriel Loureiro Barbosa Aguiar – Discente de Engenharia de Bioprocessos, pela Universidade Federal de São João del-Rei.

Comissão de Marketing

- Prof. Dr^a. Daniela Leite Fabrino - Docente do Departamento de Química,

Biotecnologia e Engenharia de Bioprocessos (DQBIO), UFSJ.

- Marcos Gomes Machado – Discente de Engenharia de Bioprocessos, pela Universidade Federal de São João del-Rei.
- Pedro Henrique Estanislau Villar – Discente de Engenharia de Bioprocessos, pela Universidade Federal de São João del-Rei.
- Rebeca Rocha Batista – Discente de Engenharia de Bioprocessos, pela Universidade Federal de São João del-Rei.

Comissão Financeira

- Prof. Dr^a. Ana Maria de Oliveira - Docente do Departamento de Química, Biotecnologia e Engenharia de Bioprocessos (DQBIO), UFSJ.
- Prof. Dr. Gabriel de Castro Fonseca - Docente do Departamento de Química, Biotecnologia e Engenharia de Bioprocessos (DQBIO), UFSJ.
- Daniel de Freitas Rodrigues – Discente de Engenharia de Bioprocessos, pela Universidade Federal de São João del-Rei.
- Roberto Guimarães da Cunha Filho – Discente de Engenharia de Bioprocessos, pela Universidade Federal de São João del-Rei.
- Elton de Oliveira Barreto – Discente de engenharia de Bioprocessos, pela Universidade Federal de São João del-Rei.
- Robert William Rodrigues da Silva – Discente de Engenharia de Bioprocessos, pela Universidade Federal de São João del-Rei.

Comissão Científica

Alimentos e Agricultura

- Prof. Dr. Mário Antônio Alves da Cunha – Docente do Programa de Pós-graduação em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos (PPGTP) e Programa de Pós-graduação em biotecnologia (PPGBIOTEC) pela UTFPR.
- Prof. Dr^a. Valéria de Carvalho Santos Ebinuma – Docente do Departamento de Engenharia de Bioprocessos e biotecnologia, na faculdade de ciências farmacêuticas, pela UNESP.

Saúde

- Ranieli Paiva Lopes – Discente do programa de Pós-graduação em

Biotecnologia (PPGBIOTEC) pela UFSJ.

- Marcela de Sá Hauck – Discente do Programa de Pós-graduação em Bioquímica Aplicada (BQA), pela UFV.
- Thaís de Fátima Silva Moraes – Discente do Programa de Pós Doutorado em Microbiologia: Educação, Biotecnologia e Saúde Única pela UFMG.
- Rita Alaide Leandro Rodrigues - Discente do programa de Pós-graduação em Biotecnologia (PPGBIOTEC) pela UFSJ.
- Danielle B. Pedrolli – Docente do Departamento de Engenharia de Bioprocessos e Biotecnologia, pela UNESP,

Ciências Básicas e engenharias

- Fernanda Carlos Monteiro - Discente do programa de Pós-graduação em Engenharia Química (PPGEQ) pela UFU.
- Prof. Dr^a. Liliâne Catone Soares – Docente do Departamento de Química, pela UFOP.
- Prof. Dr^a. Raquel Andrade Donagemma – Docente do Departamento de Química Analítica, Instituto de Química, pela UFF.
- Elizângela Teixeira de Souza Neves - Docente
- Paulo Henrique da Silva - Docente

Meio Ambiente

- Suzimara Reis da Silva - Docente do curso de Engenharia Química, pela UFMG.
- Prof. Dr^a. Liliâne Catone Soares – Docente do Departamento de Química, pela UFOP.
- Prof. Dr^a. Raquel Andrade Donagemma – Docente do Departamento de Química Analítica, Instituto de Química, pela UFF.
- Elizângela Teixeira de Souza Neves - Docente

Indústria e Processos industriais

- Prof. Dr^a. Ariela Veloso de Paula – Docente do Departamento de Engenharia de Bioprocessos e Biotecnologia, pela UNESP.
- Prof. Dr^a. Valéria de Carvalho Santos Ebinuma – Docente do Departamento de Engenharia de Bioprocessos e biotecnologia, na faculdade de ciências farmacêuticas, pela UNESP.



Programação III SIMBIO

05 de Julho			
Horário	Atividade	Convidado	Título da palestra
8h às 19h	Check-in		
08:30h às 17:00h	Minicursos	Priscila Gonçalves Ferreira (UFSJ)	Introdução ao docking molecular
		Alessandra Costa Vilaça	A inovação do processo de produção de cerveja no mercado de Bebidas
		Rafael Mafra de Paula Dias	Produção de Biodiesel
19:00h às 20:00h	Abertura		
20:00h às 21:00h	Eduardo Brito Bastos	MyCarbon	Créditos de Carbono
21:00h	Coquetel		

06 de Julho			
Horário	Atividade	Convidado	Tema
07:30h às 12:00h	Visita Técnica	Gerdau	Biocentro Germinar
10:30h às 11:30h	Palestra Acadêmica	Guilherme Liziero	Desafios da Siderurgia com foco na redução de emissões de CO2
11:30h às 13:30h	Almoço		
13:00h às 14:30h	Palestra Acadêmica	Leveduras Nacionais na produção de cerveja. Um caminho para a escola brasileira de cervejas?	Luciana Brandão
14:30h às 15:45h	Sessão de pôsteres das áreas de Saúde, Meio Ambiente e Agricultura		
16:30h às 17:30h	Palestra Acadêmica	Artur Granato	Desafios durante o scale-up de processos químicos
17:30h às 19h	Sessão Oral		

19:00h às 20:30h	Mesa Redonda
---------------------	--------------

07 de Julho			
Horário	Atividade	Convidado	Tema
13:30h às 14:30h	Palestra Acadêmica	Tiago Mendes	Desenvolvimento de biomateriais e biomiméticos industriais: da concepção ao mercado
14:30h às 15:45h	Apresentação de pôsteres		
16:30h às 17:30h	Palestra Acadêmica	Vanya Marcia Duarte Pasa	Biocombustíveis do futuro
17:30h às 19:00h	Sessão Oral		
19:00h às 20:00h	Palestra de Encerramento	Fernanda Leite Lobo	Do esgoto a Energia. Como o esgoto pode ser visto como uma fonte de energia ao invés de um poluente?
20:00h às 20:30h	Premiação		



Temas dos trabalhos apresentados

Alimentos e Agricultura

- Atividade sinérgica de peptídeo e antibiótico contra isolados de *Staphylococcus Aureus* de mastite bovina.
- Comportamento térmico de goma xantana e de blendas produzidas a partir do resíduo da agroindústria.
- Eficiência Sanitizante da nanoestrutura de ZnO para Remoção de Biofilmes Bacterianos.
- Efeito anti-biofilme de exopolissacarídeos de *Bacillus ssp.* contra *Staphylococcus Aureus* isolados de mastite bovina .
- Produção de blendas poliméricas a partir de PVA e goma de xantana para aplicações em embalagens para alimentos.
- Produção e caracterização de biofilmes de quitosana e nanoquitosana de diferentes massas molares.
- Tratamento pós-colheita de *citrus reticulata* cv. Ponkan utilizando quitosana e nanopartículas de quitosana.

Saúde

- Caracterização de filmes de quitosana para uso como suporte para biocurativos.
- Modelagem comparativa para prospecção da oxido nítrico sintase no *Trypanosoma cruzi*.
- A importância da análise microbiológica nos casos de intoxicação exógena para se evitar subnotificações.
- Avaliação de desempenho fotoprotetor: segurança e efetividade.
- Intoxicação por uso de cosméticos: uso racional e armazenamento correto.
- Investigando o efeito de formas monoméricas e diméricas de flavonoides na

infecção pelo vírus chikungunya.

- Possível uso do nematoide *Caenorhabditis elegans* em substituição a cultura de células para ensaios com antivirais e testes de citotoxicidade.
- Prospecção de atividade antiviral em extratos derivados da própolis verde e vermelha.
- Síntese e estudo da atividade inibitória in vitro E in silico de derivados furyl acrílicos e ferúlicos sobre a TYR e AChE.
- Atividade antiviral contra o vírus chikungunya em extratos e compostos de *Tontelea micrantha* (Celastraceae)

Ciências Básicas e Engenharias

- Análise da inteligência artificial na área de engenharia.
- Caracterização molecular de populações de microrganismos presentes em processos de biooxidação.
- Efeito da β -ciclodextrina nas propriedades térmicas de nanossensores à base de poliacetilenos (PDA).
- Análise de parâmetros operacionais de células de energia microbiana.
- Avaliação de soft skills de alunos do curso de engenharia, empregabilidade e influência da participação em projetos de extensão.
- Avaliação de meios de cultura para a produção da surfactina a partir de cepas de *Bacillus* sp.
- Síntese de derivados de glicerol candidatos a supressores de poeira para a mineração.
- Produção de riboflavina por *Bacillus subtilis*: Impacto na Inclusão de impelidores em cultivo agitado.

Meio Ambiente

- Adaptação de *Aspergillus niger* em meio contendo cianeto para aplicações no

tratamento de efluentes líquidos industriais.

- Análise da eficiência da remoção de amônia de uma estação de tratamento de efluente industrial.
- Análise do efeito de diferentes concentrações de soro de leite e estrume bovino na produção de biogás.
- Análise do crescimento da microalga *Chlorella sorokiniana* na presença de detergente comercial.
- Aplicação de redes neurais artificiais na performance de células de energia microbiana.
- Avaliação de membranas separadoras em células de energia microbiana com bactérias redutoras de sulfato.
- Avaliação de supressores químicos na diminuição da poeira formada em mineradoras de ferro
- Avaliação do uso de biocarvão como ânodo em células de energia microbiana soil-based.
- Bioprospecção de microrganismos com potencial para degradação de cianeto em efluentes líquidos industriais.
- Biossíntese de goma xantana a partir de nutrientes extraídos do bagaço da cana de açúcar.
- Cultivo mixotrófico das microalgas *Chlorella sorokiniana* e *Scenedesmus* sp. visando a produção de óleos.
- Otimização do crescimento de *Aspergillus niger* na presença de cianeto.
- Sistema simplificado de tratamento de esgoto: associação de filtro anaeróbio e wetlands.
- Tratamento químico do carvão de osso bovino como material de ânodo em células de energia microbiana.
- Remoção de boro em efluentes aquosos utilizando biocarvão produzido com bagaço da cerveja artesanal.
- Gestão de resíduos de aulas experimentais de laboratório de química orgânica

e analítica da UFSJ.

Indústrias e Processos Industriais

- Avaliação das condições ótimas de extração de pectina por via ácida do fruto de macaúba (*Acrocomia aculeata*).
- Extração de Pectina da polpa de macaúba (*Acrocomia aculeata*) por meio de ácido acético.
- Obtenção de açúcares redutores a partir de um blend de resíduos agroindustriais.
- Obtenção da pectina da torta de macaúba *Acrocomia aculeata* por via ácida, utilizando ácido clorídrico.
- Otimização da hidrólise ácida do amido extraído da fruta-de-lobo.
- Uso de nanocelulose bacteriana para adsorção de Co (II) proveniente de efluentes de mineração.
- Produção de etanol por *Saccharomyces cerevisiae* a partir de semente de araticum (*Annona Crassiflora*)



ATIVIDADE SINÉRGICA DE PEPTÍDEO E ANTIBIÓTICO CONTRA ISOLADOS DE *Staphylococcus aureus* DE MASTITE BOVINA

Katialaine C. A. Domingues (PG),¹ Yasmin Neves Vieira Sabino (PG),¹ Rodrigo G. Dias (PG),¹ Ana Júlia Moreira (PG),¹ Leandro L. Oliveira (PQ),² José Lino Neto (PQ),² Linda Oyama (PQ),³ Sharon Huws (PQ),³ Hilário C. Mantovani (PQ)^{1,4}

¹Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Microbiologia, ²Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Biologia geral, ³Queen's University Belfast, School of Biological Sciences, ⁴University of Wisconsin-Madison, Department of Animal and Dairy Sciences.

*e-mail: katialaine@yahoo.com.br

Palavras-Chave: *Terapia combinatória, Resistência a antibióticos, Peptídeos antimicrobianos.*

1. Introdução

A mastite bovina é uma doença inflamatória das glândulas mamárias que ocorre em resposta a infecções microbianas¹. Após décadas de aprimoramento tecnológico no setor leiteiro e apesar da ampla implementação de programas de controle, a mastite continua sendo um dos principais desafios para os produtores de leite¹. A mastite é considerada a doença mais onerosa do setor leiteiro em todo o mundo, sendo responsável pela redução da produção de leite, extensivo descarte, elevados custos em serviços veterinários, redução da qualidade do produto e abate prematuro dos animais².

Staphylococcus aureus tem estado historicamente entre as causas mais comuns de mastite¹. Classificado como um patógeno contagioso, *S. aureus* é adaptado para sobreviver dentro da glândula mamária sendo eficiente no estabelecimento de infecções crônicas subclínicas³. A baixa taxa de cura, a transmissão entre animais durante a ordenha e o surgimento de cepas resistentes a antibióticos colocam o *S. aureus* entre os alvos mais frequentes da terapia medicamentosa e de estudos de novos medicamentos^{4,5}.

O tratamento da mastite bovina representa a causa mais frequente de uso de antibióticos em fazendas leiteiras. No entanto, embora *S. aureus* seja suscetível a uma ampla gama de antibióticos *in vitro*, as taxas de cura *in vivo* são menores do que o esperado. Frequentemente, as infecções tornam-se crônicas, sendo necessário o abate do animal afetado⁶. Terapias combinadas conferem uma estratégia para contornar as limitações da monoterapia, melhorando a cobertura e eficácia. A combinação de antibióticos com compostos que melhoram sua atividade tem sido proposta como uma solução potencial para o crescente problema da resistência a antibióticos e uma forma de prolongar a vida útil dos antibióticos no século XXI⁷.

Neste estudo, um peptídeo (nome genérico Pep A) foi combinada com antibiótico (nome genérico AB1) contra *S. aureus* associados à mastite, com o objetivo de avaliar sua atividade sinérgica.

2. Procedimento Experimental

Staphylococcus aureus, pertencentes a coleção de cepas clínicas isoladas de animais diagnosticados com mastite, foram cultivadas

rotineiramente em meio *Tryptic Soy Broth* (TSB) a 37 °C e armazenados a -80 °C com 20% de glicerol.

O peptídeo Pep A foi produzido por fermentação submersa e recuperado por extração em fase-sólida. A pureza e atividade foram atestadas por SDS-PAGE e ensaio de difusão em ágar.

Os valores da Concentração inibitória mínima (MIC90) foram determinados usando um método de microdiluição⁸ seguido de método *checkerboard* para avaliação do sinergismo⁹. Os testes foram conduzidos em TSB, a 37°C e 18h de incubação seguida por leitura densidade óptica (DO600_{nm}). O índice de concentração inibitória fracionada (FICI) foi calculado e classificado com base nos critérios de interpretação propostos por Hollander, onde FICIs < 0,8 indicam sinergismo¹⁰.

O efeito das combinações no crescimento bacteriano foi avaliado usando a cepa *S. aureus* O46 como modelo. *S. aureus* O46 foi cultivado em TSB, com inóculo inicial de 1x10⁵ UFC/mL. Enquanto desafiado com 0,25x MIC dos antimicrobianos adicionados isoladamente ou em combinação. A placa de microtitulação foi incubada por 48 h a 37 °C e medições de DO600_{nm} foram monitoradas ao longo do tempo.

O efeito das combinações na viabilidade celular foi avaliado por método de microdiluição, no mesmo formato do *checkerboard*, porém 10 µL de cada poço foram plaqueados nos tempos 0, 2, 4, 6 e 8h em TSA (ágar de soja tripticase). As placas foram incubadas a 37 °C por 24 horas. A ausência de crescimento indicou que o número de células viáveis era <10³ UFC/ml.

Time-to-kill foram realizados para estimar a perda de viabilidade celular no tempo. Três cepas de *S. aureus* associadas à mastite bovina foram usadas como alvo. Os inóculos foram ajustados para DO600_{nm} de 0,2 e desafiados

com 4x MIC dos antimicrobianos e 4x FIC da combinação. Foram coletadas amostras de 20 µl em diferentes intervalos de tempo (0 h, 0,2 h, 0,4 h, 0,8 h, 1,5 h, 3 h e 6 h), que após diluições apropriadas foram plaqueadas em TSA pela técnica de microgota¹¹. As colônias foram contadas e a cinética bactericida foi representada plotando o logaritmo da contagem de células viáveis (UFC/ml) em função do tempo¹¹.

Todos os ensaios foram realizados em replicatas técnicas e biológicas. Os FICIs foram testados usando o teste Shapiro-Wilk para normalidade ($\alpha=0,05$). GraphPad Prism versão 8.0.1 foi usado para estatísticas descritivas e representação gráfica. Para verificar se houve redução significativa na concentração do antibiótico, os dados foram submetidos ao teste não paramétrico de comparações múltiplas de Kruskal-Wallis e Dunn ($\alpha=0,05$). Para avaliar o efeito do tempo e dos diferentes tratamentos, foi realizada ANOVA two-way de medidas repetidas ($\alpha=0,05$) seguida de testes de comparação múltipla.

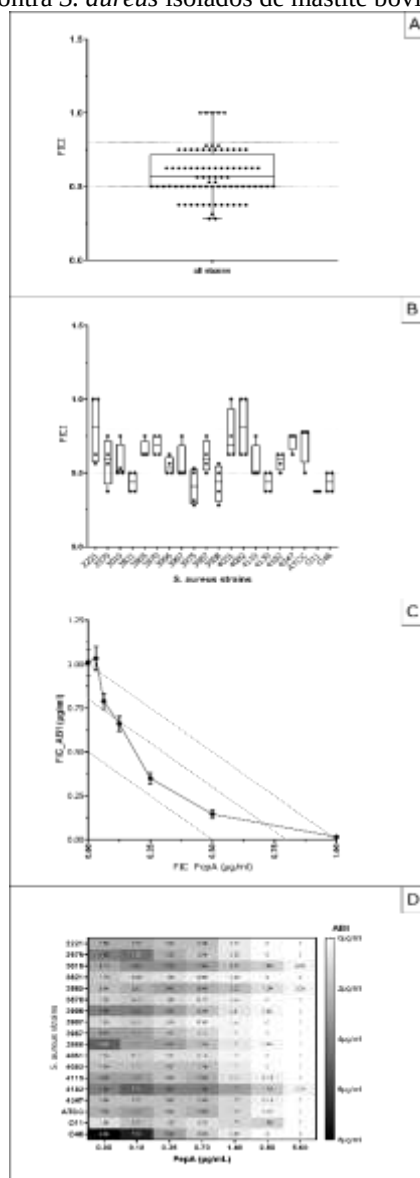
3. Resultados e Discussão

Na combinação AB1-PepA, a média do FICI foi de 0,58. A mediana, representada na Figura 1, foi de 0,57 com mínimo de 0,38 e máximo de 0,81 (Figura 1A). O FICI foi <0,8 para 90% das 20 cepas testadas, dessas 30% apresentaram FICI de até 0,50 (Figura 1B). O isobolograma confirmaram o efeito sinérgico da associação cefalexina-HC5 com FICI<0,8 (Figura 1C). A concentração do antibiótico AB1 necessária para inibir o crescimento bacteriano diminuiu em 65% quando combinada com 1,4 µg/ml do peptídeo e 85% quando a concentração de PepA foi de 2,8 µg/ml ($P < 0,0001$) (Figura 1D). No monitoramento do crescimento, quando 0,25x MIC de PepA foi combinado com 0,25x MIC de AB1 (concentrações correspondentes a FICI = 0,5), houve inibição completa do crescimento

05 a 07 de julho de 2023
Ouro Branco, Minas Gerais, Brasil

de *S. aureus* O46 em até 48h ($P < 0,05$) confirmando sinergismo.

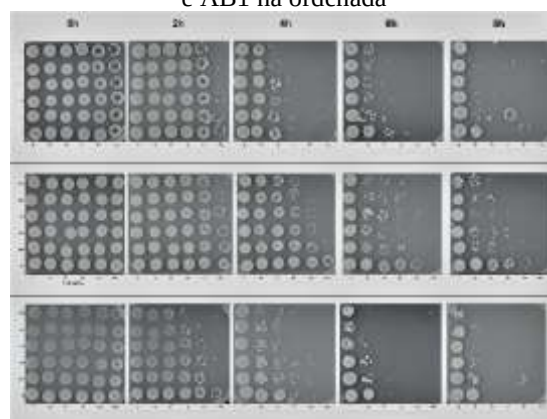
Figura 1. Efeito sinérgico entre PepA e antibiótico AB1 contra *S. aureus* isolados de mastite bovina



Quanto a perda de viabilidade celular, a concentração bactericida do peptídeo diminuiu pela metade a cada 2 h sem grande impacto na concentração do antibiótico. Esse efeito é observado qualitativamente com clara redução

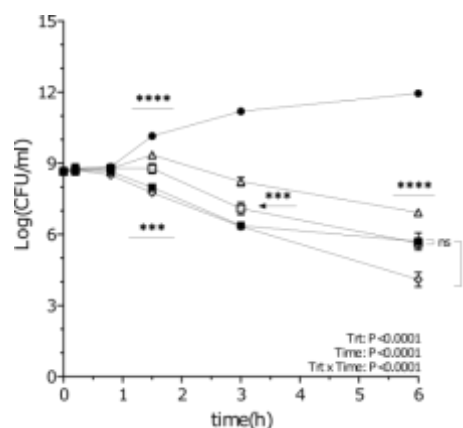
da densidade celular acompanhada da redução da concentração bactericida de PepA com tempo (Figura 2).

Figura 2. Efeito da combinação PepA e AB1 na viabilidade de *S. aureus*. PepA representado na abscissa e AB1 na ordenada



A combinação reduziu a contagem de células viáveis em $2,9\log_{10}$ UFC/ml após 6h em relação ao tempo 0 e a diferença para o controle de crescimento foi de $6,2\log_{10}$ UFC/ml ($P < 0,05$). A adição de $5,6 \mu\text{g/ml}$ peptídeo ao MIC do antibiótico adiantou a redução significativa de células viáveis de 6h para 1,5h

Figura 3. Time-to-kill da combinação PepA e AB1 contra três cepas de *S. aureus*. Controle de crescimento (●), AB1_1x MIC (Δ), AB1_4x MIC (□), PepA_4xMIC (◇) e combinação AB1_1x MIC PepA_1xMIC (■)



Combinações reduzidas em antibióticos atendem às crescentes preocupações dos consumidores e reguladores sobre o impacto do uso de antibióticos na pecuária. Testes *in vivo* são necessários para determinar se os benefícios podem ser replicados no campo.

4. Conclusão

Este trabalho demonstrou o sinergismo entre peptídeo e antibiótico. A combinação permitiu a redução da concentração inibitória dos antibióticos e favoreceu cinética de morte *in vitro*.

5. Agradecimentos

Os autores agradecem a CNPq, a CAPES e a FAPEMIG pelo fomento.

6. Referências

1. ASHRAF, A.; IMRAN, M. Causes, types, etiological agents, prevalence, diagnosis, treatment, prevention, effects on human health and future aspects of bovine mastitis. **Animal health research reviews**, v. 21, n. 1, 2020.
2. Ashraf, I.; Malik, H.; Mir, M.; Nabi, S.; Muhee, A.; Jan, A.; Hamdani, H. Economic aspect of novel therapeutic regime for mastitis management with minimal use of antibiotics. **J Entomology and Zoology Studies**, v. 6, n. 1, 2018.
3. Bradley, A. J. Bovine mastitis: an evolving disease. **The veterinary journal**, v. 164, n. 2, 2002.
4. Ghumman, N. Z.; Ijaz, M.; Ahmed, A.; Javed, M. U.; Muzammil, I.; Raza, A. Evaluation of Methicillin Resistance in Field Isolates of *Staphylococcus aureus*: An Emerging Issue of Indigenous Bovine Breeds. **Pakistan J. Zool**, 2022.
5. Royster, E., & Wagner, S. Treatment of mastitis in cattle. **Veterinary Clinics: Food Animal Practice**, v. 31, n.1, 2015.
6. Cobirka, M.; Tancin, V.; Slama, P. Epidemiology and Classification of Mastitis. **Animals**, v. 10, n. 12, 2020.
7. Tyers, M.; Wright, G. D. Drug combinations: a strategy to extend the life of antibiotics in the 21st century. **Nature Reviews Microbiology**, v. 17, n. 3, 2019.
8. Wiegand, I.; Hilpert, K.; Hancock, R. E. Agar and broth dilution methods to determine the minimal inhibitory concentration (MIC) of antimicrobial substances. **Nature protocols**, v. 3, n. 2, 2008.
9. Fratini, F.; Mancini, S.; Turchi, B.; Friscia, E.; Pistelli, L.; Giusti, G.; Cerri, D. A novel interpretation of the Fractional Inhibitory Concentration Index: The case *Origanum vulgare* L. and *Leptospermum scoparium* J. R. et G. Forst essential oils against *Staphylococcus aureus* strains. **Microbiological Research**, v. 195, 2017.
10. Den Hollander, J. G.; Mouton, J. W.; Verbrugh, H. A. Use of pharmacodynamic parameters to predict efficacy of combination therapy by using fractional inhibitory concentration kinetics. **Antimicrobial agents and chemotherapy**, v. 42, n. 4, 1988.
11. Ojo, S.; Ejims-Enukwe, O.; Esumeh, F. In-vitro antibacterial time-kill assay of *Phyllanthus amarus* and *Diodia scandens* crude extracts on *staphylococci* isolated from wounds and burns patients. **Int J Pharm Sci Invent**, v. 2, 2013.

COMPORTAMENTO TÉRMICO DE GOMA XANTANA E DE BLENDA PRODUZIDAS A PARTIR DO RESÍDUO DA AGROINDÚSTRIA

Maria Rita M. F. da Costa (PG),^{1*} Enio Nazaré de O. Júnior,² Marali Vilela Dias,³ Mario Guimarães Junior.⁴

¹ Universidade Federal de Lavras, Departamento de Ciências Florestais, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Biomateriais

² Universidade Federal de São João Del-Rei, Departamento de Química, Biotecnologia e Engenharia de Bioprocessos

³ Universidade Federal de Lavras, Departamento de Ciências dos Alimentos

⁴ Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Departamento de Eletromecânica

*e-mail: mariaritameyer@gmail.com, maria.costa13@estudante.ufra.br

Palavras-Chave: TGA, PVA, Goma xantana, Blendas poliméricas, Embalagens para alimentos.

Introdução

A goma xantana é um heteropolissacarídeo produzido por meio de processos fermentativos envolvendo bactérias do gênero *Xanthomonas* que desempenha um papel fundamental na indústria devido às suas propriedades reológicas e ampla gama de aplicações. Sua habilidade de formar soluções altamente viscosas, mesmo a baixas concentrações, a torna especialmente atrativa para a indústria de alimentos, onde atua principalmente como espessante, estabilizante e emulsificante. Além disso, apresenta estabilidade em uma ampla faixa de temperatura, pH e na presença de sais. Através de processos de produção cuidadosamente controlados, é possível obter goma xantana com elevado grau de pureza e qualidade desejadas (GARCÍA-OCHOA *et al.*, 2000).

A goma xantana pode também ser empregada como uma alternativa viável e mais sustentável na produção de embalagens de alimentos em detrimento às embalagens convencionais. Estas, por sua vez, produzidas com matérias-primas derivadas do petróleo, têm impacto ambiental significativo devido à

resistência à degradação microbiana, resultando em acúmulo de resíduos (CHEN *et al.*, 2022b; VROMAN; TIGHZERT, 2009). Nesse sentido, artigos e produtos (sob a forma de filmes), confeccionados com matérias-primas biodegradáveis/biopolímeros, a exemplo, da goma xantana, surge como alternativa promissora para prolongar a vida útil dos alimentos e reduzir a geração de resíduos. Estes produtos também contribuem para a redução de gás carbônico, sendo, portanto, mais sustentáveis durante a produção de filmes para embalagens mais sustentáveis (CHEN *et al.*, 2022a; PIRES *et al.*, 2022).

O objetivo do trabalho é estudar o comportamento térmico de gomas xantanas e de filmes produzidos a partir de resíduo da agroindústria, como matéria-prima, para a produção de embalagens para alimentos, sob forma de blendas.

Procedimento Experimental

1. Produção de goma xantana em laboratório: O microrganismo utilizado foi a bactéria *Xanthomonas campestris* CCT 5268 e o meio fermentativo foi constituído de uma

extração a frio de bagaço de cana de açúcar, a 6% (m/v).

2. **Preparação das blendas:** A metodologia utilizada foi a adotada por CHEN *et al.* (2022a) com modificações. A técnica utilizada para o processamento dos filmes foi a “casting”. Foram utilizados 30 g.L⁻¹ de PVA e 5 g.L⁻¹ de GX como matérias-primas para a formação da blenda polimérica. Ambas as soluções foram preparadas separadamente em agitador mecânico a diferentes temperaturas, sendo 95° C para o PVA e 25° C para a GX (produzida em laboratório e comercial). Após as respectivas solubilizações, as soluções foram misturadas conforme suas proporções, 12,25 g de PVA foi adicionado a 12,25 g de goma xantana (comercial e laboratório), sob agitação mecânica a 200 rpm a uma temperatura de cerca de 25° C. Na sequência, o glicerol (30% m/m) foi adicionado como plastificante. A solução filmogênica foi então vertida em placas de vidro (24,5 g de solução filmogênica) para a formação dos filmes.

3. **Análise termogravimétrica da goma xantana e das blendas:** Aproximadamente 2 mg de gomas xantanas em pó e de filmes foram pesados e colocados em cadinhos de alumina em equipamento 60H Shimadzu e aquecidos de 50° C a 800° C com uma taxa de aquecimento de 20°C/min sob fluxo contínuo de gás nitrogênio de 50 cm³/min (SAHORA *et al.*, 2022).

Resultados e Discussão

Sacarose e glicose são as fontes de carbono mais comuns para a produção de goma xantana (GARCÍA-OCHOA *et al.*, 2000; GOMES *et al.*, 2015), porém outros tipos de fontes, como a proveniente de subprodutos e resíduos, podem ser utilizados (MENEZES *et al.*, 2012). Estas fontes apresentam como alternativa a utilização de um substrato de

baixo custo para a produção de polímeros naturais de alto valor agregado.

Segundo GOMES *et al.* (2015), ao utilizar o resíduo do bagaço de cana-de-açúcar, a bactéria desenvolve uma rota metabólica diferente, que resulta em um polímero com massa molar diferenciada, mas que mantém as propriedades poliméricas essenciais.

A produção média de goma xantana foi 2,02 g.L⁻¹, valor condizente com a literatura (GOMES *et al.*, 2015). A partir da sua produção, e após a confecção das blendas, análises térmicas foram realizadas, tanto para as gomas xantanas em pó, quanto para as blendas obtidas a partir da goma produzida em laboratório e a partir da goma comercial. A Figura 1 apresenta a análise de termogravimetria (TGA e DTG) da goma xantana comercial, enquanto a Figura 2 mostra a análise de TGA da goma xantana produzida em laboratório.

Figura 1 - Curvas de TGA (linha contínua) e DTG (linha pontilhada) de goma xantana comercial (Sigma)

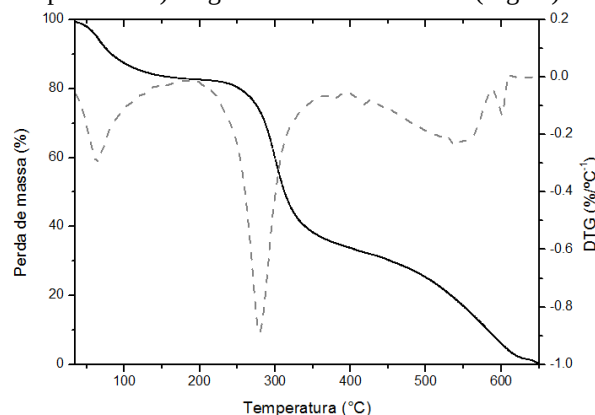
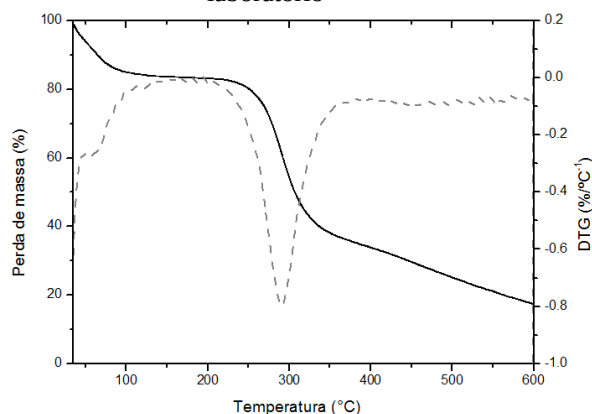


Figura 2 - Curvas de TGA (linha contínua) e DTG (linha pontilhada) de goma xantana produzida em laboratório



É possível observar pelas Figuras 1 e 2 que ambas as gomas xantanas, comercial da marca Sigma e aquela produzida em laboratório, apresentaram comportamento e eventos térmicos semelhantes quando comparadas entre si. A primeira perda de massa ocorreu entre 30° C e 180° C e corresponde à desidratação do polímero. A segunda perda de massa ocorreu entre 200° C e 380° C e corresponde à degradação da cadeia polimérica. Os valores encontrados entre os dois polissacarídeos analisados apresentaram resultados ligeiramente diferentes por se tratar de polímeros produzidos em condições operacionais distintas. Estes dados são condizentes com aqueles encontrados por GOMES *et al.* (2015).

Após a produção da goma xantana em laboratório, foram desenvolvidas blends poliméricas com a inserção do polímero biodegradável álcool polivinílico (PVA) as mesmas. O propósito aqui foi utilizar a blend para a confecção de embalagem para alimentos. Na sequência, realizou-se a análise termogravimétrica dos filmes referentes as blends. A Figura 3 mostra a análise térmica da blend produzida a partir do PVA e da goma xantana comercial, enquanto a Figura 4

mostra a blend de álcool polivinílico com a goma xantana produzida em laboratório.

Figura 3 - Curvas de TGA (linha contínua) e DTG (linha pontilhada) da blend polimérica contendo PVA e GX comercial (Sigma)

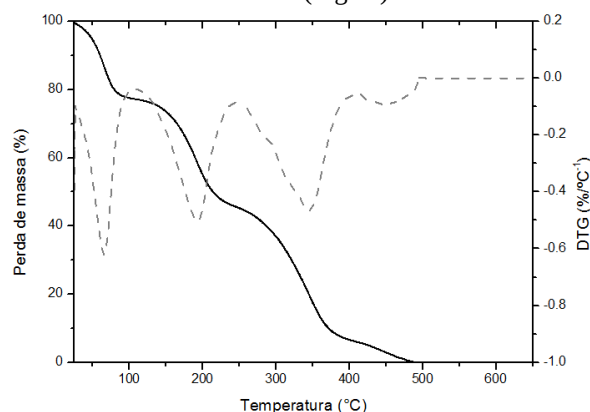
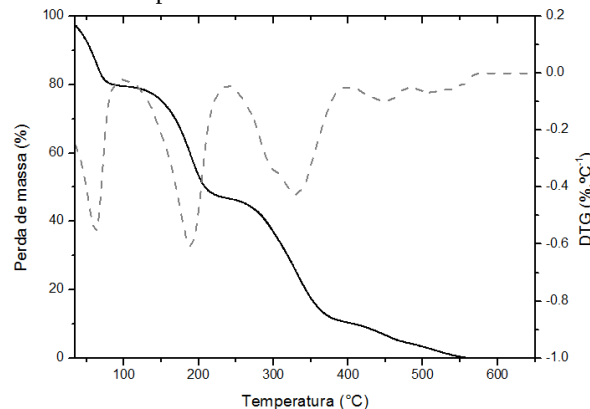


Figura 4 - Curvas de TGA (linha contínua) e DTG (linha pontilhada) da blend polimérica contendo PVA e GX produzida em laboratório



As blends contendo PVA e as gomas xantanas (laboratório e comercial) apresentaram boas compatibilidades, características e estabilidades térmicas. Estes resultados auxiliaram na hipótese de que o biopolímero com alto valor agregado, produzido em laboratório pode ser utilizado para a preparação de blends poliméricas com posterior aplicação em embalagens para alimentos.

Conclusão

Os resultados encontrados mostraram que é possível produzir goma xantana utilizando resíduo de bagaço de cana-de-açúcar com propriedades térmicas semelhantes à goma xantana comercial. Os resultados também mostraram que o biopolímero produzido pode ser utilizado para a preparação de blendas poliméricas para serem utilizados na confecção de embalagens para alimentos.

Agradecimentos

Os autores agradecem a CAPES, FAPEMIG, CNPq, UFLA e ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Biomateriais.

Referências

CHEN, J.; ZHENG, M.; TAN, K. B.; LIN, J.; CHEN, M.; ZHU, Y. **Polyvinyl alcohol/xanthan gum composite film with excellent food packaging, storage and biodegradation capability as potential environmentally friendly alternative to commercial plastic bag.** International Journal of Biological Macromolecules, v. 212, p. 402-411, 2022a.

CHEN, J.; ZHENG, M.; TAN, K. B.; LIN, J.; CHEN, M.; ZHU, Y. **Development of xanthan gum/hydroxypropyl methyl cellulose composite films incorporating tea polyphenol and its applications on fresh-cut green bell peppers preservation.** International Journal of Biological Macromolecules, v. 211, p. 198-206, 2022b.

GARCÍA-OCHOA, F.; SANTOS, V. E.; CASAS, J. A.; GÓMEZ, E. **Xanthan gum: production, recovery, and properties.**

Biotechnology Advances, v.18, p.549-579, 2000.

GOMES, G. V. P.; ASSIS, D. J.; SILVA, J. B. A.; SANTOS-EBINUMA, V. C.; COSTA, L. A. S.; DRUZIAN, J. I. **Obtaining xanthan gum impregnated with cellulose microfibrils derived from sugarcane bagasse.** Materials today: Proceedings, v.2, p.389-398, 2015.

MENEZES, J. D. S.; DRUZIAN, J. I.; PADILHA, F. F.; DE SOUZA, R. R. **Produção biotecnológica de goma xantana em alguns resíduos agroindustriais, caracterização e aplicações.** Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental, v.8, n.8, 2012.

SAHORA, V.; KHAN, H.; RAGHUVANSHI, S.; DUTT, D. **Development of polyvinyl alcohol-based antioxidant nanocomposite films with nanokaolin impregnated with polyphenols from pomegranate peel extract.** Food Packaging and Shelf Life, v. 32, p. 100848, 2022.

VROMAN, I.; TIGHZERT, L. **Biodegradable Polymers.** Materials, v. 2, 2009.

EFICIÊNCIA SANITIZANTE DA NANOESTRUTURA DE ZnO PARA REMOÇÃO DE BIOFILMES BACTERIANOS

Ana L. S. A. Monteiro (IC),^{1*} Patrícia A. Ribeiro (PG),¹ Igor J. B. Santos (PQ).¹

¹ Universidade Federal de São João del-Rei (UFSJ), DQBIO/Engenharia de Bioprocessos.

*e-mail: analuizaschuenck@hotmail.com

Palavras-Chave: *Biofilmes, Óxido de zinco, Sanitizante, Bacillus.*

Introdução

Biofilmes bacterianos consiste em uma comunidade autossustentável complexa de bactérias formando uma rede gelatinosa, caracterizada por sua adesão a superfícies, permitindo o desenvolvimento de diferentes bactérias, podendo se desprender e contaminar outras superfícies. (MUHAMMAD et al., 2020). Microrganismos em biofilmes são muito resistentes e podem persistir e sobreviver mesmo após rigorosos processos de sanitização (LIU et al., 2019).

Estudos sobre biofilmes bacterianos é um tópico importante a ser discutido, devido ao impacto causado na saúde, no ambiente e em processos industriais (SRINIVASAN et al., 2021). Na indústria de alimentos, a maior preocupação é em relação as doenças transmitidas por alimentos (DTA), visto que, no período de 2003 a 2018, foram notificados 10.898 surtos de DTA (MS, 2019). A principal causa de contaminação dos alimentos nas indústrias é a higienização inadequada (REYNOLDS; DOLASINSKI, 2019).

As bactérias *Bacillus cereus* apresenta grandes desafios à segurança alimentar, visto que possui a capacidade de se adaptar em diferentes condições e de produzir toxinas nocivas aos consumidores (JOVANOVIĆ et al., 2021). Portanto, o processo de sanitização é muito importante para eliminação dos micro-organismos.

O óxido de zinco (ZnO) é um antimicrobiano inorgânico natural e quando transformada em uma nanopartícula, suas propriedades são melhoradas (MOHD YUSOF et al., 2019). As nanoestruturas de óxido de zinco apresentam também estabilidade em altas temperaturas e pressões, portanto, possui elevado potencial para aplicação em indústria de alimentos (MERINO et al., 2019).

Dito isso, o objetivo deste trabalho é avaliar o efeito sanitizante da nanoestrutura de ZnO para a remoção de biofilme bacteriano, formado por *Bacillus cereus* aderidos em superfície de aço inoxidável utilizados na indústria de alimentos.

Procedimento Experimental

Foram utilizadas as cepas da bactéria *Bacillus cereus* (ATCC 11778), cedidas pela Fundação Oswaldo Cruz (FIOCRUZ). Os meios de cultura e os reagentes utilizados para a síntese da nanoestrutura de ZnO, tais como: caldo nutritivo (Himedia) e Cloreto de zinco (Dinâmica), Carbonato de Sódio (Dinâmica) e Cloreto de Zinco (Dinâmica) foram utilizados dos laboratórios da Universidade Federal de São João del-Rei, Campus Alto Paraopeba. Todos os outros reagentes foram de grau analítico e utilizados sem purificação adicional. Água destilada foi usada em todo o experimento.

1. MÉTODO

1.1.CONDIÇÕES DE CULTIVO

Com o auxílio de uma micropipeta, foi inserido 100,0 μ L da estirpe criopreservada em 5,00 mL de caldo nutritivo estéril. Posteriormente, a cultura foi encubada a 37°C por 24h em uma estufa bacteriana.

1.2.OBTENÇÃO DA NANOESTRUTURA

A nanoestrutura de óxido de zinco foi obtida de acordo com Costa et al (2023) com modificações.

Para obter a nanoestrutura de Óxido de Zinco, misturou-se $ZnCl_2$, NaCl e Na_2CO_3 na proporção 1:5,5:1. A mistura foi submetida a um tratamento térmico a 400 °C em um forno mufla por 30 min em um cadinho de porcelana e em seguida diluído em água destilada e filtrado em um filtro a vácuo. A nanoestrutura foi seca a 50 °C, posteriormente, macerado e armazenado.

1.3.OBTENÇÃO DO HIDROGEL

O hidrogel (HG) primeiramente, foi produzido adicionando 2,0 % (m/v) de hidroximetil celulose em água destilada sob agitação e aquecimento até a dissolução completa do hidroximetil celulose. Posteriormente, foi adicionado 5,0 % (m/v) de propileno glicol 0,1 % (m/v) de EDTA e 0,2 % (m/v) de metilparabeno, atuando como conservante. Ainda em agitação, quando a temperatura alcançou 70 °C, o aquecimento foi desligado e esperou-se a temperatura resfriar até 25 °C.

Após a temperatura atingir 25 °C, foi adicionado 0,3 % (m/m) da nanoestrutura de ZnO. Também foi reservado o hidrogel sem a nanoestrutura para ser utilizada como controle positivo.

1.4.APLICAÇÃO DO NANOCOMPÓSITO

Foi adicionado 200,0 μ L de *Bacillus cereus*, previamente ativada, em um béquer de 100,0 mL contendo 80,0 mL de caldo nutritivo e três

cupons (placas com área de 16 cm² de aço inoxidável 347), ambos estéreis. O sistema foi colocado em uma Incubadora shaker por 24h a 37 °C e 25 rpm para a formação do biofilme bacteriano.

Foi realizado o experimento em um fluxo laminar para analisar a eficiência antimicrobiana, com todos os materiais previamente esterilizados. Os cupons foram retirados do sistema com uma pinça e um lado do cupom foi utilizado como controle negativo, não aplicando nenhum sanitizante e o outro lado do cupom foi utilizado para aplicar o tratamento (tanto o gel com a nanoestrutura de óxido de zinco, como também o gel sem a nanoestrutura). Após 20 min para o sanitizante agir, foi utilizado um swab estéril para fazer o esfregaço e posteriormente, adicionado em 5,00 mL de solução salina 0,85% (m/v), homogeneizados e feito uma diluição seriada. Então, foi adicionado 10,0 μ L de cada diluição em placas de petri contendo ágar e incubados em uma estufa a 37 °C .

Após 24h, as placas de petri foram analisadas e os resultados foram expressos em UFC·mL⁻¹ e redução log.

Resultados e Discussão

A formação e desenvolvimento dos biofilmes de *Bacillus cereus*, aderidos em cupons de aço inoxidável AISE 304 em caldo nutritivo com o tratamento com o hidrogel (HG) puro e com a nanoestrutura de óxido de zinco 0,3 % (m/v) foram analisadas com a quantificação das células aderidas, em UFC·mL⁻¹ e redução log, conforme Tabela 1.

Tabela 1- Avaliação da eficiência de remoção de biofilmes bacterianos de *B. Cereus* aderidos em cupons de aço inoxidável.

Tratamento	Concentr ação (%)	UFC.mL ⁻¹	Redução log
------------	----------------------	----------------------	----------------

Controle	-	1,13E+04	-
Hidrogel	-	5,31E+03 ±5,57E+02	1,15E-01 ±5,05E-01
HG + ZnOnano	0,3 (m/v)	<1	4,14E+00

O *Bacillus cereus* é capaz de formar biofilme, se adequando a vários tipos de ambiente (JOVANOVIĆ et al., 2021) e, também é capaz de formar biofilmes aderidos ao aço inoxidável (YU et al., 2020), reforçando a necessidade de um sanitizante capaz de eliminar o biofilme formado por esta bactéria.

Para um sanitizante ser considerado eficiente, ele deve apresentar uma redução log em até 5 logs ou mais para células dispersas ou em até 3 logs ou mais para células sésseis (LINDSAY; VON HOLY, 1999). Dessa forma, o tratamento com a nanoestrutura de óxido de zinco apresentou uma redução log acima de 3 logs, demonstrando a sua alta eficiência de sanitização.

O tratamento com o hidrogel com a nanoestrutura de óxido de zinco se mostrou eficaz contra *B. cereus*, devido à sua capacidade antimicrobiana (KUMAR et al., 2017). Esta nanoestrutura atua a partir da interação direta com a superfície das células bacterianas, sendo que elas entram na célula e provocam a oxidação, inibindo o crescimento bacteriano, gerando até morte celular (MOHD YUSOF et al., 2019).

O hidrogel não alcançou a redução de 3 logs, apesar de reduzir a quantidade de células. A eficiência para a remoção das células aderentes muito baixa, pois ele não apresenta em sua composição um agente antimicrobiano eficaz.

Conclusão

O presente trabalho demonstra a eficiência da nanoestrutura de óxido de zinco para a

remoção de biofilmes bacterianos de *Bacillus cereus*, aderidos em aço inoxidável. Os testes realizados mostraram que o hidrogel com a nanoestrutura apresentou uma eficiência maior para a remoção do biofilme em comparação com o hidrogel puro, evidenciando assim, que a nanoestrutura de óxido de zinco foi a responsável pela sanitização. Portanto, é possível afirmar que o nanosanitizante apresenta um elevado potencial para a indústria de alimentos.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica (PIBIC), à FAPEMIG, CAPES e CNPQ e a Universidade Federal de São João del-Rei por todo apoio prestado.

Referências

- COSTA, Kelly Christine Barbosa; SCHLOGL, Andersen Escobar; DE SOUZA, Saymon Menezes; DE OLIVEIRA JÚNIOR, Enio Nazaré; COIMBRA, Jane Sélia dos Reis; SANTOS, Igor José Boggione. Tara Gum Coating with Embedded ZnO Nanostructures for Increased Postharvest Guava Shelf Life. **ACS Food Science and Technology**, [S. l.], 2023. DOI: 10.1021/acsfoodscitech.3c00006.
- JOVANOVIĆ, Jelena; ORNELIS, Vincent F. M.; MADDER, Annemieke; RAJKOVIĆ, Andreja. *Bacillus cereus* food intoxication and toxicoinfection. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, [S. l.], v. 20, n. 4, p. 3719–3761, 2021. DOI: 10.1111/1541-4337.12785. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/1541-4337.12785>.
- KUMAR, Rajesh; UMAR, Ahmad; KUMAR, Girish; NALWA, Hari Singh. **Antimicrobial properties of ZnO nanomaterials: A review.**

Ceramics International Elsevier Ltd, , 2017. DOI: 10.1016/j.ceramint.2016.12.062.

LINDSAY, D.; VON HOLY, A. **Different Responses of Planktonic and Attached Bacillus subtilis and Pseudomonas fluorescens to Sanitizer Treatment** *Journal of Food Protection*. [s.l.: s.n.].

LIU, Yong; SHI, Linqi; SU, Linzhu; VAN DER MEI, Henny C.; JUTTE, Paul C.; REN, Yijin; BUSSCHER, Henk J. Nanotechnology-based antimicrobials and delivery systems for biofilm-infection control. **Chemical Society Reviews**, [S. l.], v. 48, n. 2, p. 428–446, 2019. DOI: 10.1039/C7CS00807D. Disponível em: <https://pubs.rsc.org/en/content/articlehtml/2019/cs/c7cs00807d>.

MERINO, Lina; PROCURA, Francisco; TREJO, Fernando M.; BUENO, Dante J.; GOLOWCZYC, Marina A. Biofilm formation by Salmonella sp. in the poultry industry: Detection, control and eradication strategies. **Food Research International**, [S. l.], v. 119, p. 530–540, 2019. DOI: 10.1016/J.FOODRES.2017.11.024.

MOHD YUSOF, Hidayat; MOHAMAD, Rosfarizan; ZAIDAN, Uswatun Hasanah; ABDUL RAHMAN, Nor Aini. Microbial synthesis of zinc oxide nanoparticles and their potential application as an antimicrobial agent and a feed supplement in animal industry: a review. **Journal of Animal Science and Biotechnology** **2019 10:1**, [S. l.], v. 10, n. 1, p. 1–22, 2019. DOI: 10.1186/S40104-019-0368-Z. Disponível em: <https://link.springer.com/articles/10.1186/s40104-019-0368-z>.

MS, Ministério da Saúde. **Vigilância em saúde no Brasil 2003 | 2019: da criação da Secretaria de Vigilância em Saúde aos dias atuais**. 2019. Disponível em: <https://ameci.org.br/wp-content/uploads/2019/09/boletim-especial-21ago19-web.pdf>. Acesso em: 28 jun. 2023.

MUHAMMAD, Musa Hassan; IDRIS, Aisha Lawan; FAN, Xiao; GUO, Yachong; YU, Yiyan; JIN, Xu; QIU, Junzhi; GUAN, Xiong; HUANG, Tianpei. Beyond Risk: Bacterial Biofilms and Their Regulating Approaches. **Frontiers in Microbiology**, [S. l.], v. 11, p. 928, 2020. DOI: 10.3389/FMICB.2020.00928/BIBTEX.

REYNOLDS, Joel; DOLASINSKI, Mary Jo. Systematic review of industry food safety training topics & modalities. **Food Control**, [S. l.], v. 105, p. 1–7, 2019. DOI: 10.1016/J.FOODCONT.2019.05.015.

SRINIVASAN, Ramanathan; SANTHAKUMARI, Sivasubramanian; POONGUZHALI, Pandurangan; GEETHA, Mani; DYAVIAIAH, Madhu; XIANGMIN, Lin. Bacterial Biofilm Inhibition: A Focused Review on Recent Therapeutic Strategies for Combating the Biofilm Mediated Infections. **Frontiers in Microbiology**, [S. l.], v. 12, p. 1106, 2021. DOI: 10.3389/FMICB.2021.676458/BIBTEX.

YU, Si; LOU, Yuntian; ZHANG, Dawei; ZHOU, Enze; LI, Zhong; DU, Cuiwei; QIAN, Hongchang; XU, Dake; GU, Tingyue. Microbiologically influenced corrosion of 304 stainless steel by nitrate reducing Bacillus cereus in simulated Beijing soil solution. **Bioelectrochemistry**, [S. l.], v. 133, p. 107477, 2020.

EFEITO ANTI-BIOFILME DE EXOPOLISSACARÍDEOS DE *Bacillus* spp. CONTRA *Staphylococcus aureus* ISOLADOS DE MASTITE BOVINA

Yasmin N. V. Sabino (PG),^{1*} Katialaine C. A. Domingues (PG),¹ Hilário C. Mantovani (PQ)^{1,5}

¹Universidade Federal de Viçosa, Department of Microbiology, Minas Gerais, Brazil, ⁵University of Wisconsin-Madison, Department of Animal and Dairy Sciences, Madison, WI, USA

*e-mail: yasmin.sabino@ufv.br

Palavras-Chave: *S. aureus*, Biofilm, Exopolissacarídeos, *Bacillus* spp., Mastite bovina

1. Introdução

Staphylococcus aureus é uma bactéria comensal capaz de causar sérias doenças em diversos hospedeiros¹. Em animais de produção, *S. aureus* é frequentemente associado com casos persistentes de mastite bovina². A mastite bovina é a doença mais cara do setor leiteiro³ e portanto, infecções persistentes causadas por *S. aureus* afetam economicamente o setor.

O tratamento da mastite bovina é principalmente baseado na antibioticoterapia⁴. Entretanto, devido a emergência de linhagens bacterianas resistentes a antibióticos, os casos de falha terapêutica têm aumentado no tratamento da doença. Um estudo demonstrou, por exemplo, que a eficácia do tratamento com antibióticos para mastite bovina causada por *S. aureus* é geralmente menor que 50%⁵. Dessa forma, realça-se a importância da busca por alternativas terapêuticas para combater essa infecção.

A formação de biofilme por *S. aureus* é um dos fatores associados a baixa eficácia da terapia antimicrobiana e tem sido associado à maior persistência bacteriana em casos de infecções intramamária em bovinos². Nesse contexto, a utilização de compostos anti-biofilme se destaca como potencial terapia

alternativa/complementar para o tratamento da mastite bovina. Essa estratégia possui ainda a vantagem de exercer menor pressão seletiva para o desenvolvimento de resistência bacteriana quando comparado com compostos antimicrobianos, já que não afetam a viabilidade celular.

Substâncias produzidos por *Bacillus* spp, como lipopeptídeos e exopolissacarídeos, tem demonstrado efeito anti-biofilme contra patógenos^{6, 7}. No entanto, essa capacidade ainda não foi avaliada contra patógenos da mastite bovina. Além disso, a produção de metabólitos bioativos por bactérias, especialmente do gênero *Bacillus*, tem uma série de vantagens industriais como simplicidade de produção, baixo impacto ambiental, termo-tolerância e segurança. Dessa forma, o objetivo deste trabalho foi avaliar se compostos produzidos por isolados ambientais de *Bacillus* spp. são capazes de reduzir a formação de biofilme de *S. aureus* isolados de vacas com mastite.

2. Procedimento Experimental

2.1. Microorganismos e condições de crescimento

Neste estudo, foram utilizados cinco isolados de *S. aureus* obtidos de vacas com mastite bovina e previamente caracterizados como forte formadores de biofilme. Além disso, *S. aureus* O46, um forte produtor de biofilme isolado de ovelha com mastite, também foi incluído neste estudo (Le Marechal, Hernandez et al. 2011). *S. aureus* foi cultivado em meio *Tryptic Soy Broth* (TSB) e incubado por 18 h a 37 °C sob condições aeróbias estáticas.

Trinta e três isolados de *Bacillus* spp. obtidos de diferentes regiões do Brasil e isolados de solo, planta, água e leite mastítico, foram testados para a produção de compostos anti-biofilme contra *S. aureus*. Os isolados foram rotineiramente cultivadas em TSB por 24 h a 30 °C sob agitação (200 rpm).

2.2. Efeito anti-biofilme de *Bacillus* spp. contra *S. aureus*

Para este ensaio, 150 µL de inóculo de *S. aureus* (10^6 UFC/mL) foram transferidos para uma placa de 96 poços contendo 50 µL de sobrenadante filtrado de *Bacillus* spp. Após 24 h de incubação, a densidade óptica (OD) a 600 nm foi mensurada e a formação de biofilme foi quantificada por meio do ensaio de cristal violeta. *S. aureus* não tratado foi utilizado como controle positivo, enquanto o meio TSB foi usado como controle negativo. O experimento foi realizado com três repetições biológicas e duas replicatas técnicas. As análises estatísticas foram realizadas utilizando o software GraphPad Prism versão 8.4.3 e diferenças foram declaradas como significativas quando $P < 0,05$.

Lipopeptídeos e exopolissacarídeos foram extraídos do sobrenadante de *Bacillus* sp. para avaliar a substância responsável pela atividade anti-biofilme. A metodologia de extração ácida foi utilizada para a obtenção de lipopeptídeos⁸

enquanto a precipitação etanólica foi utilizada para a obtenção de EPS⁷.

2.3. Produção de EPS por *Bacillus* spp.

Para avaliar a produção de EPS ao longo do tempo, os isolados de *Bacillus* foram cultivados em meio TSB com DO_{600nm} inicial de 0,1 por até 120 h a 30 °C com agitação (200 rpm). A medida da DO_{600nm} assim como a produção de EPS nas culturas foi realizada após 0, 3, 6, 12, 24, 48, 72, 96 e 120 horas de incubação. Os EPS foram extraídos e o rendimento foi calculado pelo método do fenol-ácido sulfúrico⁹, que mensura a concentração de carboidratos. Glicose foi utilizada como padrão.

2.4. Efeito da concentração de extratos brutos contendo EPS na formação de biofilme de *S. aureus*

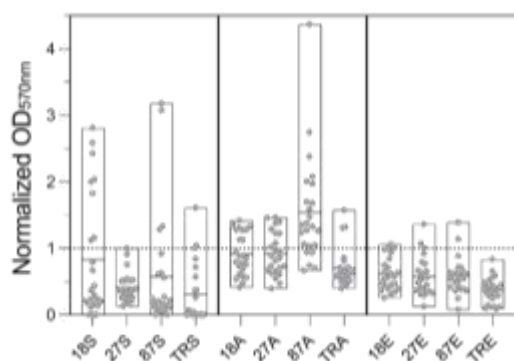
O efeito da concentração de extratos de EPS na formação de biofilme de *S. aureus* foi avaliado adicionando as culturas com DO_{600nm} inicial de 0,05 em meio TSB suplementado com 2% de glicose contendo diluições seriadas dos extratos de EPS (1000 µg/mL a 1,96 µg/mL). As culturas foram incubadas por 24 h a 37 °C e a formação de biofilme foi avaliada pelo teste do cristal violeta. O experimento foi realizado com duas repetições técnicas e duas replicatas biológicas.

3. Resultados e Discussão

Os resultados indicaram que, dos 33 isolados de *Bacillus* sp. avaliados, quatro foram capazes de inibir a formação de biofilme sem afetar o crescimento da maioria das culturas de *S. aureus* testadas. Assim, foram selecionados para caracterização os isolados *Bacillus* sp. 18, *Bacillus altitudinis* 27, *Bacillus velezensis* 87 e *Bacillus velezensis* TR47II. A inibição do crescimento observada nos sobrenadantes de *Bacillus* spp. pode ser devida à presença de compostos inibitórios como bacteriocinas¹⁰.

Dentre os compostos avaliados para a inibição de biofilme de *S. aureus*, os EPS se mostraram mais ativos (com atividade semelhante ao sobrenadante) e foram selecionados para os experimentos subsequentes (Figura 1).

Figura 1. Efeito anti-biofilme de sobrenadante (S), precipitado ácido (A) e etanólico (E) de *Bacillus* spp. contra *S. aureus*



A análise de EPS no sobrenadante de *Bacillus* spp. ao longo da curva de crescimento demonstrou que a produção máxima ocorre no início da fase estacionária (entre 24 e 48 h de crescimento) decrescendo após 72 h, provavelmente devido ao consumo do composto como fonte de carbono (Figura 2).

Os EPS foram extraídos após 48 h de crescimento das culturas e testados em diferentes concentrações. Os resultados demonstram que o efeito anti-biofilme é maior em concentrações elevadas de EPS (Figura 3). A eficácia varia de acordo com as estirpes de *Bacillus* produtoras e de *S. aureus* avaliadas. No entanto, o EPS produzido por *B. velezensis* TR47II, na concentração de 1000 µg/mL, foi capaz de inibir em 83%, a formação de biofilme de *S. aureus* O46. A inibição de biofilmes por exopolissacarídeos em concentrações mais elevadas já foi relatada previamente⁷, porém o presente estudo é o primeiro a demonstrar esse efeito contra isolados de mastite bovina.

Figura 2. Produção de EPS ao longo da curva de crescimento de *Bacillus* spp.

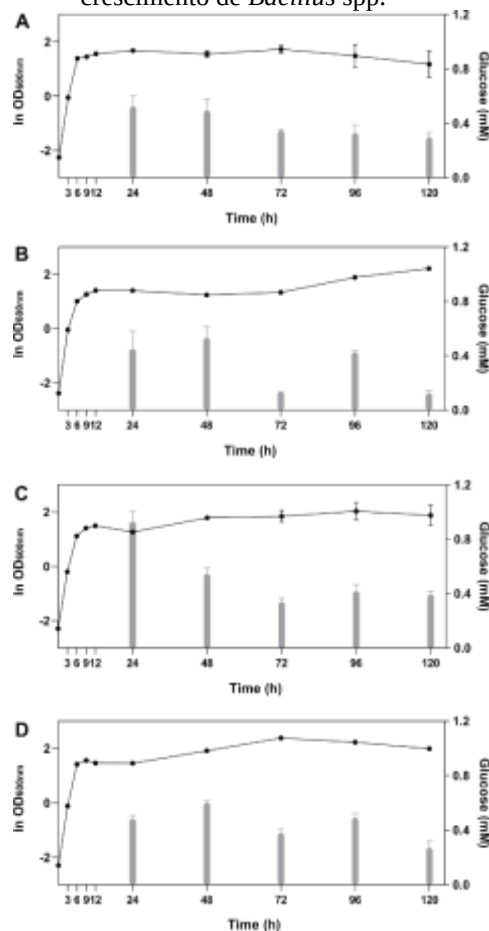
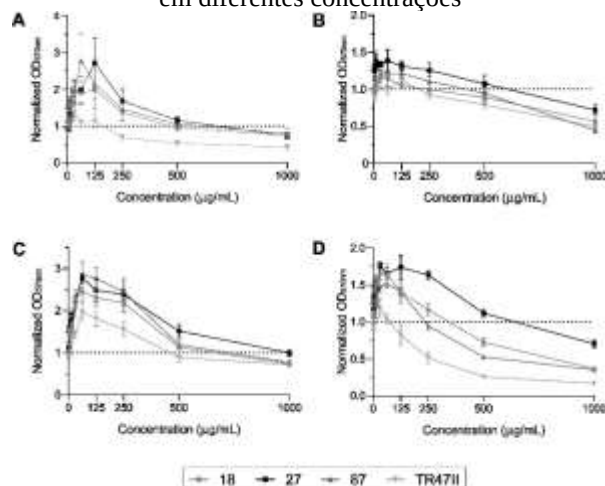


Figura 3. Efeito anti-biofilme de exopolissacarídeos em diferentes concentrações



4. Conclusão

Este estudo revela, pela primeira vez, o potencial de aplicação de exopolissacarídeos na prevenção/tratamento de mastite bovina causada por *S. aureus*. Estudos futuros são necessários para avaliar a eficácia e segurança dos compostos *in vivo*.

5. Agradecimentos

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) por financiar a pesquisa e a bolsa de estudos.

6. Referências

- ¹ HAAG, A. F.; FITZGERALD, J. R.; PENADES, J. R. Staphylococcus aureus in Animals. **Microbiol Spectr**, v. 7, n. 3, May 2019.
- ² ZAATOUT, N.; AYACHI, A.; KECHA, M. Staphylococcus aureus persistence properties associated with bovine mastitis and alternative therapeutic modalities. **J Appl Microbiol**, v. 129, n. 5, p. 1102-1119, Nov 2020.
- ³ SEEGER, H.; FOURICHON, C.; BEAUDEAU, F. Production effects related to mastitis and mastitis economics in dairy cattle herds. **Vet Res**, v. 34, n. 5, p. 475-91, Sep-Oct 2003.
- ⁴ CHENG, W. N.; HAN, S. G. Bovine mastitis: risk factors, therapeutic strategies, and alternative treatments - A review. **Asian-Australas J Anim Sci**, v. 33, n. 11, p. 1699-1713, Nov 2020.
- ⁵ ROY, J.-P.; KEEFE, G. Systematic review: what is the best antibiotic treatment for Staphylococcus aureus intramammary infection of lactating cows in North America? **J Veterinary Clinics: Food Animal Practice**, v. 28, n. 1, p. 39-50, 2012.
- ⁶ CERESA, C. et al. Inhibitory Effects of Lipopeptides and Glycolipids on *C. albicans*-Staphylococcus spp. Dual-Species Biofilms. **Front Microbiol**, v. 11, p. 545654, 2020.
- ⁷ SPANÒ, A. et al. In vitro antibiofilm activity of an exopolysaccharide from the marine thermophilic *Bacillus licheniformis* T14. **J Current microbiology**, v. 72, p. 518-528, 2016.
- ⁸ SHARMA, D. et al. Structural characterization and antimicrobial activity of a biosurfactant obtained from *Bacillus pumilus* DSVP18 grown on potato peels. **J Jundishapur journal of microbiology**, v. 8, n. 9, 2015.
- ⁹ MASUKO, T. et al. Carbohydrate analysis by a phenol-sulfuric acid method in microplate format. **Anal Biochem**, v. 339, n. 1, p. 69-72, Apr 1 2005.
- ¹⁰ SHARMA, N.; KAPOOR, G.; NEOPANEY, B. Characterization of a new bacteriocin produced from a novel isolated strain of *Bacillus lentus* NG121. **Antonie Van Leeuwenhoek**, v. 89, n. 3-4, p. 337-43, Apr-May 2006.

PRODUÇÃO DE BLENDA POLIMÉRICAS A PARTIR DE PVA E GOMA XANTANA PARA APLICAÇÕES EM EMBALAGENS PARA ALIMENTO

Maria Rita M. F. da Costa (PG),^{1*} Enio Nazaré de O. Júnior,² Marali Vilela Dias,³ Mario Guimarães Junior.⁴

¹ Universidade Federal de Lavras, Departamento de Ciências Florestais, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Biomateriais

² Universidade Federal de São João Del-Rei, Departamento de Química, Biotecnologia e Engenharia de Bioprocessos

³ Universidade Federal de Lavras, Departamento de Ciências dos Alimentos

⁴ Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Departamento de Eletromecânica

*e-mail: mariaritameyer@gmail.com, maria.costa13@estudante.ufra.br

Palavras-Chave: Polímeros biodegradáveis, PVA, Goma xantana, Blendas poliméricas, Embalagens para alimentos.

Introdução

As embalagens de alimentos têm o objetivo de proteger o produto durante o transporte, armazenamento e contaminantes presentes no ambiente externo, mantendo sua qualidade e segurança. O material da embalagem deve ser mecanicamente estável e apresentar propriedades de barreira desejáveis (HADI *et al.*, 2022). Neste sentido, diversos tipos de plásticos sintéticos derivados do petróleo têm sido utilizados pela indústria alimentícia (CHEN *et al.*, 2022b; HADI *et al.*, 2022). No entanto, em virtude da sua resistência à degradação microbiana, esses materiais tendem a se acumular no meio ambiente, contribuindo para o aumento da geração de resíduos sólidos e da poluição ambiental (CHEN *et al.*, 2022b; VROMAN; TIGHZERT, 2009).

Desta forma, embalagens alternativas, como as ativas, por exemplo, têm assumido grande protagonismo no mercado visando atender a alta demanda por alimentos. Este tipo de embalagem pode aumentar a vida útil dos alimentos e também atender aos consumidores mais exigentes quanto à questão ambiental. A utilização de polímeros

biodegradáveis e biopolímeros, como matérias-primas, são uma alternativa sustentável para controlar a geração de resíduos produzidos a partir de embalagens sintéticas descartáveis (CHEN *et al.*, 2022a).

O objetivo do trabalho é a produção de blendas poliméricas biodegradáveis a partir de polímeros e biopolímeros, como o álcool polivinílico (PVA), goma xantana (GX) produzida em laboratório e goma xantana comercial (Sigma), para aplicação em embalagens ativas para alimentos.

Procedimento Experimental

1. Produção de goma xantana em laboratório: O microrganismo utilizado foi a bactéria *Xanthomonas campestris* CCT 5268, enquanto o meio fermentativo foi constituído de uma extração a frio do resíduo agroindustrial de bagaço de cana de açúcar a 6% (m/v).

2. Preparação dos filmes e da blenda: A metodologia utilizada foi a adotada por CHEN *et al.* (2022a) com modificações. A técnica utilizada para o processamento dos filmes foi a “casting”. Foram utilizados 30 g.L⁻¹ de PVA e 5 g.L⁻¹ de GX como matérias-primas para a formação da blenda polimérica. Ambas as

soluções foram preparadas separadamente em agitador mecânico a diferentes temperaturas, sendo 95° C para o PVA e 25° C para a GX (produzida em laboratório e comercial). Após as respectivas solubilizações, as soluções foram misturadas conforme suas proporções, 24,5 g de PVA foi adicionado ao filme controle e 12,25 g de PVA foi adicionado a 12,25 g de goma xantana (comercial e laboratório), sob agitação mecânica, a 200 rpm a uma temperatura de cerca de 25° C. Na sequência, o glicerol (30% m/m) foi adicionado como plastificante. A solução filmogênica foi então vertida em placas de vidro (24,5 g de solução filmogênica) para a formação dos filmes.

Caracterização dos filmes e da blenda: Um micrômetro digital (0,001 mm) foi utilizado para obter as espessuras ao longo das amostras (RODRIGUES *et al.*, 2021). Para a determinação da cor, foi utilizado um colorímetro espectrofotométrico com fonte de luz D65 em escala Hunter Lab. Os parâmetros (L*; claro-escuro), (a*; vermelho-verde) e (b*; amarelo-azul) foram medidos em fundo branco (MEYDANJU; PIRSA; FARZI, 2022; RODRIGUES *et al.*, 2021). Para o teor de umidade, os filmes foram pesados, secos a 105° C por 24 h, e em seguida, pesados novamente (NUNES *et al.*, 2018).

Resultados e Discussão

Os filmes resultantes de goma xantana produzida em laboratório apresentaram características físicas muito interessantes quando comparado aos filmes de goma xantana comercial (Sigma) e de controle (filmes de PVA). Os filmes apresentaram excelente homogeneidade e maleabilidade, sem a formação de diferenças de fase. Observou-se que o filme contendo apenas PVA apresentou característica mais consistente, porém com menos maleabilidade.

O resultado das propriedades físicas dos filmes está apresentado na Tabela 1. PVA/GXc e PVA/GXI correspondem as blendas com goma xantana comercial (Sigma) e goma xantana produzida em laboratório, respectivamente.

Tabela 1- Propriedades físicas dos filmes

	Espessura (mm)	Umidade (%)
PVA	0,091 ± 0,005	49,70 ± 3,773
PVA/GXc	0,072 ± 0,006	26,20 ± 2,646
PVA/GXI	0,054 ± 0,002	11,57 ± 0,583

A espessura encontrada para os filmes foi menor para a blenda com goma xantana produzida em laboratório seguida da comercial. Acredita-se que a solução filmogênica apresentou homogeneidade devido às fortes interações entre os polímeros da blenda, o que ocasionou uma redução no número de interações disponíveis. O resultado foi uma blenda polimérica com excelentes propriedades físicas.

O filme de PVA apresentou maior teor de umidade (49,7%) devido à sua hidrofilicidade (grande quantidade de grupos OH disponíveis). A adição de GX, tanto aquela produzida em laboratório, quanto a comercial, promoveu a diminuição significativa do teor de umidade no filme resultante, devido às interações causadas por ligações de hidrogênio. Desta forma, o número destas ligações disponíveis para interagir com a água foi menor, e, conseqüentemente, uma redução no índice de umidade dos filmes produzidos foi observada (CHEN *et al.*, 2022a).

O valor do teor de umidade para a blenda, com a goma xantana produzida em laboratório, (11,57%) foi condizente com o resultado encontrado por GOMES *et al.* (2015), de 13,6 ± 0,5%. Estes autores produziram goma xantana utilizando microfibrilas de celulose derivadas de bagaço de cana-de-açúcar.

A Tabela 2 apresenta as propriedades de cor de filmes/blendas produzidos neste estudo.

Tabela 2- Propriedades de cor dos filmes

	L	a	b
PVA	91,43 ± 0,19	1,56 ± 0,07	-1,80 ± 0,18
PVA/GXc	90,45 ± 0,50	1,33 ± 0,35	-1,37 ± 0,05
PVA/GXI	90,60 ± 0,20	1,41 ± 0,33	-0,254 ± 0,36

O filme de PVA apresentou um elevado valor de L, próximo de 100, o que indica alta luminosidade e aspecto claro. Um dos parâmetros de importância e, consequentemente, de influência para o consumidor em embalagens é a sua cor e transparência. Isto permite que o produto embalado seja observado (MURIEL-GALET *et al.*, 2014). O chroma a* (indica o eixo verde-vermelho) positivo indica filmes com tendência a cor vermelha e os valores do chroma b* (indica o eixo azul-amarelo) positivo mostraram filmes com tendência a cor azul para o PVA e a blenda PVA/GXc. No entanto, pode-se observar que a adição da goma xantana, sintetizada em laboratório, apresentou valor do chroma b* diferente dos demais, com tendência a cor amarela devido à coloração do substrato utilizado, proveniente do bagaço de cana-de-açúcar.

Nos filmes contendo a blenda, observou-se que a adição do biopolímero influenciou os valores encontrados para L* e os chromas a* e b*, devido à incorporação do biopolímero ao PVA.

Os resultados encontrados para as blendas, em relação aos parâmetros de cor, indicaram filmes com aspectos mais claros, o que pode auxiliar o consumidor na observação do produto embalado, facilitando a sua comercialização.

Conclusão

A utilização de polímeros como PVA e GX tem sido estudada e desenvolvida com o

intuito de se produzir filmes biodegradáveis para a aplicação em embalagens para alimentos. Os resultados encontrados auxiliam e corroboram para a utilização de gomas xantanas, principalmente aquelas produzidas em laboratório, tornando-as uma alternativa promissora para tal aplicação. Neste sentido, a produção de biopolímeros a partir de resíduos da agroindústria, além de ser uma alternativa à matéria-prima sintética, também contribui para a sua agregação de valor.

Agradecimentos

Os autores agradecem a CAPES, FAPEMIG, CNPq, UFLA, UFSJ e ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Biomateriais.

Referências

- CHEN, J.; ZHENG, M.; TAN, K. B.; LIN, J.; CHEN, M.; ZHU, Y. **Polyvinyl alcohol/xanthan gum composite film with excellent food packaging, storage and biodegradation capability as potential environmentally friendly alternative to commercial plastic bag**. International Journal of Biological Macromolecules, v. 212, p. 402-411, 2022a.
- CHEN, J.; ZHENG, M.; TAN, K. B.; LIN, J.; CHEN, M.; ZHU, Y. **Development of xanthan gum/hydroxypropyl methyl cellulose composite films incorporating tea polyphenol and its applications on fresh-cut green bell peppers preservation**. International Journal of Biological Macromolecules, v. 211, p. 198-206, 2022b.
- GOMES, G. V. P.; ASSIS, D. J.; SILVA, J. B. A.; SANTOS-EBINUMA, V. C.; COSTA, L. A. S.; DRUZIAN, J. I. **Obtaining xanthan gum impregnated with cellulose microfibrils**

derived from sugarcane bagasse. Materials today: Proceedings, v.2, p.389-398, 2015.

HADI, A.; NAWAB, A.; ALAM, F.; ZEHRA, K. **Sustainable food packaging films based on alginate and aloe vera.** Polymer Engineering Science, v. 62, p. 2111-2118, 2022.

MEYDANJU, N.; PIRSA, S.; FARZI, J. **Biodegradable film based on lemon peel powder containing xanthan gum and TiO₂-Ag nanoparticles: Investigation of physicochemical and antibacterial properties.** Polymer Testing, v. 106, p. 107445, 2022.

MURIEL-GALET, V.; LÓPEZ-CARBALLO, G.; HERNÁNDEZ-MUÑOZ, P. GAVARA, R. **Characterization of ethylene-vinyl alcohol copolymer containing lauril arginate (LAE) as material for active antimicrobial food packaging.** Food packaging and shelf life, v.1, n.1, p.10–18, 2014.

NUNES, J. C.; MELO, P. T. S.; AOUADA, F. A.; MOURA, M. R. **Influência da nanoemulsão de óleo essencial de limão em filmes à base de gelatina.** Química Nova, v. 41, n.9, p.1006-1010, 2018.

RODRIGUES, R.; PATIL, S.; DHAKANE-LAD, J.; NADANATHANGAM, V.; MAHAPATRA, A. **Effect of Green tea extract, ginger essential oil and nanofibrillated cellulose reinforcements in starch films on the keeping quality of strawberries.** Journal of Food Processing and Preservation, v. 46, n. 1, 2021.

VROMAN, I.; TIGHZERT, L. **Biodegradable Polymers.** Materials, v. 2, 2009.

PRODUÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE FILMES DE QUITOSANA E NANOQUITOSANA DE DIFERENTES MASSAS MOLARES

Gabriel L. B. Aguiar (IC)¹, Enio N. de O. Júnior (PQ)².

Universidade Federal de São João del-Rei, Engenharia de Bioprocessos.

*e-mail: lba_gabriel@hotmail.com, eniobio@ufsj.edu.br

Palavras-Chave: *Bioprocessos, Sustentabilidade, Biodegradabilidade, Alimentos.*

Introdução

A quitosana é um polissacarídeo obtido da desacetilação da quitina, presente principalmente em insetos e invertebrados marinhos com ação fungicida e fungistática, porém, sem causar reações de toxicidade ao organismo humano (GALO et al., 2014). Nanopartículas de quitosanas possui características específicas, como alta área superficial, estabilidade coloidal e maior reatividade química (ALISHAHI et al., 2011). A produção de filmes a partir de quitosana e nanoquitosana tem despertado interesse significativo, devido às suas propriedades bioativas, mecânicas e de barreira (RINAUDO, 2006). A caracterização desses filmes é essencial para avaliar suas propriedades e potencial de aplicação em diferentes áreas, como embalagens inteligentes, engenharia de tecidos, liberação controlada de fármacos e catálise (RIAZ et al, 2018). Um dos fatores que influenciam as propriedades desses filmes é a massa molar, que está relacionada ao tamanho e à distribuição das cadeias poliméricas. A massa molar pode ser modificada durante a produção desses filmes por meio de diferentes técnicas, como hidrólise ácida, modificação química e uso de enzimas (SHAHIDI et al, 2005).

Considerando esse contexto, o objetivo deste trabalho foi caracterizar amostras e filmes de quitosana e nanoquitosana obtidos a partir de diferentes massas molares.

Material e Métodos

Foram utilizadas duas amostras de quitosana dos lotes TM4954 (A) e TM5280 (B) cedidas pela empresa PRIMEX. A determinação dos graus de acetilação das amostras foi realizada por meio de titulação potenciométrica de acordo com o método proposto por Raymond (1993). A determinação da massa molar viscosimétrica, de fundamental importância para todas as propriedades e aplicações tecnológicas (Lima et al, 2010), foi realizada de acordo com o método proposto por Kasaai (2007). Utilizou-se a equação de Mark-Houwink-Sakurada para o cálculo da massa molar viscosimétrica:

$$M_v = \left(\frac{\eta_L}{K} \right)^{1/\alpha} \quad (1)$$

Onde:

M_v = massa molar viscosimétrica;

K , α = constantes específicas para cada polímero em determinadas condições do solvente, da temperatura e da concentração.

Para os experimentos, segundo Kasaai (2007), para A: $K = 3,41 \cdot 10^5 \text{ dL/g}$ e $\alpha = 1,02$. Para B: $K = 0,0304 \cdot 10^5 \text{ dL/g}$ e $\alpha = 1,26$;

η_L = viscosidade intrínseca (ou reduzida), que se torna a viscosidade limite, dada pela equação:

$$\eta_L = \frac{(t_s - t_{sol})/t_{sol}}{c} \quad (2)$$

Onde:

t_s = tempo de escoamento da solução;

t_{sol} = tempo de escoamento do solvente;

C = concentração da quitosana na solução.

Produção e caracterização dos filmes

Os filmes de quitosana foram produzidos a partir de soluções de quitosana dos lotes TM4954 (A) e TM5280 (B) 1% (m/v) preparadas utilizando solução de ácido acético 1% (v/v) sob agitação durante 24h. Os filmes com nanopartículas de quitosana (C), foram feitos com uma solução de B em ácido acético e agitado durante 24h com uma solução de tripolifosfato de sódio gotejada 1mL/min e depois foram armazenados na geladeira a 4°C.

As espessuras médias dos filmes foram obtidas por meio de um micrômetro digital Starret de precisão 0,001 mm em 3 pontos diferentes.

As gramaturas dos filmes foram obtidas a partir da triplicata das pesagens de 1 cm² de filme em uma balança analítica Schimadzu modelo AY220 com precisão de 0,001 g. Após isso, foi realizado a média em g/cm² e convertidas para g/m².

Os mesmos quadrados cortados para o teste de granulometria foram utilizados para serem solubilizados em 30 mL água destilada por 24h em um agitador magnético a temperatura ambiente. Houve a pesagem dos papéis-filtro antes da filtração e em seguida as soluções foram filtradas em um sistema a vácuo e depois postas em uma estufa a 80 °C para o processo de secagem. O resultado foi obtido ao realizar a diferença das pesagens dos papéis

entre a massa final e inicial. Todos os experimentos foram em triplicatas.

A permeabilidade ao vapor d'água foi determinada através de gravimetria. Adicionou-se 10 g de sílica gel azul em frascos de 50 mL com diâmetro de 2,09 cm que foram tampados com os filmes produzidos e posteriormente pesados. Os frascos foram postos em um dessecador no qual continha 300 mL de solução salina de cloreto de cálcio 10% (m/v), simultaneamente com um termo-higrômetro para a averiguação de temperatura e umidade, tendo uma medição em g/dia/m².

Resultados e Discussões

Nas Figuras 1 e 2 são mostrados, respectivamente, os perfis potenciométricos das titulações e as viscosidades intrínsecas das amostras A (TM4954) e B (TM5280).

Figura 1: Derivadas da titulação potenciométrica das amostras A e B.

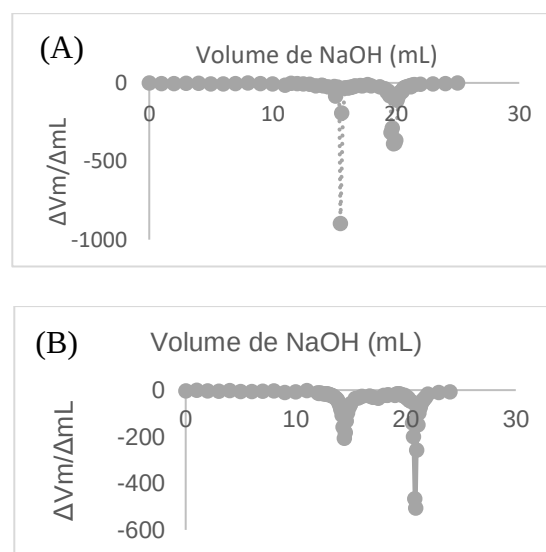
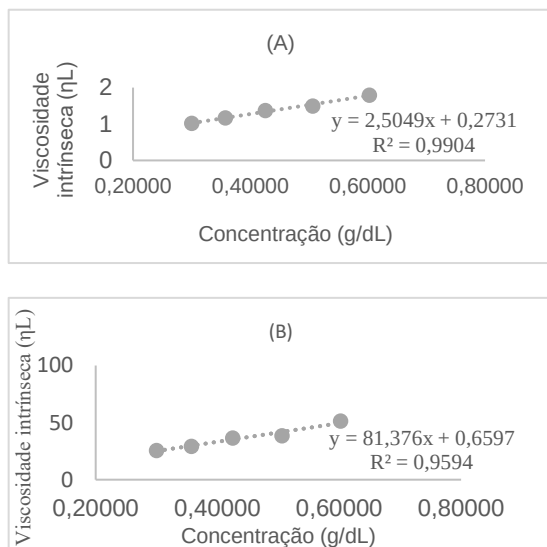


Figura 2: Viscosidade intrínseca η_L (dL/g) em função da concentração (g/dL) das amostras A e B.



Na Tabela 1 estão listados os resultados dos graus de acetilação e massas molares viscosimétricas das amostras.

Tabela 1: Graus de acetilação (GA) e massas molares viscosimétricas (Mv) das amostras A e B.

Amostra	GA (%)	Mv (Da)
A	6,63 $\pm$ 0,22	6.715
B	4,51 $\pm$ 0,03	106.892

Conforme mostrado na Tabela 1, os graus de acetilação das amostras A e B tiveram valores significativamente diferentes, bem como os valores obtidos para as massas molares viscosimétricas. Apesar das amostras terem apresentado diferença em relação aos GA, tal diferença, 2,12%, por se tratar de um polímero, não impacta em diferenças em suas propriedades. Por outro lado, as massas molares encontradas para as amostras A 6.715 Da e B 106.892 Da, mostram que as cadeias dos polímeros têm tamanhos muito diferentes e isso impacta nas propriedades dos filmes formados

a partir dessas amostras. Pode-se notar que a amostra B tem uma cadeia polimérica 16 vezes maior que a cadeia da amostra A.

Tabela 2 – Resultados dos testes realizados nos filmes de quitosana das amostras A, B e C.

Teste	A	B	C
Espessura (μm)	67,33 $\pm$ 10,5	44	109,67 $\pm$ 4,72
Gramatura (g/m^2)	45,33 $\pm$ 9,29	43,33 $\pm$ 8,38	37 $\pm$ 1,73
Solubilidade (%)	100%	63,74%	58,59%
PVA ($\text{g} \times \mu\text{m} \times \text{m}^{-2} \times \text{dia}^{-1} \times \text{mmHg}^{-1}$)	5632,51 $\pm$ 35,41	3773,95 $\pm$ 49,05	1018,74 $\pm$ 52,61

Pode-se notar que o filme C no qual foi incorporado nanopartículas de quitosana foi o filme que apresentou maior espessura, seguido dos filmes A e B, respectivamente. Quanto a gramatura, os filmes A e B não apresentaram diferença significativa. Quanto a solubilidade o filme produzido a partir da amostra A foi 100% solúvel, seguido do filme B (63,74%) e C (58,59%). O filme mais permeável ao vapor de água foi o filme A, o que pode ser explicado pelo fato de apresentar menor massa molar e ser altamente solúvel em água. As permeabilidades ao vapor de água dos filmes B e C foram 3773,95 $\pm$ 49,05 e 1018,74 $\pm$ 52,61 $\text{g} \times \mu\text{m} \times \text{m}^{-2} \times \text{dia}^{-1} \times \text{mmHg}^{-1}$, respectivamente.

Pode-se observar que as propriedades dos filmes produzidos e caracterizados neste estudo, são muito distintas e, a escolha do melhor filme depende do objetivo específico para a aplicação desejada.

Conclusão

O acetato de quitosana formado por A e B resultaram em um biofilme transparente, fino e maleável, porém o formado por C resultou em

um biofilme mais opaco, rígido e levemente mais espesso.

O filme A, por exemplo, pode ser utilizado para embalagens que precisem ser facilmente removidas ou dissolvidas, como embalagens de produtos de uso único ou de produtos químicos e detergentes. O filme B, por sua vez pode ser utilizado para revestimento de frutos, por ter maior resistência mecânica, e a incorporação de C, além de fortalecer as propriedades físico-químicas do filme, confere ainda mais controle na proliferação de microrganismos.

Agradecimentos



Referências

ALISHAHI, A. e colab. **Shelf life and delivery enhancement of vitamin C using chitosan nanoparticles.** Food Chemistry, v. 126, n. 3, p. 935–940, 1 Jun 2011.

GALO, Joyce De Queiróz Barbosal e colab. **Postharvest storage of papaya ‘sunrise solo’ with the use of chitosan.** Revista Brasileira de Fruticultura, v. 36, n. 2, p. 305–312, 1 Abr 2014.

KASSAI, M. **Calculation of Mark-Houwink-Sakurada (MHS) equation viscometric constants for chitosan in any solvent-temperature system using experimental reported viscometric constants data,** 2007.

LIMA, Emilia C. O.; NETO, José M. M.; GALEMBECK, F. **Fracionamento De Polifosfato De Sódio E Caracterização Por RMN De 31p: Um Experimento Para Aulas De**

Físico-Química. Quim. Nova, Vol. 33, No. 9, 1991-1995, 2010.

RIAZ, M, Riaz MA, Zhang X, et al. **Chitosan-Based Hydrogels: Preparation, Properties, and Applications.** Biomaterials Science. 2018;6(4):915-46.

RINAUDO, M. **Chitin and chitosan: Properties and applications.** Progress in Polymer Science. 2006; 31(7):603-32.

SHAHIDI, F, Abuzaytoun R, Mussig J. **Food applications of chitin and chitosans.** Trends in Food Science & Technology. 2005;16(12): 67-75.

TRATAMENTO PÓS-COLHEITA DE *CITRUS RETICULATA* CV. PONKAN UTILIZANDO QUITOSANA E NANOPARTÍCULAS DE QUITOSANA

Gabriel L. B. Aguiar (IC)¹, Ênio N. de O. Júnior (PQ)².

Universidade Federal de São João del-Rei, Engenharia de Bioprocessos.

*e-mail: lba_gabriel@hotmail.com, eniobio@ufsj.edu.br

Palavras-Chave: Frutos, Agricultura, Citricultura, Revestimento.

Introdução

Frutas cítricas são vulneráveis a infecções por micro-organismos, distúrbios fisiológicos e lesões físicas, resultando em seu arruinamento, gerando grande perda econômica anualmente (WANG et al., 2020). Atualmente, fungicidas químicos são amplamente utilizados para controlar doenças de plantas e eliminar pragas, o que traz potenciais problemas de saúde e ambientais (XU et al., 2018). A fim de diminuir o impacto da deterioração de frutas e atender a demanda dos consumidores por frutas saudáveis e frescas, a utilização de revestimentos de base biológica na preservação destes têm sido alvo de muitos estudos (LACROIX & VU, 2013). Entre os tipos de revestimento, pode-se citar os de celulose, quitina e quitosana, que são os candidatos mais promissores por serem renováveis, biocompatíveis, atóxicos, biodegradáveis e de baixo custo (SALMON & HUDSON, 1997). Esses tipos de revestimentos ajudam a preservar a cor, diminuir a perda de peso, melhorar atividade antimicrobiana contra uma variedade de fitopatógenos e prolongar a vida útil da fruta, reduzindo a taxa de respiração e perda de água (SUN et al., 2021).

Considerando esse contexto, o objetivo deste trabalho foi tratar tangerinas Ponkan com quitosana e nanopartículas de quitosana no processo de pós-colheita, visando o aumento do tempo de armazenamento e redução da incidência de antracnose.

Material e Métodos

92 tangerinas (*Citrus reticulata* cv. Ponkan) foram colhidas manualmente no pomar da Parada da Mexerica em Cristiano Otoni – MG, seguindo os critérios de estado de maturação, tamanho, formato, cor, firmeza do pedúnculo e ausência de lesões na superfície.

Os frutos foram lavados em água corrente, depois imersos em uma solução de hipoclorito de sódio 1% (v/v) por 5 minutos e secos ao ar livre. Após 24h, houve a separação de 4 grupos de 23 unidades (18 para análises destrutivas e 5 para as análises não destrutivas) para imersão em cada tratamento: revestimento de solução de ácido acético 1% (v/v), solução de quitosana 1% (m/v), solução de nano quitosana 1% (m/v) e as que não receberam nenhum tipo de revestimento para controle. Após isso, secaram por 24h em um varal.

O grupo não destrutivo foi fotografado no mesmo local e horário nos dias de análise e depois utilizou-se do programa Adobe Photoshop para determinação dos índices CIE L* a* b* para escurecimento, que foram decisivos na aplicação da fórmula da variação da coloração das cascas ao longo do tempo. O resultado foi expresso seguindo as equações 1 e 2 proposta por Buera, Lozano e Petriella (1985).

$$X = \frac{a+1,75*L}{5,645*L+a-3,012*b} \quad (1)$$

$$(BI) = \frac{100 \cdot (X - 0,31)}{0,172} \quad (2)$$

O mesmo grupo de frutos foi pesado para analisar a diferença na massa ao longo do tempo. Os resultados expressos em porcentagem, considerando a massa do dia 0 como 100%. A firmeza foi determinada por meio de um dinamômetro digital Instrutherm DD-2000, realizando 4 leituras equidistantes dos 3 frutos de repetição (triplicata). Os resultados foram expressos em N.

Para cada dia, a polpa foi extraída dos 3 frutos de repetição e depois filtrados em organza. Para analisar os sólidos solúveis, utilizou-se 5 gotas em um refratômetro portátil Instrutherm portátil RTA-50 com precisão de 0,1% a 25°C, com resultados expressos em Brix% (índice refractométrico).

Para o pH, utilizou-se um pHmetro digital DM-22 Digimed. Para realizar a acidez titulável, foram diluídos 10 mL da polpa em 50 mL de água destilada, com 3 gotas de fenolfaleína e utilizou-se como titulante uma solução de NaOH 0,1 M até alcançar o ponto de viragem de cor. Os resultados foram expressos em gAc/L (gramas de ácido cítrico por litro).

Os teores dos açúcares redutores foram determinados utilizando o método do ácido 3,5-dinitrosalicílico por espectrofotometria de absorção molecular no UV-VIS no comprimento de onda de $\lambda = 520$ nm (MILLER, 1959).

Resultados e Discussões

Percebeu-se que o uso de quitosana e nanoquitosana reduziu o índice de escurecimento das frutas, conforme pode ser visto na Figura 1. Os menores valores de BI para as amostras tratadas com quitosana e

nanoquitosana apresentaram os menores valores 314,08 e 312,28, respectivamente.

Figura 1: Índice de escurecimento das frutas ao longo dos dias. 1) Controle; 2) Controle ácido acético; 3) Quitosana; 4) Nanoquitosana.



Na Tabela 1 são listados os valores de perda de massa (%) dos frutos ao longo do tempo de armazenamento.

Tabela 1: Porcentagem (%) de perda de massa dos frutos controle, controle de ácido acético, tratados com quitosana e nanoquitosana ao longo do tempo de armazenamento.

Dias	Controle (%)	Ácido Acético (%)	Quitosana (%)	Nano quitosana (%)
0	0	0	0	0
3	3,49 ± 0,39	3,06 ± 0,82	3,55 ± 0,61	2,92 ± 0,87
6	6,37 ± 0,74	5,88 ± 1,05	6,43 ± 1,13	5,58 ± 1,07
9	8,92 ± 1,08	8,52 ± 1,36	9,1 ± 1,59	8,14 ± 1,28
12	11,01 ± 1,37	10,65 ± 1,61	11,29 ± 1,99	9,90 ± 1,90
15	13,1 ± 1,68	12,78 ± 1,86	13,49 ± 2,35	12,47 ± 1,69

Pode-se observar na Tabela 1 que ao se comparar os valores médios de perda de massa dos frutos do grupo controles e tratados com quitosana e nanoquitosana, não se observou diferença significativa entre os valores encontrados após 15 dias de armazenamento. O valor médio de perda de massa foi de 13,96% após 15 dias de armazenamento dos frutos.

Na Tabela 2 são listados os resultados de pH, acidez titulável e sólidos solúveis analisados no suco dos frutos e firmeza da casca dos frutos ao final de 15 dias.

Tabela 2: Valores de pH, acidez titulável, sólidos solúveis e firmeza da casca ao final de 15 dias.

Tratamento	pH	Acidez Titulável (gAc/L)	Sólidos solúveis (brix%)	Firmeza da casca (N)
Controle	4,03 ± 0,07	5,25 ± 0,36	14,97 ± 0,06	13,28 ± 1,06
Ácido Acético	3,81 ± 0,07	5,42 ± 0,12	14,06 ± 0,06	14,75 ± 0,95
Quitosana	4,02 ± 0,04	5,74 ± 0,15	14,23 ± 0,06	17,66 ± 2,07
Nano quitosana	3,99 ± 0,04	5,44 ± 0,36	13,63 ± 0,25	17,23 ± 3,99

Não houve diferença significativa entre aos resultados de pH, acidez titulável e sólidos solúveis. O que explica isso é o fato de que tangerinas não são frutas climatéricas e, por serem assim, não amadurecem após serem colhidas. No entanto, nota-se que os grupos tratados com quitosana e nanoquitosana apresentam maior firmeza no final do ciclo de 15 dias, indicando que os filmes de quitosana e nanoquitosana permitiram que os frutos tratados apresentassem uma maior firmeza da casca e, conseqüentemente, maior resistência a danos mecânicos no pós-colheita, evitando a proliferação de fitopatógenos que normalmente se desenvolvem após esses danos mecânicos.

Tabela 3: Teores de açúcares redutores % (m/v) encontrado no suco dos frutos após 15 dias de armazenamento.

Tratamento	Teor de açúcares redutores (% m/v)
Controle	6,05 ± 1,66
Ácido acético	6,32 ± 1,37
Quitosana	5,54 ± 1,14
Nanoquitosana	5,18 ± 0,75

Os valores obtidos para o teor de açúcares redutores na Tabela 3 não foram significativamente diferentes entre os grupos analisados e os dias de análise. Isso significa que o teor se manteve constante durante todo o período de armazenamento. Porém, tais pequenas variações são devidos às possíveis diferenças na variedade do fruto, como por exemplo o estágio de maturação, condições climáticas, estação do ano, dentre outros.

No final do experimento, algumas das tangerinas dos grupos de controle e de ácido acético (Figura 2) apresentaram crescimento de fungos em suas cascas, enquanto nos demais tratamentos não foram observados crescimento de fungos. Tal resultado demonstra de forma qualitativamente visual, que os frutos tratados com quitosana e nanoquitosana apresentaram uma melhor qualidade pós-colheita no que diz respeito a inibição de fungos fitopatógenos.

Figura 2: Tangerina do grupo de controle que apresentou crescimento de fungo.



Conclusão

Por meio das análises deste estudo, conclui-se que os revestimentos de quitosana e nanoquitosana reduziram o índice de escurecimento dos frutos e permitiram que os frutos tratados apresentassem uma maior firmeza da casca e, conseqüentemente, maior resistência a danos mecânicos, o que propiciou aumento da qualidade das frutas no pós-colheita.

Agradecimentos



Referências

BUERA, M. P.; Lozano, R. D.; PETRIELLA, C. **Definition of color in the non-enzymatic browning process.** Die Farbe, 32/33, p. 316–326, 1985.

LACROIX, Monique e VU, Khanh Dang. **Edible Coating and Film Materials: Proteins. Innovations in Food Packaging: Second Edition.** [S.l.]: Elsevier Ltd., 2013. p. 277–304.

MILLER, G. L. **Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar.** Analytical Chemistry, v. 31 (3), p. 426–428, 1959.

SALMON, Sonja e HUDSON, Samuel M. **Crystal morphology, biosynthesis, and physical assembly of cellulose, chitin, and chitosan.** Journal of Macromolecular Science - Reviews in Macromolecular Chemistry and Physics, v. 37, n. 2, p. 199–276, 1997.

SUN, Xiuxuan e colab. **Comparative performance of bio-based coatings formulated with cellulose, chitin, and chitosan nanomaterials suitable for fruit preservation.** Carbohydrate Polymers, v. 259, 1 maio 2021.

WANG, K; LI, K; CHEN, S; LI, Y; RASHID, A. **The biochemical and molecular mechanisms of softening inhibition by chitosan coating in strawberry fruit (Fragaria x ananassa) during cold storage.** 2020.

XU, Dan e QIN, Hairong e REN, Dan. **Prolonged preservation of tangerine fruits using chitosan/montmorillonite composite coating.** Postharvest Biology and Technology, v. 143, p. 50–57, 1 Set 2018.

CARACTERIZAÇÃO DE FILMES DE QUITOSANA PARA USO COMO SUPORTE DE BIOCURATIVOS

**Tayná Drielly A. Ferreira (IC)*,¹ Wellington Luís O. S. Filho (IC), ¹Enio N. O. Júnior (PQ)²,
Daniela L. Fabrino (PQ)²**

¹ Universidade Federal de São João del-Rei, Engenharia de Bioprocessos, ² Universidade Federal de São João del-Rei, Departamento de Química, Biotecnologia e Engenharia de Bioprocessos – DQBIO.

e-mail: danifabrino@ufsj.edu.br

Palavras-Chave: *Engenharia de Tecidos, Cultura Celular, Biomaterial, Quitosana, Filme.*

1. Introdução

Os biomateriais são produtos utilizados em humanos para tratar doenças, substituir estruturas anatômicas ou processos fisiológicos. Incluem produtos naturais, sintéticos e modificados, podendo ser classificados como biopolímeros, como polissacarídeos, proteínas, ácidos nucleicos e lipídeos. Biomateriais são vantajosos por serem abundantes, acessíveis, semelhantes à matriz extracelular, biodegradáveis e seus produtos de degradação são atóxicos e biocompatíveis. No entanto, o desafio é replicar as propriedades dos tecidos vivos, que evoluíram ao longo de milhões de anos. A engenharia de tecidos permite criar tecidos projetados para reparar ou substituir tecidos naturais (HENCH, 2005; HENCH, 2006).

Os materiais biodegradáveis estão sendo cada vez mais pesquisados devido à demanda por biomateriais que possam ser reabsorvidos pelo organismo. Os polímeros são destacados nesse campo devido à sua variedade de propriedades químicas, físicas e mecânicas. Dispositivos biorreabsorvíveis são usados como suporte para o crescimento e proliferação celular, e a quitosana é um biopolímero de destaque nesse contexto. Ela é obtida pela reação de desacetilação da quitina e é o segundo biopolímero mais abundante na natureza. A quitosana é insolúvel em água e solventes

orgânicos, possui baixa reatividade química e sua solubilidade é influenciada pelo grau de acetilação. A quitosana é prontamente disponível, de baixo custo e pode ser reabsorvida por sistemas biológicos devido à sua hidrólise enzimática. Ao introduzir reticulações em sua estrutura, é possível controlar sua taxa de biodegradação (FIDÉLES, 2010).

A quitosana possui propriedades que a tornam adequada para uso como biomaterial, como alta hidrofilicidade devido aos grupos hidroxila e amino presentes na cadeia polimérica, além de não-toxicidade, biocompatibilidade e biodegradabilidade. Em pH neutro, a quitosana adquire carga positiva, permitindo sua interação eletrostática com moléculas carregadas negativamente, o que é importante para a cultura de células (LARANJEIRA, et al., 2009; KIM, et al., 2001; SHANDY, et al., 1990).

Parte superior do formulário

2. Materiais e Métodos

2.1 Produção Dos Filmes De Quitosana

Diferentes filmes foram preparados por dissolução de quitosana comercial, ChitoClear Batch TM3425 150gr, em soluções de ácido acético (AA) 1% (v/v), ácido láctico (AL) 1% (v/v) ou ácido cítrico (AC) 1% (v/v), na concentração de 0,5% (m/v). As soluções foram homogeneizadas em agitador magnético a

temperatura ambiente por 24 horas até completa dissolução. Em seguida, foram vertidas em placas de vidro na dimensão de 29 cm de comprimento e 21 cm de largura. Os filmes foram secos a temperatura ambiente dentro do fluxo laminar ligado e limpo.

2.2 Desidratação dos filmes de quitosana

Os filmes prontos, descritos na seção 2.1, foram cortados em quadrados com 1cm² de área e depositados em triplicata em placas de *Petri* identificadas que foram colocadas em estufa de secagem à 80°C por 1 hora. Verificou-se o peso dos filmes antes e após ser colocada na estufa de maneira a definir o teor de umidade existente nos filmes, e assim, determinar a desidratação de cada um.

2.3 Microscopia Eletrônica de Varredura

Amostras dos filmes foram enviadas ao CNPEM para avaliação ao Microscópio Eletrônico de Varredura Thermo Fischer Scientific INSPECT F50.

2.4 Esterilização dos filmes

Microorganismos pré-cultivados em placa de ágar foram cedidos pelo laboratório de microbiologia da Universidade Federal de São João del-Rei (UFSJ). Uma colônia de cada bactéria (*B. cereus* e *E. coli*) foi colocada em diferentes tubos de ensaio contendo meio LB (24h a 30°C) para crescimento das bactérias. Posteriormente em uma placa de cultura foi montada da seguinte forma: poço contendo apenas meio LB como controle negativo, poço contendo lactato de quitosana tratados por 15 min na UV e meio LB; poço contendo lactato de quitosana tratados por 30 min na UV e meio LB.

2.5 Teste De Ação Antimicrobiana Do Lactato De Quitosana

A metodologia foi realizada como citado no tópico anterior, e a placa de cultivo foi montada como se segue: poço contendo lactato de quitosana banhados no meio LB com *E. coli* e meio LB; poço contendo lactato de quitosana

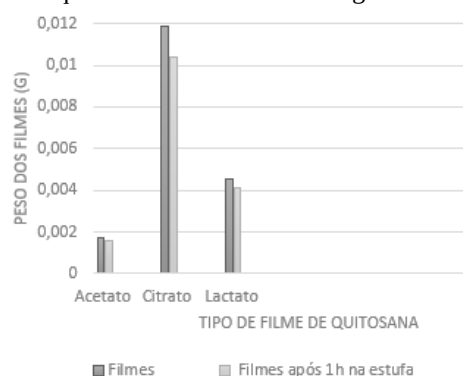
banhados no meio LB com *B. cereus* e meio LB.

3. Resultados e Discussão

Ao realizar o teste para uso dos filmes a base de quitosana notou-se uma super hidratação dos mesmos, e por isso, fez-se necessário a desidratação dos mesmos.

Na figura 1 pode-se observar os resultados obtidos após a desidratação dos filmes na estufa de secagem.

Figura 1 – Gráfico de desidratação dos filmes de quitosana em estufa de secagem.

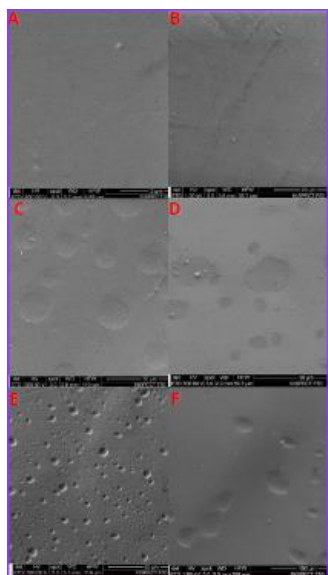


A figura 1 mostra que houve uma diferença de peso nos filmes de quitosana, que dentre eles o que estava com maior super hidratação era o citrato de quitosana, os filmes de acetato e lactato de quitosana tiveram uma diferença de peso muito pequena e insignificante estatisticamente, porém, na prática tal alteração na massa fez com que o experimento pudesse seguir sem interferências quanto à hidratação dos filmes.

Por meio da microscopia eletrônica de varredura (MEV) foi possível verificar que a estrutura dos filmes não sofreu alteração, conforme pode ser visto na figura 2.

Figura 2 – MEV dos filmes de acetato (antes da desidratação) A, (após a desidratação) B, citrato (antes da desidratação) C, (após a desidratação) D e lactato (antes da desidratação) E, (após a desidratação) F.

05 a 07 de julho de 2023
Ouro Branco, Minas Gerais, Brasil

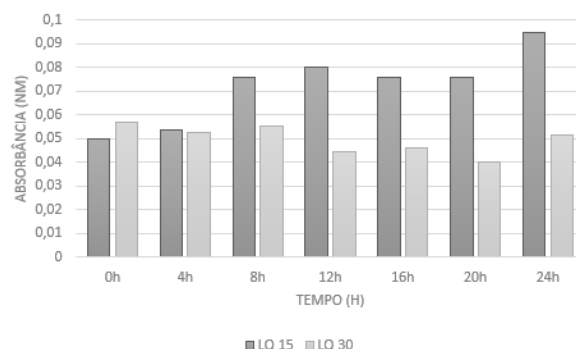


Temos que os filmes antes da desidratação possuíam gotículas de água contidas (A,C,E) e após a desidratação as mesmas deixaram de existir sem mudar a estrutura do filme (B,D,F) o que possibilitou o resultado alcançado.

Em trabalhos anteriores do grupo (LEITE, et. al, 2020) pode-se constatar em testes de celularização que o lactato de quitosana foi o melhor para ser usado como suporte de biocurativo, embora os autores tenham verificado melhor celularização no filme de lactato de quitosana, não ficou claro se tal fato se devia a estrutura do filme ou às suas características químicas. Nesse trabalho observou-se que a superfície dos filmes é bastante regular e não apresenta diferenças estruturais devido ao uso de diferentes agentes reticulantes (Figura 2).

Uma vez que o filme de lactato de quitosana não se mostra tóxico para células (LEITE, et. al, 2020) e mostra estabilidade em meio de cultura (Figs 1 e 2), o teste de esterilização, descrito no item 2.4, foi realizado e o resultado obtido pode ser visto na figura 3.

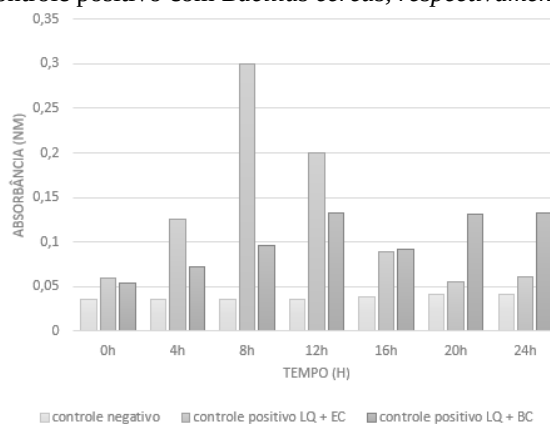
Figura 3 – Gráfico de esterilização do lactato de quitosana deixado em exposição a UV em 15 e 30 minutos, respectivamente.



Nota-se que os filmes expostos a UV por 30 min. apresentaram melhor resultado quanto ao crescimento de microrganismos, conseguindo reter o crescimento com mais eficácia por mais tempo quando comparado ao filme exposto por 15 min.

O teste antimicrobiano pode ser visto na figura 4.

Figura 4 – Gráfico do teste antimicrobiano: controle negativo, controle positivo com *Escherichia coli*, controle positivo com *Bacillus cereus*, respectivamente.



Analisando a figura 4 pode-se observar que o controle negativo se mantém constante durante todo o experimento. O controle positivo com *E. coli* tem um alto crescimento bacteriano por volta de 8h, porém que tal proliferação não se mantém e cai após 16h. No controle positivo com *B. cereus* nota-se que o crescimento bacteriano é menor do que o de *E. coli*, e embora tenha pico de crescimento por volta de 12h, o crescimento não evolui, tais resultados mostram que as propriedades antimicrobianas

da quitosa se mantém quando a mesma é reticulada com ácido láctico. O que corrobora com dados da literatura que mostram que os filmes de quitosana possuem propriedades bacteriostáticas (GOY, et al, 2016), ou seja, são capazes de inibir o crescimento e a reprodução bacteriana.

4. Conclusão

Com os resultados obtidos é possível verificar que os filmes a base de lactato de quitosana, podem ser esterilizados de forma prática e barata (exposição de luz UV), bem como é possível estabilizar a estrutura deste biomaterial por meio de desidratação dos filmes sem danos à sua estrutura o que assegura a reprodutibilidade de seu uso. Além disso, as propriedades bacteriostáticas, garante que são uma possibilidade para o uso como suporte de biocurativos.

Agradecimentos

Ao Conselho Nacional de Pesquisa em Energia e Materiais (CNPq) pela realização da microscopia eletrônica de varredura, a todo grupo de pesquisa em tecnologia celular (TECCEL/UFSJ) pela colaboração durante a realização do projeto.

5. Referências Bibliográficas

CAMPANA FILHO, S.P.; BRITTO, D.; CURTI, E.; ABREU, F.; CARDOSO, M.; BATTISTI, M.; SIM, P.; GOY, R.; SIGNINI, R.; LAVALL, R. Extração, estruturas e propriedades de alfa e beta-quitina. *Química Nova*, v. 30, p. 644-650, 2007.

FIDÉLES, T. B. Filmes reticulados de quitosana para aplicação como biomaterial. 2010. 70 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais), Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Federal de Campina Grande - Paraíba - Brasil, 2010.

GOY RC, MORAIS STB, ASSIS OBG (2016) Evaluation of the antimicrobial activity of chitosan and its quaternized derivative on *E. coli* and *S. aureus* growth. *Revista Brasileira de Farmacognosia* 26::122–127. <https://doi.org/10.1016/j.bjp.2015.09.010>

HENCH, L.L.; JONES, J.R. *Biomaterials, Artificial Organs and Tissue Engineering*. CRC PRESS: Boca Raton, 2005.

HENCH, L.L. *Biomateriais: Uma Introdução*, 2006. In: Oréfice, R.; Pereira, M.M.; Mansur, H.S. *Biomateriais: Fundamentos e Aplicações*. Rio de Janeiro: Cultura Médica, p. 538, 2006.

KIM, S., K., PARK, P., J., YANG, H., P., HAN, S., S., Subacute toxicity of chitosan oligosaccharide in Sprague-Dawley rats, *Arzneimittelforschung Drug Reserch*. Taejon. v. 51, n. 9, p. 769-774, 2001

LARANJEIRA, M., C., M., FÁVERE, V., T., Quitosana: biopolímero funcional com potencial industrial biomédico, *Química nova*. Florianópolis. v. 32, n. 3, p. 672-678, abr. 2009.

LEITE, V. C.; WAGNER, W.; OLIVEIRA JUNIOR, E. N.; FABRINO, D. L. Cell viability evaluation of vero cells viability cultured on different chitosan films: development of functional biodressings possibilities. *International Journal of Advances in Medical Biotechnology*, v. 3, p. 34-39, 2020.

SHANDY, T.; SHARMA, C.P. Chitosan as biomaterial. *Biomater Artif Cells Artif Organs*, 18, 1. 1-24, 1990.

MODELAGEM COMPARATIVA PARA PROSPECÇÃO DA ÓXIDO NÍTRICO SINTASE NO *TRYPANOSOMA CRUZI*

Patrick E. S. Teles (IC),^{1*} Daniela L. Fabrino (PQ).²

¹ Universidade Federal de São João del-Rei, Engenharia de Bioprocessos, ² Universidade Federal de São João del-Rei, Departamento de Química, Biotecnologia e Engenharia de Bioprocessos - DQBIO

*e-mail: danifabrino@ufsj.edu.br

Palavras-Chave: *Modelagem de proteínas; Óxido nítrico sintase; Óxido nítrico; Trypanosoma cruzi.*

Introdução

A infecção conhecida como doença de Chagas é causada pelo protozoário *Trypanosoma cruzi* (*T. cruzi*) é transmitida principalmente por meio das fezes de triatomíneos infectados conhecidos popularmente como “barbeiros” (BARRETO, 1979).

De acordo com dados atualizados em 2017, a Organização Mundial da Saúde estimou a existência de 6 a 9 milhões de indivíduos infectados por *T. cruzi* na América Latina onde figura como importante problema social, com alto grau de mortalidade. Esses números retratam que a doença de Chagas, mesmo após mais de 100 anos de sua descoberta, continua negligenciada e sendo a maior causa de óbitos entre as doenças parasitárias, incluindo a malária (VINHAES, 2018).

Mesmo com o avanço da farmacologia, ainda hoje os remédios utilizados no tratamento da Doença de Chagas, não extinguem totalmente o parasito o que é necessário para a cura. Tais medicamentos possuem capacidade apenas de uma redução na carga parasitológica na fase aguda, porém sendo ineficaz na fase crônica (GOMES *et al.*, 2020).

O Óxido Nítrico (NO) possui um importante papel no sistema imune, estando envolvido na patogenia e controle de doenças infecciosas, tumores, processos autoimunes e doenças

degenerativas crônicas. Tais benefícios ocorrem graças a sua variedade de parceiros em reações como DNA, grupos prostéticos, proteínas, entre outros. Além disso, ele tem uma vasta produção por três diferentes Óxido Nítrico Sintases (NOS) e sua atividade é fortemente influenciada por suas concentrações (VIEIRA, 2007).

Apesar da não identificação de uma enzima estritamente ligada a neutralização de espécies reativas nitrogenadas, parasitos da ordem kinetoplastida conseguem driblar a resposta imune do hospedeiro além de interferir na via de produção do NO (FABRINO, 2009). Até o presente momento não há registros na literatura da caracterização molecular de uma NOS em *T. Cruzi*, porém há fortes evidências bioquímicas para que tal enzima esteja presente neste protozoário (PAVETO *et al.*, 1995; FABRINO, 2009).

Utilizando a bioinformática, muito pode ser inferido sobre a função de proteínas não caracterizadas quando uma similaridade estatisticamente significativa é detectada contra sequências de proteínas que são bem conhecidas (JIANG, 2015).

A modelagem de proteínas é uma ferramenta da bioinformática, que permite a obtenção de um modelo proteico virtual através de busca por homologia estrutural, aprendizagem de máquina entre outros métodos (HUANG, 2014).

O presente trabalho utiliza ferramentas de bioinformática para recuperação da sequência alvo obtida em *T. cruzi* e modelagem da NOS, a fim de gerar dados complementares aos obtidos com os experimentos *in vitro* e *in vivo* de Fabrino 2009. Uma vez que a via bioquímica do óxido nítrico em tripanossomatídeos ainda não se encontra totalmente esclarecida na literatura.

Procedimento Experimental

Foram recuperadas as sequências de aminoácidos das três isoformas de NOS no PDB do NCBI (*nitric oxide synthase, endothelial isoform 1* [Homo sapiens] Referência NCBI: NP_000594.2; *nitric oxide synthase, brain isoform 2* [Homo sapiens] Referência NCBI: NP_001191147.1; *nitric oxide synthase, brain isoform 3* [Homo sapiens] Referência NCBI: NP_001191143.1) para correlacionar com a respectiva proteína presente no protozoário.

Tais sequências foram submetidas a um BLASTp contra a base de dados do TriTrypDB, filtrando os resultados para retornar apenas sequências referentes ao genoma de *T. cruzi*.

Para a modelagem tridimensional, foram utilizados os métodos de modelagem comparativa a partir do SWISS-MODEL.

Para avaliação da qualidade dos modelos propostos pelo software supracitado, foi-se levado em conta a qualidade estereoquímica do modelo a partir do gráfico de Ramachandran e a qualidade geométrica local, potencial de interação e potencial de solvatação através do QMEAN (SWISS-MODEL).

Por fim, o ChimeraX realizou o alinhamento dos modelos tridimensionais através do algoritmo de needleman-wunsh e pontuação da matriz BLOSUM62. Com isto, as proteínas foram sobrepostas para análise da qualidade do

modelo através do cálculo do valor do Desvio Quadrático Médio (RMSD).

Resultados e Discussão

As três isoformas de NOS foram submetidas a um BLASTp contra o banco de dados completo do TriTrypDB, a fim de identificar proteínas com identidade igual ou superior a 30% e *e-value* menor que e^{-5} . As isoformas I e II, as quais são constitutivas não retornaram resultados plausíveis. Em contrapartida, a isoforma III (induzida) retornou resultados que atendiam os parâmetros supracitados, o que condiz com a forma que o protozoário produziria devido a situação em que ele é exposto para desencadear a produção.

Foram selecionados os dois melhores resultados: Tc_MARK_1304 sendo um mRNA que obteve identidade de 48,5%, pontuação de 249 e *e-value* de $8e^{-70}$; TcCLB.506585.70, um mRNA que obteve identidade de 46,5%, pontuação de 249 e *e-value* de $8e^{-69}$. Seguiu-se com ambos, visto que são provenientes de cepas diferentes, o primeiro é referente ao organismo *Trypanosoma cruzi marinkellei strain B7* e o segundo é referente ao organismo *Trypanosoma cruzi CL Brener Non-Esmeraldo-like*.

Para a modelagem comparativa através do SWISS-MODEL, as sequências das proteínas de referência foram utilizadas em um BLASTp para a busca de uma proteína molde no banco de dados do SWISS-MODEL.

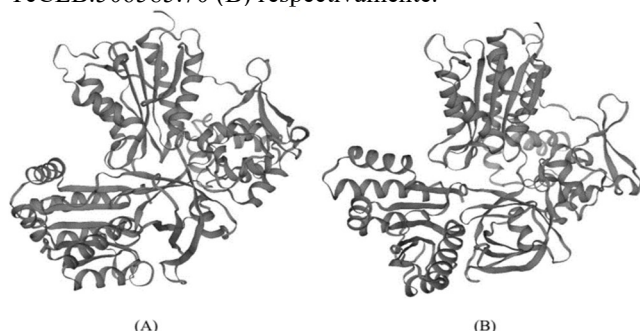
Com a busca, foi encontrada a proteína 1till.1, a qual apresentou identidade de 31% e similaridade de 36% com a TcCLB.506585.70 e identidade de 32% e similaridade de 36% com a Tc_MARK_1304, indicando assim um molde viável para a modelagem comparativa.

Tendo estes resultados como satisfatórios, as proteínas alvos foram modeladas através do

05 a 07 de julho de 2023
Ouro Branco, Minas Gerais, Brasil

SWISS-MODEL, gerando as estruturas da Figura 1.

Figura 1 – Modelo tridimensional do SWISS-MODEL da proteína Tc_MARK_1304 (A) e TcCLB.506585.70 (B) respectivamente.



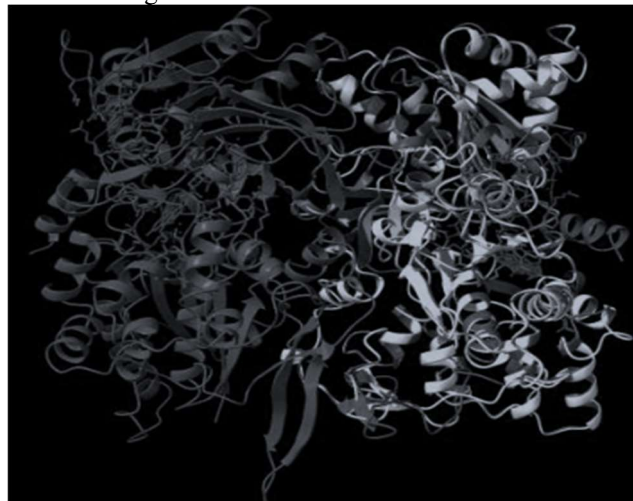
Os modelos apresentaram valores aceitáveis no QMEAN, de -2.92 e -2.16, onde se os resultados fossem inferiores a -4, deveriam ser descartados (BENKERT *et al.*, 2010).

Outro parâmetro utilizado foi o gráfico de Ramachandran, que é uma representação gráfica de ângulos ϕ versus ângulos ψ , este avalia a qualidade estereoquímica do modelo. Este gráfico apresenta a relação percentual dos resíduos de aminoácidos em regiões consideradas como favoráveis, permitidas e proibidas, onde ao menos 90% dos aminoácidos devem estar em regiões favoráveis. Além disso, as rotações desfavoráveis devem ser inferiores a 3% (STUDER *et al.*, 2019).

Nesta análise, a proteína Tc_MARK_1304 retornou rotações desfavoráveis em 3,19%, sendo descartado o prosseguimento. Já a TcCLB.506585.70 obteve 92,11% dos aminoácidos em regiões favoráveis, 1,2% em regiões desfavoráveis e 1,6% com rotações desfavoráveis. Tais dados demonstram que o modelo atende parâmetros para ser considerado estável.

Por fim, foi realizada a sobreposição das proteínas no ChimeraX, com resultado demonstrado na Figura 2.

Figura 2 – Sobreposição das proteínas 1.tll.1 e a proteína gerada no SWISS-MODEL a partir da sequência TcCLB.506585.70, sendo a primeira destacada em cinza escuro e a segunda em cinza claro.



Erros no modelo são geralmente estimados pelo cálculo do RMSD dos átomos, sendo considerado de boa qualidade um valor inferior a 2Å e pontuação superior a 1000 (VYAS *et al.*, 2012). O modelo gerado pelo SIWSS-MODEL obteve um RMSD de 0,271Å e pontuação de 1233.8, confirmando assim um modelo de boa qualidade.

A partir Figura 2, é possível notar que as proteínas modeladas com este trabalho sobrepõem apenas a porção A da NOS.

Por se tratar de um heterodímero, é plausível que cada subunidade seja codificada por um mRNA distinto. Cada gene pode codificar um polipeptídeo específico ou uma proteína específica. Portanto se duas subunidades de proteína são codificadas por genes distintos, cada subunidade será produzida a partir de um mRNA distinto. Após a produção das subunidades, para formar um dímero o pode-se passar por um processo complexo que depende de vários fatores, a união pode ser mediada por interações não covalentes entre superfícies, sendo um processo espontâneo ou pode ser

05 a 07 de julho de 2023
Ouro Branco, Minas Gerais, Brasil

necessário o auxílio de chaperonas moleculares para garantir o correto dobramento e união das subunidades.

Como a NOS é um dímero grande e complexo, pode-se supor que o mRNA encontrado se refere apenas a subunidade A e existe outro mRNA para a produção subunidade B, visto que é uma molécula heterodimérica, a qual deve ser investigada posteriormente.

Conclusão

Com os procedimentos executados no presente trabalho, pode-se encontrar dois modelos estáveis após a triagem de diversas sequências.

Tais processos retornaram mais indícios de uma possível NOS em *T. cruzi*. No entanto é necessário uma análise complementar para avaliar se outro mRNA é responsável pela produção do dímero B, completando assim a proteína e seguindo com o docking molecular para confirmar a existência da NOS neste organismo.

Referências

BARRETO M. P.; RIBEIRO R. D.; Reservatórios silvestres do Trypanosoma (Schizotrypanum) Cruzi Chagas, 1909. Rev Inst Adolfo Lutz. 1979; 39: 25-36.

VINHAES M. C. Trypanosomiasis control: surmounting diminishing returns. Trends Parasitol 2018; 19:112-3.

GOMES, Letícia Pinho. *et al.* “Importância do conhecimento clínico e biológico sobre a doença de Chagas entre acadêmicos do curso de Enfermagem”. *Revista Eletrônica Interdisciplinar*, vol. 12, nº 2, 2020, p. 059–68. revista.sear.com.br, <http://revista.sear.com.br/rei/article/view/82>.

VIEIRA, Paula Melo de Abreu. Participação do óxido nítrico na infecção experimental de

cães pelo Trypanosoma cruzi. 2007. 75 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciências Biológicas, Instituto de Ciências Exatas e Biológicas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2007.

PAVETO, C.; PEREIRA, C.; ESPINOSA, J.; MONTAGNA A. E.; FARBER, M.; ESTEVA, M.; FLAWIA, M. M.; TORRES, H. N. The nitric oxide transduction pathway in Trypanosoma cruzi. J Biol Chem 1995 270 (28): 16576-9.

FABRINO, Daniela Leite. O óxido nítrico e sua relação com diferentes microrganismos in vitro e durante a infecção aguda experimental por Trypanosoma cruzi. 2009. 216 f. Tese (Doutorado) - Curso de Biologia Celular e Molecular, Pós-Graduação em Biologia Celular e Molecular, Instituto Oswaldo Cruz/Fiocruz, Rio de Janeiro, 2009.

HUANG, S. Y. Search strategies and evaluation in protein-protein docking: Principles, advances and challenges. Drug Discovery Today, 2014. v.19(8), p.1081– 1096.

JIANG M. C. Trypanosomiasis control: diminishing returns. Parasitol 2015; Perason ABV, 20-34.

BENKERT, P.; BIASINI, M.; SCHWEDE, T. Toward the estimation of the absolute quality of individual protein structure models. Bioinformatics, [S.L.], v. 27, n. 3, p. 343-350, 5 dez. 2010. Oxford University Press (OUP). <http://dx.doi.org/10.1093/bioinformatics/btq662>.

VYAS, V. K. *et al.* Homology modeling a fast tool for drug discovery: current perspectives. Indian Journal of Pharmaceutical Sciences, v. 74, p. 1-17, 2012.

05 a 07 de julho de 2023
Ouro Branco, Minas Gerais, Brasil

A importância da análise microbiológica nos casos de intoxicação exógena para se evitar subnotificações.

Área:ii) Saúde

Thais Cristina dos Santos (IC)¹ *, Sofia Lins Dias (IC)², Rene O. Couto (PQ)

¹ Universidade Federal de São João Del-Rei Departamento Farmácia, ² Universidade Federal de São João Del-Rei Departamento Farmácia

*e-mail: santosthais1483@gmail.com

Palavras-Chave: Alimentos e Bebidas, Notificação, Intoxicação, Prevenção de Doenças

Resumo

Introdução: No Brasil, os casos por doenças de agravo são notificados pelo Sistema de Informação de Agravos de Notificação (SINAN), que é de grande importância para se evitar a transmissão de doenças alimentares e a prevenção de surtos. Entretanto, para que isso ocorra é necessário que todos os casos sejam notificados, a fim de se evitar as subnotificações. **Metodologia:** Foi realizado uma análise de dados do *website* SINAN na categoria casos de intoxicação exógena por alimentos e bebidas a partir de 2007. Foram escolhidos para análise os anos de 2018 a 2022, e inclusas as notificações por tipo de confirmação. **Resultado:** Foram encontrados em todo período analisado 104.083 casos por intoxicação exógena. Destes, apenas 974 casos foram confirmados por exames laboratoriais, o que corresponde a 0,94% das notificações. E 35.463 casos foram confirmados por parâmetros clínicos e epidemiológicos, representando 34,33% dos casos. **Discussão:** Analisando-se os dados, o maior desafio enfrentado é a identificação do agente etiológico. Os testes disponíveis muitas vezes têm uma sensibilidade limitada devido ao quadro clínico apresentado pelo paciente, e também devido ao curto período para a realização do teste e detecção do agente. Há ainda outro limitante, que é o prazo para que seja realizada a notificação e algumas doenças não são compulsórias. O que corrobora para as subnotificações de doenças e surtos. Então há a necessidade de se realizar exames numa maior frequência e bem como testes rápidos para correta identificação, como a Reação em Cadeia da Polimerase (PCR), testes moleculares e biossensores, que vem sendo cada vez mais implementados, e tem demonstrado sua eficácia. **Conclusão:** Portanto, a correta identificação e notificação dos agentes causadores de doenças de origem alimentar e hídrica são de suma importância tanto coletiva quanto individual, pois, auxiliam nas medidas de prevenção, controle de possíveis surtos, bem como o correto tratamento do paciente e melhora do quadro clínico.

Agradecimentos

Agradecemos ao SIMBIO pela oportunidade, à Liga de Farmacotecnologia e Cosmetologia por viabilizar nossa participação e ao professor Renê O. do Couto pela colaboração no desenvolvimento do nosso trabalho.

Referências

ZHANG, Min; *et al.*. Molecular Methods for Identification and Quantification of Foodborne Pathogens. **Molecules**, [S.L.], v. 27, n. 23, p. 8262, 26 nov. 2022. MDPI AG. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.3390/molecules27238262>. Acesso em: 05 mai 2023.

BRASIL. MINISTÉRIO DA SAÚDE. .Sistema de Informação de Agravos de Notificação: Sinan.. Disponível em: <http://www.portalsinan.saude.gov.br/>. Acesso em: 05 mai 2023.

AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO FOTOPROTETOR: SEGURANÇA E EFETIVIDADE

Área: Saúde

¹ Natália L. Ribeiro (IC)*, ² Laís S. Costa (IC), ² Sofia L. Dias (IC), Renê O. Couto (PQ)

¹ Universidade Federal de São João del-Rei, Departamento Farmácia, ² Universidade Federal de São João del-Rei, Departamento Farmácia.

*e-mail: sofia.lins.26@gmail.com

Palavras-Chave: (*Fotoprotetor, eficácia, segurança*).

Resumo

É notório que com o avanço da tecnologia na indústria cosmeceutica, diversos são os fotoprotetores encontrados no mercado atual. Nestas referências, foi feita uma análise descritiva dos motivos pelos quais houve recolhimento de protetores solares no mercado brasileiro pela ANVISA (Agência Nacional de Vigilância Sanitária) e seu papel na garantia de efetividade e segurança dos mesmos.³ **Metodologia:** As informações foram obtidas por meio de busca ativa no *website* Scielo.com, onde analisamos artigos do ano de 2022, com busca de palavras-chave, como “sun protection” e “effectiveness”. Além disso, na base de dados da ANVISA na subseção “produtos irregulares” foram obtidos resultados de variáveis denominadas: empresas, motivos, produtos, data da última medida cautelar, tipo de produto e ações fiscalizadoras, entre os anos 2019 e 2023.³ **Resultados:** Foram observadas 3 notificações, que mostraram fotoprotetores inapropriados para uso, sendo os mesmos suspensos, proibidos e apreendidos pelo órgão fiscalizador.³ **Discussão:** Diante destes dados, considerar um fotoprotetor seguro e eficiente para uso requer fatores determinantes, tais como: regularização de fabricação e comércio, condições/período de exposição, nível de proteção, forma farmacêutica, espessura da camada, espalhabilidade e permeação na pele.^{1,2} Em síntese, a ANVISA tem cumprido com seu objetivo institucional para a promoção da saúde e da importância de se comercializar protetores solares com propriedades seguras e eficazes. **Conclusão:** Conclui-se, diante disso, que a fotoproteção tópica deve aderir rígidos parâmetros conforme citado, seguindo a legislação do órgão regulatório local, visto que impacta diretamente na saúde de quem o utiliza.

Agradecimentos

Agradecemos ao SIMBIO pela oportunidade, à Liga de Farmacotecnologia e Cosmetologia por viabilizar nossa participação e ao professor Renê Couto pela colaboração no desenvolvimento do nosso trabalho.

Referências

- 1- Addor FAS, Barcaui CB, Gomes EE, Lupi O, Marçon CR, Miot HA. Sunscreen lotions in the dermatological prescription: review of concepts and controversies. An Bras Dermatol [Internet]. 2022 Mar;97(2):204–22. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.abd.2021.05.012>
- 2- Portilho, L., Aiello, L. M., Vasques, L. I., Bagatin, E., & Leonardi, G. R.. (2022). Effectiveness of sunscreens and factors influencing sun protection: a review. Brazilian Journal of Pharmaceutical Sciences, 58, e20693. <https://doi.org/10.1590/s2175-97902022e20693>
- 3- ANVISA. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Disponível em: <http://portal.anvisa.gov.br>. Acesso em: 27 maio.

Intoxicação por produtos cosméticos: uso racional e armazenamento correto.

Área:ii) Saúde

¹ Bianca A. Oliveira (IC)*, ² Isabela S. Resende(IC), ² Sofia L. Dias (IC), Rene O. Couto (PQ)

¹ Universidade Federal de São João del-Rei, Departamento Farmácia, ² Universidade Federal de São João del-Rei, Departamento Farmácia.

*e-mail: bianca.azevedooliveira@hotmail.com

Palavras-Chave: *Cosméticos, Grupos etários, Intoxicação, Notificação, Orientação, Segurança.*

Resumo

Introdução: É notório que o uso de cosméticos é cada vez mais crescente entre pessoas de variadas faixas etárias e gêneros, principalmente considerando que o Brasil representa um dos maiores mercados destes produtos. Com essa maior exposição, cresce também o número de casos de intoxicação por estes produtos. Neste trabalho avaliamos o tipo de exposição, as circunstâncias e a faixa etária que mais sofreu intoxicações. **Metodologia:** As informações foram obtidas por meio de busca no *website* do DATASUS, na aba TabNet - Doenças e Agravos de Notificação - 2007 em diante (SINAN). Foram incluídos casos de 2010 até 2022 e selecionadas notificações por tipo de exposição, circunstância e faixa etária segundo ano de notificação. Também foram coletados dados do Ministério da Justiça e Segurança Pública. **Resultados:** Ao todo foram encontrados 14382 casos de intoxicação por produtos cosméticos. A maioria dos casos foi resultante de exposição aguda-única (77,86%). As circunstâncias mais frequentes foram acidental (50,57%) e uso habitual (20,71%). A faixa etária de maior ocorrência foi 1-4 anos (33,33%), seguida por 20-39 anos (23,42%). **Discussão:** Correlacionando os dados obtidos percebe-se que a faixa etária e as circunstâncias em que essas intoxicações aconteceram estão interligadas, são crianças que se intoxicam acidentalmente ao entrar em contato com estes cosméticos, trazendo um alerta para a importância do cuidado no armazenamento destes produtos, uma vez que alguns cosméticos contêm substâncias que podem provocar reações adversas, principalmente em crianças, que são mais sensíveis. A segunda faixa etária de ocorrência é a que, geralmente, faz uso habitual de cosméticos, o descuido na escolha e uso destes produtos são fatores importantes que contribuem para uma possível intoxicação. **Conclusão:** A intoxicação por cosméticos é um problema importante ao qual deve-se voltar a atenção, principalmente devido ao seu uso indiscriminado e, muitas vezes, sem orientação. Portanto, é de grande importância que sejam tomadas medidas que direcionem para o consumo seguro e racional e para o armazenamento correto destes cosméticos.

Agradecimentos

Agradecemos ao SIMBIO pela oportunidade, à Liga de Farmacotecnologia e Cosmetologia por viabilizar nossa participação e ao professor Renê Couto pela colaboração no desenvolvimento do nosso trabalho.

Referências

BRASIL. Ministério da Saúde. DATASUS. Disponível em: <https://datasus.saude.gov.br/informacoes-de-saude-tabnet/>. Acesso em 05 mai 2023.

BRASIL. Ministério da Justiça e Segurança Pública, 2018. Disponível em: <https://www.gov.br/mj/pt-br/assuntos/noticias/diga-nao-ao-risco-sua-saude-requer-consumo-seguro-para-evitar-alergias-intoxicacoes-e-outras-reacoes-adversas>. Acesso em: 05 mai 2023.

05 a 07 de julho de 2023
Ouro Branco, Minas Gerais, Brasil

INVESTIGANDO O EFEITO DE FORMAS MONOMÉRICAS E DIMÉRICAS DE FLAVONOIDES NA INFECÇÃO PELO VÍRUS CHIKUNGUNYA

Área: **ii) Saúde.**

Maria C. M. de S. Brand (IC),^{1*} Ranieli P. Lopes (PG),² Millena A. M. Vaz (IC),¹ Antônio H. Totola (PQ)¹ José C. de Magalhães (PQ)^{1,2}

¹Universidade Federal de São João del-Rei, Departamento de Química, Biotecnologia e Engenharia de Bioprocessos,

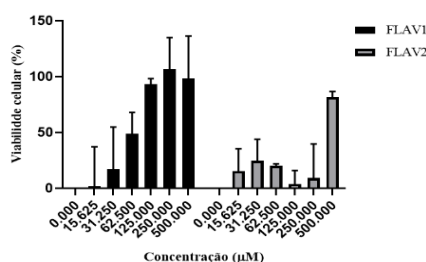
²Universidade Federal de São João del-Rei, Programa de Pós-graduação em Biotecnologia

*e-mail: mceciliaufsj@gmail.com

Palavras-Chave: Antivirais, Alfavírus, Flavonoides, Vírus emergentes

Resumo

As infecções virais estão entre as principais causas de morbidade e mortalidade no mundo. Por isso, estudos de moléculas com atividades farmacológicas para combatê-las são de suma importância. Os antivirais agem impedindo várias etapas do ciclo da multiplicação viral, minimizando a infectividade, os sintomas e reduzindo o tempo de duração da doença. Embora a recente pandemia do COVID-19 e a presença de diversos vírus causadores de doenças tenham mostrado um progresso na imunização e no desenvolvimento de diferentes medicamentos, muitos vírus continuam sem terapias antivirais ou vacinas preventivas para combatê-los e somente alguns medicamentos são licenciados para a prática clínica. A espécie *Chikungunya virus* (CHIKV) pertence ao gênero *Alphavirus* e à família *Togaviridae*, e causa febre com poliartralgia duradoura e dores de cabeça, sendo um dos vírus ainda sem vacina ou antivirais específicos licenciados. Dessa forma, a busca de novas moléculas antivirais é de suma importância, sendo os flavonoides uma boa fonte^[1]. Neste estudo, foram analisadas as atividades antivirais de duas moléculas com estruturas químicas diferentes, sendo uma monomérica e outra dimérica (FLAV1 e FLAV2). Utilizando cultura de células de mamífero, Vero, foi investigado o efeito de diferentes concentrações dessas moléculas, após a infecção pelo CHIKV, na multiplicidade de infecção (MOI) de 0,1vírus/célula, por 48h. Os resultados preliminares indicam que ambas as formas apresentam atividade contra o CHIKV, e denotam uma marcada diferença entre elas, com concentração efetiva para 50% das células (CE₅₀) de 57,26 e 440,8µM, respectivamente. Esses dados estimulam a busca por mais detalhes dessas e de outras formas de flavonoides em sua ação antiviral frente ao Chikungunya e outros vírus.



Viabilidade celular versus concentração de FLAV1 e FLAV2, através do teste MTT.

Agradecimentos

Agradecemos à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), pelo financiamento, e à Universidade Federal de São João del Rei (UFSJ), pelo apoio às pesquisas.

Referências

[1] LALANI, S.; POH, C. L. Flavonoids as Antiviral Agents for Enterovirus A71 (EV-A71). *Viruses*, v. 12, n. 2, p. 184, 6 fev. 2020.

POSSÍVEL USO DO NEMATOIDE *Caenorhabditis elegans* EM SUBSTITUIÇÃO A CULTURAS DE CÉLULAS PARA ENSAIOS COM ANTIVIRAIS E TESTES DE CITOTOXICIDADE

Área: ii) saúde

Marcelo A. B. Paula (IC)¹, Millena A. M. Vaz (IC)¹, Maria C. M. de S. Brand (IC)¹, Lainy Ana Siqueira de Oliveira², Viviane S. Alves (PQ)², José C. de Magalhães (PQ)¹

¹ Universidade Federal de São João del-Rei, Departamento de Química, Biotecnologia e Engenharia de Bioprocessos.

² Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Ciências Biológicas, Departamento de Microbiologia.

*e-mail: marcelo.p23021990@hotmail.com

Palavras-Chave: Modelo animal, *C. elegans*, Chikungunya virus, Ensaio de citotoxicidade.

Resumo

O *Caenorhabditis elegans* (*C. elegans*) é um verme nematoide utilizado como modelo de estudo em diferentes pesquisas ^[1]. Nessa linha, muitos ensaios antivirais poderiam fazer uso deles, ao invés do cultivo de células, o que representaria um custo drasticamente mais acessível e maior facilidade na manutenção. Isso se aplicaria, também, a ensaios de citotoxicidade de diferentes fármacos ou moléculas. Porém, a literatura ainda é escassa quanto à susceptibilidade à infecção pela maioria dos vírus. O *Chikungunya virus* pertence à família *Togaviridae* e ao gênero *Alphavirus* e representa um grande desafio em saúde pública atualmente ^[2]. Neste projeto, avaliou-se a viabilidade de uso do *C. elegans* como modelo para a infecção pelo CHIKV, visando substituir o uso de células. Foram realizados ensaios em placas de cultura, contendo meio de cultivo e o verme ^[1], sendo investigada a capacidade do CHIKV de infectar e se multiplicar no *C. elegans*, avaliando-se alguns sinais clínicos de morbidade e mortalidade do verme após a exposição ao vírus. Diferentes concentrações de vírus foram utilizadas, além de uma mistura do inóculo viral ao polietilenoglicol (PEG) para facilitar a entrada do vírus nas células do verme, seguindo relatos da literatura. Os resultados mostraram que o *C. elegans* não foi infectado pelo CHIKV, mesmo com doses de acima de 10⁶ partículas virais por verme ou na presença do PEG. Não houve multiplicação viral no verme, nem mudanças na sua sobrevivência ou comportamento, com eclosão reprodução normais em relação aos controles. Esses achados indicam que, pelo menos para o CHIKV, o *C. elegans* não é um modelo susceptível apropriado, provavelmente devido à falta de reconhecimento do vírus pelas células do verme ou à sua rápida resposta imunológica. Nosso estudo mostrou, entretanto, que a técnica de cultivo está bem estabelecida em nossa instituição, e esse primeiro resultado não inviabiliza a pesquisa quanto ao uso do modelo para outros vírus ou o seu uso em ensaios de citotoxicidade para diferentes fármacos e drogas. Pesquisa também poderá ser conduzida para investigar a resistência à infecção pelo CHIKV e outros aspectos da interação vírus e hospedeiro.

Agradecimento

Agradecemos ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão da bolsa de iniciação científica e à Universidade Federal de São João del-Rei (UFSJ) pelo apoio.

Referência

- 1) Brenner, S. The genetics of *Caenorhabditis elegans*. Genetics, v. 77, n. 1, p. 71–94, 1974.
- 2) Silva, M.M.O., et al., Concomitant Transmission of Dengue, Chikungunya, and Zika Viruses in Brazil: Clinical and Epidemiological Findings From Surveillance for Acute Febrile Illness. Clinical Infectious Diseases, 2018.

PROSPECÇÃO DE ATIVIDADE ANTIVIRAL EM EXTRATOS DERIVADOS DAS PRÓPOLIS VERDE E VERMELHA

Área: ii) saúde

Millena A. M. Vaz (IC),^{1*} Ranieli P. Lopes (PG),² Maria C. M. de S. Brand (IC),¹ Antônio H. Totola (PQ),¹ Sônia M. de Figueiredo (PQ)³ José C. de Magalhães (PQ),^{1,2}

¹ Universidade Federal de São João del-Rei, Departamento de Química, Biotecnologia e Engenharia de Bioprocessos.

² Universidade Federal de São João del-Rei, Programa de Pós-graduação em Biotecnologia.

³ Universidade Federal de Ouro Preto, Departamento de Alimentos, Escola de Nutrição.

*e-mail: millenaalvesmaximovaz@gmail.com

Palavras-Chave: Antiviral, Própolis, Zika Virus

Resumo

O Zika virus (ZIKV) pertence à família *Flaviviridae* e ao gênero *Flavivirus*. Foi identificado primeiramente em 1947 na Floresta de Zika em Uganda, porém, atualmente é endêmico em diversos países, entre eles, o Brasil. Os sintomas mais comuns da infecção são artralgia, mialgia e febre, e os mais graves são a síndrome de Guillain-Barré e a síndrome congênita do Zika, os quais ocasionam complicações neurológicas. Até o momento, não há vacina para prevenção ou antivirais específicos liberados contra o ZIKV, o que torna relevante a busca de novas drogas antivirais. Nessa linha, compostos naturais ou derivados representam uma boa base de pesquisa. A própolis é um produto natural usado na medicina popular, e há inúmeros relatos científicos quanto a seus efeitos biológicos como antimicrobiano, antioxidante, anti-inflamatório e antitumoral^[1]. O presente estudo teve como objetivo realizar a prospecção de atividade anti-ZIKV em extratos derivados das própolis verde (GP) e vermelha (RP). Primeiramente, os extratos foram testados quanto à citotoxicidade em células de mamífero, Vero, utilizando o método colorimétrico do metil-tiazol-tetrazólio (MTT), que avaliou a viabilidade metabólica celular após tratamento com diferentes concentrações dos extratos. O valor da concentração citotóxica para 50% das células tratadas (CC₅₀) foi de 423 µg/mL para a própolis verde e de 438,54 µg/mL para a própolis vermelha, valores acima de 100, conforme recomenda a literatura. Em sequência, foi realizado o ensaio antiviral, para o qual as células foram tratadas com os extratos e infectadas pelo ZIKV. Esse ensaio levou à obtenção da concentração efetiva protetiva para 50% das células infectadas (CE₅₀), cujos valores foram de 41,45 e 36,01 µg/mL, respectivamente. Finalmente, foi determinado o Índice de Seletividade (IS) pela relação entre a CC₅₀ e a CE₅₀ de cada extrato. Os IS encontrados foram de 10,20 para a GP e 12,17 para a RP, ambos acima de 4, conforme recomenda a literatura, e considerados seguros e seletivos com ação apenas no patógeno viral. Os dados mostram, portanto, ser promissora a ação antiviral das própolis verde e vermelha contra o ZIKV. Estudos serão conduzidos em nosso laboratório no sentido de investigar as diferenças e os princípios ativos contra o vírus, com vistas a apresentar um novo produto com ação antiviral contra o ZIKV.

Agradecimento

Agradecemos e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão da bolsa de iniciação científica e à Universidade Federal de São João del-Rei (UFSJ) pelo apoio.

Referência

[1] Mikami N, Tani H, Kawakami R, Sugimoto A, Sakaguchi S, Ikuta T. Brazilian green propolis promotes TNFR2 expression on regulatory T cells. **Food Sci Nutr**. v. 9, n. 6 p. 3200-3208, 2021.

SÍNTESE E ESTUDO DA ATIVIDADE INIBITÓRIA *in vitro* E *in silico* DE DERIVADOS FURYL ACRÍLICOS E FERÚLICOS SOBRE A TYR E ACHe.

Área: i) Saúde; ii) Indústria e Processos Industriais.

Horácio B. Pacule (PG),¹ José A. F. P. Villar (PQ)¹, Jefferon L. Princival (PQ).^{1*}

¹ Universidade Federal de São João del-Rey, Departamento de Bioquímica, Laboratório de Catálise Orgânica

*e-mail: princivalj@ufsj.edu.br

Palavras-Chave: Síntese orgânica, Ésteres furil acrílicos, Enzima, Bioatividade, *Docking*.

Resumo

Neste trabalho, substratos baseados em derivados de ácidos acrílicos foram preparados. A síntese dos ácidos (*E*)-3-(2-Furil)-acrílico e (*E*)-3-(5-Metil-2-Furil)-acrílico e dos derivados ésteres, foi realizada seguindo procedimento adaptado da literatura (Barros et al., 2019; Cury et al., 2019). Adicionalmente, derivados do ácido ferúlico também foram preparados seguindo a mesma metodologia. Com isso, uma biblioteca de substâncias foi gerada, e suas atividades inibitórias frente às enzimas tyrosinase e acetilcolinesterase são alvo de estudo, tanto de forma *in vitro*, de acordo a metodologia descrita por (Xie et al., 2016), quanto de forma *in silico*. Para a elucidação dos seus mecanismos de ação, será usada a Bioinformática como componente interdisciplinar e fundamental para estudos *in silico*.

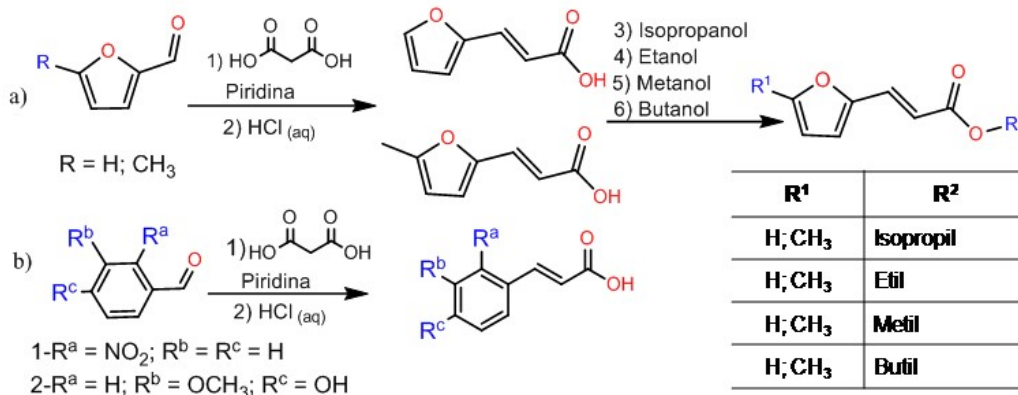


Figura 1: Esquema geral de preparação dos substratos: Furil acrílicos (a); Ácido ferúlico (b).

Agradecimentos

FAPEMIG, CAPES, CNPq, GCUB, UFSJ, Central Analítica-CCO-UFSJ.

Referências

- Barros, M. R., Menezes, T. M., da Silva, L. P., Pires, D. S., Princival, J. L., Seabra, G., & Neves, J. L. (2019). Furan inhibitory activity against tyrosinase and impact on B16F10 cell toxicity. *International Journal of Biological Macromolecules*, 136, 1034–1041. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.06.120>
- Cury, N. M., Capitão, R. M., Almeida, R. do C. B. de, Artico, L. L., Corrêa, J. R., Simão dos Santos, E. F., Yunes, J. A., & Correia, C. R. D. (2019). Synthesis and evaluation of 2-carboxy indole derivatives as potent and selective anti-leukemic agents. *European Journal of Medicinal Chemistry*, 181. <https://doi.org/10.1016/j.ejmech.2019.111570>
- Xie, J., Dong, H., Yu, Y., & Cao, S. (2016). Inhibitory effect of synthetic aromatic heterocycle thiosemicarbazone derivatives on mushroom tyrosinase: Insights from fluorescence, ¹H NMR titration and molecular docking studies. *Food Chemistry*, 190, 709–716. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.05.124>

ATIVIDADE ANTIVIRAL CONTRA O VÍRUS CHIKUNGUNYA EM EXTRATOS DE *Tontelea micrantha* (Celastraceae)

Área: **ii) Saúde.**

Ranieli P. Lopes (PG),^{1*} Millena A. M. Vaz (IC),² Maria C. M. de S. Brand (IC),² Sidney A. Vieira-Filho (PQ),³ Lucienir P. Duarte (PQ),⁴ Antônio H. Tótola,² José C. de Magalhães (PQ)^{1,2}.

¹Universidade Federal de São João del-Rei, Programa de Pós-graduação em Biotecnologia, ²Universidade Federal de São João del-Rei, Departamento de Química, Biotecnologia e Engenharia de Bioprocessos, ³Universidade Federal de Ouro Preto, Departamento de farmácia, ⁴Universidade Federal de Minas Gerais, Departamento de Química.

*e-mail: ranielipaivaa@gmail.com

Palavras-Chave: Antivirais, Arbovírus, Terpenos, Plantas Medicinais.

Resumo

Na busca por estratégias alternativas de utilização de produtos naturais, pesquisas com extratos de plantas ganham destaque no controle de doenças infecciosas. A febre causada pelo vírus Chikungunya (CHIKV) apresenta sintomas artríticos dolorosos e prolongados. Nenhum tratamento específico ou vacina contra o CHIKV está disponível, denotando a necessidade de ações nesse sentido^[1]. No presente estudo, foi avaliada a atividade de diferentes extratos da espécie vegetal *Tontelea micrantha* (Celastraceae) frente ao CHIKV. Para isso, antes dos ensaios antivirais, foi avaliada a concentração citotóxica dos extratos e compostos isolados de *T. micrantha* para 50% das células (CC₅₀). Em seguida, foi investigada a concentração efetiva antiviral protetiva para 50% das células infectadas (CE₅₀) pelo CHIKV. Finalmente, foi determinado o índice de seletividade (IS) na ação antiviral (CC₅₀/CE₅₀). Células de mamífero, Vero, foram tratadas com diferentes concentrações dos agentes para avaliação da citotoxicidade, e para os ensaios antivirais, foram infectadas na multiplicidade de infecção de 0,1 vírus/célula e tratadas com os compostos, e a infecção foi por 48h. A revelação foi pelo método do metil-tiazol-tetrazólio (MTT). Células apenas infectadas e células tratadas com o veículo foram mantidas como controles. Os extratos clorofórmico e hexânico de raízes (ECR, EHR) apresentaram maior citotoxicidade comparados a extratos de outras partes da planta, com CC₅₀ de 12,40 e 22,08µg/mL, respectivamente. Os extratos acetato de etila, metanólico e hexânico derivados de folhas (EAEF, EMF, EHF) se mostraram menos tóxicos, com CC₅₀ somente acima de 300µg/mL. Os extratos clorofórmico, hexânico e acetato de etila provenientes de galhos (ECG, EHG, EAEG) também se mostraram promissores, com CC₅₀ >100µg/mL. Quanto à ação antiviral, os extratos derivados de folhas (EAEF, EMF) apresentaram potente atividade frente ao CHIKV, com CE₅₀ de 18 e 43µg/mL, respectivamente. Os índices de seletividade para EAEF e EHF 12,50 e 8,16, foram acima do valor 4, como recomenda a literatura. Oito compostos isolados da planta se mostraram não tóxicos para células Vero com CC₅₀ >1000µg/mL, porém não apresentaram atividade antiviral significativa com CE₅₀>300µg/mL e baixo IS, indicando provável ação sinérgica entre eles, ou perda de ação no processo de isolamento. Os resultados permitem dizer que extratos derivados de folhas *T. micrantha* (EAEF, EMF) são promissores candidatos na busca de novos fármacos frente ao vírus Chikungunya.

Agradecimentos

Agradecemos a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo financiamento.

Referências

[1] ADUSEI JÁ, NARKWA PW, OWUSU M, DOMFEH AS, ALHASSAN M, APPAU E, SALAM A, MUTOCHELUM M. Evidence of chikungunya virus infections among febrile patients at three secondary health facilities in the Ashanti and the Bono Regions of Ghana. PLoS Neglected Trop. Dis., 15. 2021.

ANÁLISE DA INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL NA ÁREA DE ENGENHARIA

^{1*} Franklin Rodrigues Carlos (IC),¹ Edson Romano Nucci (PQ)

¹ Universidade Federal de São João Del Rei, Departamento de Química, Biotecnologia e Engenharia de Bioprocessos.

*e-mail: frpolo97@gmail.com

Palavras-Chave: (Redes Neurais Artificiais, Algoritmos Genéticos, Processamento de informações, Abordagem simbólica).

Introdução

O simbolismo, também conhecido como "IA clássica" ou "IA baseada em conhecimento", é uma abordagem que se baseia na representação explícita do conhecimento em forma de símbolos e na manipulação destes, de acordo com regras pré-definidas para realizar tarefas inteligentes. Segundo Newell e Simon (1976), os sistemas simbólicos são compostos por três componentes: representação, manipulação e inferência.

Um dos principais desafios da abordagem simbólica é a dificuldade de lidar com a incerteza e a ambiguidade, pois as regras e os símbolos utilizados são precisos e determinísticos. Para resolver esse problema, foram desenvolvidas abordagens combinatórias, conhecidas como *soft computing*, onde combinam o método simbólico com outros métodos, como métodos subsimbólicos baseados em redes neurais e algoritmos de aprendizado. (Russell & Noruega, 2010)

A abordagem não simbólica da Inteligência Artificial é caracterizada pelo uso de representações numéricas e geométricas para modelagem e processamento de informações, ao contrário da abordagem simbólica que se baseia em símbolos e regras. (Bispo, 2006). Essa técnica surgiu na década de 1940 com o desenvolvimento do primeiro sistema de rede neural artificial e tem sido amplamente utilizada em áreas como aprendizado de

máquina, visão computacional, processamento de linguagem natural etc. As técnicas de abordagem não simbólica incluem redes neurais artificiais, algoritmos genéticos, aprendizado profundo (*deep learning*), processamento distribuído e modelagem baseada em agentes. Esses métodos têm sido aplicados em diversas áreas, como reconhecimento de padrões, detecção de anomalias, análise de sentimentos, entre outras. (Goodfellow, Bengio & Courville, 2016).

A abordagem não simbólica tem a vantagem de lidar com informações complexas e ambíguas, o que muitas vezes é difícil com a técnica simbólica. (Russell & Noruega, 2010). Em geral, a abordagem não simbólica busca criar modelos que possam aprender com os dados de entrada, em vez de depender de regras e símbolos predefinidos. Isso permite que os sistemas de IA sejam mais flexíveis e capazes de lidar com informações complexas e em ininterrupta mudança. (Haykin, 2009)

O método sub-simbólico em Inteligência Artificial é uma forma de técnica não simbólica que se concentra no uso de representações de baixo nível, em contraste com a abordagem simbólica que se baseia em símbolos e regras de alto nível. (Brooks, 1991)

Deste modo, este trabalho tem como objetivo trazer a análise de simbologia da aplicação de Inteligência Artificial (Redes Neurais Artificiais, Lógica Fuzzy, Algoritmos Genéticos, entre outros) na visão da Engenharia.

05 a 07 de julho de 2023
 Ouro Branco, Minas Gerais, Brasil

Revisão Bibliográfica

Embora amplamente utilizada no passado, a abordagem simbólica perdeu espaço para abordagens mais flexíveis e adaptáveis, como a abordagem de subsímbolos. No entanto, ainda é considerado importante em certas áreas, como sistemas especialistas, onde o rigor e a transparência das regras são muito valorizados. (Hayes-Roth e outros, 1993)

Na inteligência artificial, a abordagem fundamentada em símbolos e regras de baixo nível é conhecida como "abordagem sub-símbolo" ou "abordagem conexionista".

A abordagem conexionista ou numérica é o ramo da inteligência artificial baseado em modelos inspirados no funcionamento do cérebro humano, em que o processamento da informação é distribuído em redes neurais conectadas entre si (Rumelhart, McClelland, & PDP Study Group, 1986). Esse modelo é chamado de conexionista porque seu principal objetivo é estudar as conexões entre os neurônios – a fisiologia em si, bem como essas conexões podem ser ajustadas para executar tarefas específicas – a aplicação do programa.

Dessa forma, os modelos conexionistas podem aprender com exemplos, por isso, são frequentemente usados para problemas relacionados ao reconhecimento, classificação e previsão de padrões.

Uma das principais características dos modelos numéricos é que eles, geralmente, não envolvem a representação explícita do conhecimento na forma de símbolos e regras como nos modelos simbolistas. Em vez disso, as informações são armazenadas em conexões entre os neurônios, tornando esses modelos mais adequados para lidar com problemas em que o conhecimento é difícil de descrever em termos simbólicos.

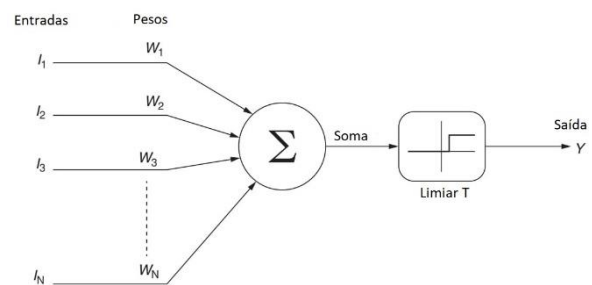
Nesta abordagem, modelos matemáticos são usados para representar neurônios e conexões neuronais, permitindo a simulação de processos

cognitivos e de aprendizagem. A seguir estão alguns exemplos da abordagem de subsímbolos.

Rede Neural Artificial: é um modelo matemático inspirado no cérebro humano, formado por um conjunto de neurônios artificiais que estão conectados entre si. Estes, recebem um conjunto de entradas e produz uma saída, onde são enviadas para outros neurônios.

Em termos de aprendizagem, é alcançado por meio do ajuste dos pesos das conexões entre os neurônios, isso através de algoritmos de treinamento. Um exemplo de aplicação de redes neurais é o reconhecimento de fala em dispositivos como Google Home.

Figura 1: Um neurônio artificial simples.



Adaptado de (FRANKISH et al., 2014).

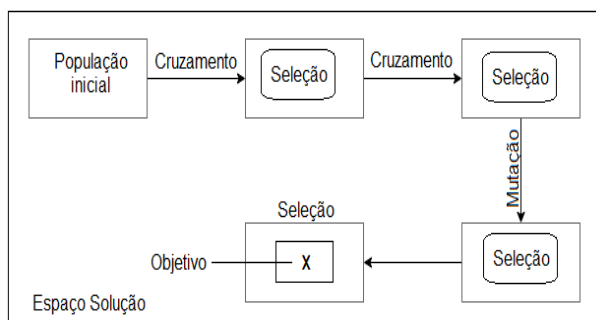
Algoritmos Genéticos: são uma técnica de otimização inspirada na teoria da evolução de Darwin. Nessa abordagem, uma população de soluções candidatas é criada e submetida a um processo de seleção, reprodução e mutação, que visa encontrar a solução ótima para um determinado problema.

Algoritmos genéticos são usados em diversas áreas, como engenharia, economia e biologia.

A Figura 2 ilustra uma representação gráfica de um Algoritmo Genético.

05 a 07 de julho de 2023
Ouro Branco, Minas Gerais, Brasil

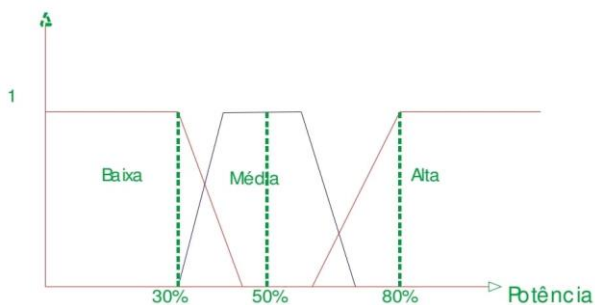
Figura 2: Representação gráfica de um algoritmo genético.



Adaptado de (BAUCHSPIESS, 2008)

Sistemas fuzzy: são uma extensão da lógica booleana, em que procuram emular a psicologia do ser humano ao permitir que a imprecisão e a ambiguidade sejam expressas por meio de conjuntos fuzzy. Estes, são definidos por funções de pertinência (Figura 3), que atribuem um grau de dependência a cada elemento do universo discursivo. Os sistemas fuzzy são usados em várias aplicações, como controle de processos, diagnósticos médicos e tomada de decisão. Apesar de considerada uma abordagem simbólica secundária, essas técnicas ainda usam símbolos e representações abstratas para representar o conhecimento e a informação, embora em menor extensão, e grau, do que a abordagem simbólica clássica. (Russell e Norvig, 2010; Haykin, 2009; Jang et al., 1997).

Figura 3: Representação gráfica de uma função de pertinência para o controle de temperatura.



Adaptado de (BAUCHSPIESS, 2008)

Como forma de ilustrar a aplicação de IA, é possível encontrar na literatura trabalhos com aplicações da lógica Fuzzy e Redes Neurais nas mais diversas áreas. Nucci e colaboradores (2005) desenvolveram um algoritmo baseado na lógica nebulosa para determinação do momento de máxima concentração de enzimas durante um cultivo de *Bacillus megaterium* em um biorreator tipo tanque agitado, baseado no trabalho de Souza Jr e Almeida (2001), para identificar o momento em que ocorre esse pico (reduzindo os custos do processo e evitando a degradação do produto). Silva (2003) aplicou uma RNA utilizando variáveis disponíveis em linha como entrada, denominadas variáveis secundárias (como a concentração de gases na saída do sistema, o pH, a concentração de oxigênio dissolvido no meio, a velocidade de agitação), para estimar variáveis primárias, como a concentração celular e de enzima.

Conclusão

Em suma, redes neurais e algoritmos genéticos são duas técnicas poderosas de inteligência artificial usadas para resolver problemas complexos. As redes neurais são usadas para aprendizado de máquina e reconhecimento de padrões, enquanto os algoritmos genéticos são usados para otimização e busca. Ambas as abordagens têm suas próprias vantagens e são aplicadas em diversos domínios da ciência e engenharia.

Por sua vez, a lógica Fuzzy pode ser vista como uma abordagem que compartilha características de ambas as categorias mencionadas na pergunta, mas que apresenta particularidades próprias. A lógica Fuzzy pode ser considerada uma abordagem híbrida que combina elementos das abordagens simbolista e não simbólica em inteligência artificial

05 a 07 de julho de 2023
Ouro Branco, Minas Gerais, Brasil

Agradecimentos

Os autores agradecem ao DQBIO e a UFSJ

Referências

Referências

- Arkin, R. C. (1998). *Behavior-based robotics*. MIT press.
- Brooks, R. A. (1991). *Intelligence without representation*. *Artificial intelligence*, 47(1-3), 139-159.
- Bishop, C. M. (2006). *Pattern recognition and machine learning* (Vol. 4). Springer.
- BAUCHSPIESS, Adolfo. **Introdução aos Sistemas Inteligentes: Aplicações em Engenharia de Redes Neurais Artificiais, Lógica Fuzzy e Sistemas Neuro-Fuzzy. [S. l.]:** Universidade de Brasília: engenharia elétrica, 2008. 78 p.
- FRANKISH, Keith *et al.* *The Cambridge Handbook of Artificial Intelligence*. 1. ed. Reino Unido: Cambridge University Press, 2014. 354 p. ISBN 978-0-521-69191-8.
- Goodfellow, I., Bengio, Y., & Courville, A. (2016). *Deep learning*. MIT press.
- Rumelhart, D. E., McClelland, J. L., & The PDP Research Group. (1986). *Parallel distributed processing: Explorations in the microstructure of cognition* (Vol. 1). MIT Press.
- Russell, S. J., & Norvig, P. (2010). *Artificial intelligence: a modern approach*. Prentice Hall.
- Haykin, S. (2009). *Neural networks and learning machines* (Vol. 3). Pearson.
- Hayes-Roth, B., Waterman, D. A., & Lenat, D. B. (1993). *Building expert systems*. Addison-Wesley.
- Holland, J. H. (1992). *Genetic algorithms*. *Scientific american*, 267(1), 66-73.
- Jang, J.-S. R., Sun, C.-T., & Mizutani, E. (1997). *Neuro-fuzzy and soft computing: A computational approach to learning and machine intelligence*. Prentice Hall.
- Newell, A., & Simon, H. A. (1976). *Computer science as empirical inquiry: Symbols and search*. *Communications of the ACM*, 19(3), 113-126.
- NUCCI, E. R. et al. *A Fuzzy logic algorithm for identification of the harvesting threshold during PGA production by Bacillus megaterium*. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, v. 22, n. 4, p. 521-527, 2005.
- Silva, R.G.S. *Inferência de Variáveis de Processo de Produção de Penicilina G Acilase por Bacillus megaterium ATCC 14945*, São Carlos, UFSCar, 238p, 2003.
- SOUSA, R.; ALMEIDA, P. I. F. *Design of a Fuzzy system for the control of a biochemical reactor in fed-batch culture*. *Process Biochemistry*, v. 37, n. 5, p. 461-469, 2001.

CARACTERIZAÇÃO MOLECULAR DE POPULAÇÕES DE MICRORGANISMOS PRESENTES EM PROCESSOS DE BIOOXIDAÇÃO

Marco Aurélio Andrade Cacheado^{1*} (PG), Isabel Cristina Rodrigues Braga² (PQ).

¹Universidade Federal de São João del-Rei, Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Engenharia Química,

²Universidade Federal de São João del-Rei, Departamento de Química, Biotecnologia e Engenharia de Bioprocessos

*e-mail: maucacheado@hotmail.com

Palavras-Chave: *Biologia Molecular, Biolixiviação, PCR, DGGE, Biblioteca Metagenômica.*

Introdução

Com uma demanda crescente pela extração mineral, os processos biohidrometalúrgicos, que utilizam microrganismos catalisadores das reações de solubilização de metais estão ganhando cada vez mais destaque na pesquisa e desenvolvimento, uma vez que estes bioprocessos permitem a recuperação de metais a partir de minerais complexos; minerais de difícil dissolução pelas metodologias convencionais; bem como a partir de rejeitos da mineração, aumentando a vida útil das jazidas e reduzindo a deposição de resíduos (BATISTA, 2009).

O gênero *Acidithiobacillus* representa uma das classes mais predominantes nestes sistemas, possuindo condições ótimas de crescimento na faixa de 25 a 30 °C e pH entre 1,5 e 2,0. Para melhorar o desempenho de processos e sistemas biohidrometalúrgicos, é de suma importância conhecer as comunidades de microrganismos que participam, tanto na estrutura quanto a funcionalidade deles. Auxiliando, dessa forma, no controle dos processos com o objetivo de aumentar as extrações de metal (BATISTA, 2009).

Este trabalho objetivou a avaliação da diversidade microbiana, bem como a identificação molecular dos microrganismos presentes em ensaios laboratoriais de processos de biooxidação realizados a 30 °C e 50 °C.

Procedimento Experimental

As amostras foram analisadas em parceria com grupo de Bio&Hidrometalurgia (UFOP), a partir de ensaios de bio-oxidação em escala laboratorial, de rejeitos de mineração de ouro, com culturas mistas incubadas a 30°C e 50°C. As amostras foram numeradas de acordo com a tabela 1.

Tabela 1: Descrição dos cultivos nos quais as amostras analisadas neste trabalho foram coletadas

Nº	Identificação
1	50°C sem minério e 5 g L ⁻¹ de Fe ²⁺ inicial
2	30°C com minério e 5 g L ⁻¹ de Fe ²⁺ inicial
3	50°C sem minério e 10 g L ⁻¹ de Fe ²⁺ inicial
4	50°C com minério e 5g L ⁻¹ de Fe ²⁺ inicial
5	30°C sem minério e 5g L ⁻¹ de Fe ²⁺ inicial
6	30°C sem minério e 10g L ⁻¹ de Fe ²⁺ inicial

Coletou-se 1L de solução de lixiviado e realizou-se, inicialmente, a filtragem e centrifugação do filtrado. Deste, realizou-se extração de DNA genômico por duas metodologias, lise celular mecânica e enzimática.

Para lise mecânica, as amostras foram lavadas com solução tampão e centrifugadas. Usou-se 400 µL de tampão TE e 4 pérolas de vidro no moinho de bolas por 7 minutos a 30 Hz. Na lise enzimática, as amostras também foram lavadas e ressuspensas em tampão com 30 µL de SDS 10% e 10 µL de proteinase K

(10 mg mL⁻¹), essa mistura foi incubada a 37 °C por 1 hora.

Foram realizadas PCRs para todas as amostras extraídas, utilizando par de *primers* universais 27F e 1492R; 968F e 1392R (*Bacteria*) e 340F e 1000R (*Archaea*). Posteriormente, os *amplicons* obtidos foram purificados por precipitação do DNA para posterior construção das bibliotecas de DNA.

As bibliotecas de genes das amostras em estudo foram produzidas utilizando células de *Escherichia coli* DH5α (Invitrogen®) competentes e o plasmídeo pGEM® -T Easy (Promega) como vetor de clonagem.

Foi realizado o sequenciamento das amostras pela empresa Helixxa Importação, Exportação e Serviços Genômicos Ltda. Posteriormente, as sequências foram submetidas a uma busca por similaridades de nucleotídeos com uso do algoritmo BLASTn no banco de dados NCBI.

Para análise da diversidade microbiana foi utilizada DGGE após PCR com os *primers* 968F com cauda CG na região 5' e 1392R. Foram realizadas 6 corridas para otimização dos parâmetros da técnica, variando tempo de corrida, concentração do gel de poliacrilamida, corrente aplicada e gradiente desnaturante, de acordo com a Tabela 2.

Tabela 2: Condições de corrida de DGGE para otimização

Corrida	Conc. ¹ (%)	Tempo (h)	Tensão (V)	GD ²
1	6	16	100	40%-60%
2	10	10	60	40%-60%
3	10	12	80	40%-60%
4	10	16	80	40%-60%
5	10	16	100	40%-60%
6	10	16	100	44%-56%

¹ Concentração de Acrilamida:bisacrilamida.

² Gradiente desnaturante

Resultados e Discussão

Para o processo de extração de DNA, observou-se que ambos os protocolos foram eficazes para as amostras de 1 a 5. Por outro lado, para a amostra 6 a metodologia de recuperação das células por microfiltração não foi interessante, uma vez que, mesmo usando o protocolo com rompimento celular por lise enzimática o DNA apresentou-se degradado. Este fato já foi observado em outros trabalhos do grupo (RODRIGUES, 2012; NETO, 2014) e, por esse motivo, optou-se pela centrifugação das amostras mesmo sendo um procedimento mais dispendioso.

A PCR utilizando os iniciadores universais para o domínio *Archaea* (340F e 1000R) não produziu amplificação inferindo-se que não há prevalência de espécies deste domínio nas amostras estudadas. A PCR feita com os *primers* para o domínio *Bacteria* (27F/1492R e 968F/1392R) mostraram resultados positivos.

Foram montadas duas bibliotecas metagenômicas para os *amplicons* obtidos com os *primers* do domínio *Bacteria*. A eficiência de transformação foi maior para os fragmentos menores, corroborando com os dados de dosagem das amostras. Para o inserto 27F/1492R as concentrações variaram de 1,3 a 226,5 ng µL⁻¹, enquanto para o inserto 968F/1392R as concentrações variaram de 91 a 4234 ng µL⁻¹, sendo que a maioria das amostras apresentou concentrações maiores que 1000 ng µL⁻¹.

As amostras sequenciadas a partir das preparações plasmidiais do inserto com *primer* 27F/1492R retornaram apenas resultados para as amostras 5 e 6 (cultivo a 30° C sem minério), o que pode ser devido à baixa eficiência de transformação. Mesmo não havendo possibilidade de identificação das espécies a partir desta biblioteca, foi possível definir que a

classe provável é *Gammaproteobacteria*. Esta é a mesma classe da espécie *At. ferrooxidans*, o que é compatível com a inoculação do sistema e com a temperatura de cultivo.

Para os fragmentos amplificados com os *primers* 968F/1392R, para as amostras 2 (30 °C com minério) e 5 (30 °C sem minério) foram identificados organismos do gênero *Acidithiobacillus*, havendo 100% de identidade com *At. ferrooxidans* e *At. ferridurans*. *At. ferridurans* é uma espécie intimamente relacionada a *At. ferrooxidans*, são Gram-negativas, quimioautotróficas, capazes de crescer utilizando como fonte de energia íons Fe^{2+} , S^0 e tetrionato e, diferentemente de *At. ferrooxidans* também são capazes de usar H_2 como doador de elétrons. São anaeróbios facultativos, pH ótimo de crescimento entre 1,3 e 2,0 e mesófilos com temperatura ótima de crescimento próximos a 29 °C (HEDRICH e JOHNSON, 2013).

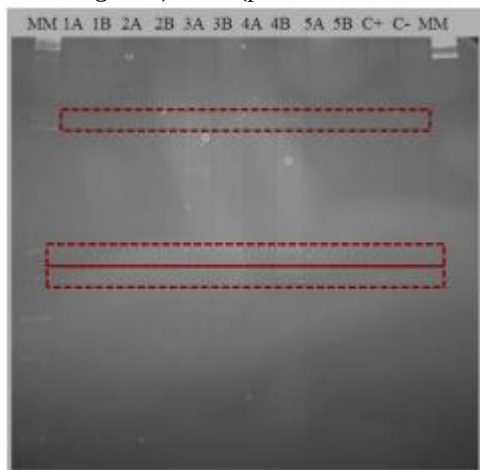
Por outro lado, as amostras 1, 3 e 4 são oriundas de cultivos termófilos (50 °C) e apresentaram a mesma composição que os cultivos mesófilos. O que leva a questionamentos com relação à contaminação dos ensaios e adaptação de *Acidithiobacillus* às condições termófilas, uma vez que este inóculo é o mais antigo do laboratório e o mais utilizado nos projetos; questionamentos sobre contaminação das amostras durante o processo de identificação e, ainda, questionamentos sobre o armazenamento das amostras que foi feito em temperatura ambiente, seguido de geladeira, até iniciarem-se os protocolos de extração de DNA. Como o meio de cultivo é o mesmo para ambas as temperaturas, pode ter havido desenvolvimento de espécies do gênero *Acithiobacillus* em detrimento das espécies termófilas durante o armazenamento. Sendo necessário repetir estas análises utilizando outras ferramentas, como aumento da gama de *primers* ou mesmo utilizando sequenciamento

NGS para o DNA genômico total da amostra. Uma observação interessante é que também não houve alteração na composição da comunidade tanto para o inóculo (amostras 1 e 3), quanto para o lixiviado (amostra 4).

A amostra 4 também mostrou organismos dos gêneros *Desulfococcus* e *Desulfovirga*, estes organismos são redutores de espécies oxidadas de enxofre, ou seja, são anaeróbios e utilizam estas espécies como aceptores de elétrons (TANAKA et al., 2000). Podem ter contaminado a amostra, uma vez que no laboratório de origem também há pesquisas com este tipo de organismo.

Na análise de DGGE, obteve-se sucesso nas PCRs com *primers* 968F-CG e 1392R em todas as amostras, com exceção da amostra 6. Os melhores parâmetros observados foram gel 10%, corrida de 16 h a 100 V, corridas 5 e 6 (Tabela 2). Nesta última, foi selecionado um gradiente mais estreito quando comparado aos usados em outros experimentos, a fim de avaliar se haveria melhor separação das bandas. Como pode ser observado na Figura 1, essa faixa foi adequada para a separação das bandas amplificadas. Observa-se que a diversidade de microrganismos nestas amostras é pequena, sendo possível a visualização de três bandas para cada amostra, ou seja, aparentemente três espécies são dominantes nos sistemas estudados. Uma observação interessante é que amostras cultivadas em condições diferentes apresentaram o mesmo perfil de bandas. Isso também foi observado por Rodrigues (2018), no entanto, para um processo de biolixiviação de cobre. Como a diversidade microbiana é baixa para as condições extremas da biolixiviação/bio-oxidação pode ser que as populações majoritárias nas amostras sejam semelhantes. Os resultados da DGGE foram consistentes com as análises das bibliotecas metagenômicas.

Figura 1: DGGE relativo à gel 10%, por 16h a 100V e faixa desnaturante 44%-56%. Amostras 1 a 5 descritas na Tabela 1. A e B são duplicatas. C+ (controle positivo); C- (controle negativo); MM (padrão de massa molecular).



Conclusão

A diversidade microbiana nos processos de bio-oxidação estudados em rejeitos da mineração de ouro é pequena. Foi identificado, para os cultivos realizados a 30 °C, representantes do gênero *Acidithiobacillus*, e para os realizados a 50 °C observou-se espécies mesófilas. Concluiu-se também que não houve alteração na composição microbiana inoculada para a comunidade após os ensaios de bio-oxidação. A técnica de DGGE comprovou a baixa diversidade obtida através da análise das bibliotecas metagenômicas.

As técnicas de biologia molecular utilizadas foram eficientes para determinação de organismos presentes nos sistemas, no entanto, mais estudos podem ser realizados com outros *primers* para os cultivos a 50 °C.

Agradecimentos

À Isabela Assumpção e à Professora Sandra pela ajuda na realização dos experimentos. Ao grupo de pesquisa do laboratório de Bio &

Hidrometalurgia pelas amostras e parceria de trabalho. À UFSJ, CAPES, Fapemig e CNPq pelo incentivo à pesquisa.

Referências

- BATISTA, L. A. Análise das comunidades microbianas presentes em depósitos de minerais sulfetados com ocorrência de drenagens ácidas de minas e em sistemas de biolixiviação. 2009. 100 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2009.
- HEDRICH, S.; JOHNSON, D. B. *Acidithiobacillus ferridurans* sp. nov., an acidophilic iron-, sulfur- and hydrogen-metabolizing chemolithotrophic gammaproteobacterium. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, v. 63, n. 11, p.4018-4025, 2013.
- NETO, A. L. S. Avaliação de métodos de extração de DNA genômico de amostras de solo e de um mineral sulfetado de cobre. 2014. 40 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Curso de Graduação em Engenharia de Bioprocessos, Universidade Federal de São João del-Rei, Ouro Branco.
- RODRIGUES, I. C. B. Métodos Moleculares Aplicados a Biotecnologias Relacionadas ao Ciclo do Enxofre. 2012. 127 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia dos Materiais – Área de Concentração: Tecnologias ambientais) – Instituto de Ciências Exatas e Biológicas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto.
- RODRIGUES, I.C.B.; SILVA, L.A.M.; AZEVEDO, R.D.; COTA, R.G.S.; LEÃO, V.A. Identificação de micro-organismos presentes em sistemas de biolixiviação de cobre a 35 e 50 °C. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 23, n. 6., p. 1061-1066, 2018.
- TANAKA, K.; STACKEBRANDT, E.; TOHYAMA, S.; EGUCHI, T. *Desulfovibrio adipica* gen. nov., sp. nov., an adipate-degrading, Gram-negative, sulfate-reducing bacterium. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, v. 50, n. 2, p.639-644, 2000.

EFEITO DA β -ciclodextrina NAS PROPRIEDADES TÉRMICAS DE NANOSSENORES À BASE DE POLIACETILENOS (PDA)

Ana A. Resende (PG),^{1*} Rebeca R. Batista (IC),² Igor J. B. Santos (PQ),² José Manoel Marconcini (PQ).³

¹ Universidade Federal de Lavras (UFLA), DCF/PPGBioMat, ² Universidade Federal de São João Del Rei, DQBIO/ Engenharia de Bioprocessos, ³ Embrapa Instrumentação de São Carlos – São Paulo

*e-mail: anaaresende@hotmail.com

Palavras-Chave: Ácido 10,12-pentacosadiinóico, Termogravimetria, Calorimetria Exploratória Diferencial.

Introdução

Moléculas de poliacetilenos (PDA) são polímeros conjugados bastante promissores como sensores colorimétricos como alternativa às técnicas convencionais de biossensores. São moléculas obtidas a partir da fotopolimerização de compostos diacetilênicos e são atraentes por possuírem propriedades estruturais e ópticas únicas, exibindo resposta colorimétrica a vários estímulos químicos e físicos (De Souza et al. 2016).

Para garantir uma resposta específica, todo sensor deve conter uma molécula que se liga facilmente ao analito alvo, quase que como um antígeno-anticorpo. Quanto mais específica for a ligação, melhor o desempenho final do sensor. Neste caso, uma molécula com alto potencial de ligação a diversas moléculas ativas é a β -Ciclodextrina (β cd).

As β cd são oligossacarídeos cíclicos naturais ou sinteticamente modificados muito utilizadas para melhorar as propriedades de compostos biologicamente ativos, como aditivos alimentares e ingredientes ou compostos medicinais. Atuam de maneira a proteger esses compostos contra a luz e a degradação oxidativa. Além disso, formam complexos hospede-hospedeiro com as moléculas alvo, aumentando a solubilidade em água e a biodisponibilidade (Hădărugă et al. 2019).

Neste sentido, a caracterização desses materiais, tais como a caracterização térmica, se faz necessária para elucidar as propriedades do material e destiná-lo à aplicação de forma mais eficiente. Dentre as propriedades térmicas, podemos destacar a transição de fase ou outra mudança de massa durante a reação química, bem como processos endotérmicos e exotérmicos físicos e/ou químicos que ocorrem durante o aquecimento de um material (Hădărugă et al. 2019).

Contudo, o objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito da β cd nas propriedades térmicas de nanossensores de PDA via termogravimetria (TGA) e Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC).

Procedimento Experimental

Para a realização desta pesquisa, o ácido 10,12-pentacosadiinóico (PCDA, 97% em massa), precursor do PDA, o poli(óxido de etileno)-poli(óxido de propileno)-poli(óxido de etileno) L64 [(EO)₁₃(PO)₃₀(EO)₁₃], com massa molar média (M_m) de 2900 g·mol⁻¹, e a β -ciclodextrina foram adquiridas da Sigma-Aldrich Brasil Ltda. Os demais reagentes utilizados foram de grau analítico e utilizados sem purificação adicional. Toda parte experimental utilizou água destilada e foi realizada na UFSJ/CAP, no Laboratório de Fermentações do DQBIO.

1. MÉTODO

1.1. Produção dos Nanossensores Puros

Seguindo metodologia proposta por DE SOUZA e colaboradores, (2016) e REZENDE e colaboradores (2017), o L64 (1% m/m) foi solubilizado em água e o PCDA ($1 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$) dissolvido nesta solução. Posteriormente, a solução foi sonicada por 10 min a 400 W em ultrassom e, imediatamente, filtrada em filtro PVDF com porosidade de 25mm. A suspensão foi mantida por 10h a 4°C , para orientação dos monômeros de PCDA. A fotopolimerização foi realizada expondo a suspensão à radiação UV (254 nm a 15 W), por 10 min. A solução tornou-se azul.

1.2. Produção dos Nanossensores com β cd

A β -ciclodextrina (2 mM) foi adicionada ao sistema na primeira etapa, após solubilização do L64 em água. Desta forma, foram produzidos nanossensores puros e nanossensores com β -ciclodextrina.

1.3. Termogravimetria (TGA) e Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC)

A termogravimetria e o DSC foram realizados em um equipamento DTG-60Series e DSC-60 da Shimadzu, respectivamente, seguindo protocolo adaptado (Moreira et al. 2018), em que as medidas foram realizadas em atmosfera N_2 com fluxo de 50 mL/min, e as amostras submetidas a uma rampa de aquecimento de 25 a 300°C , a uma taxa de aquecimento de $10^\circ\text{C}/\text{min}$.

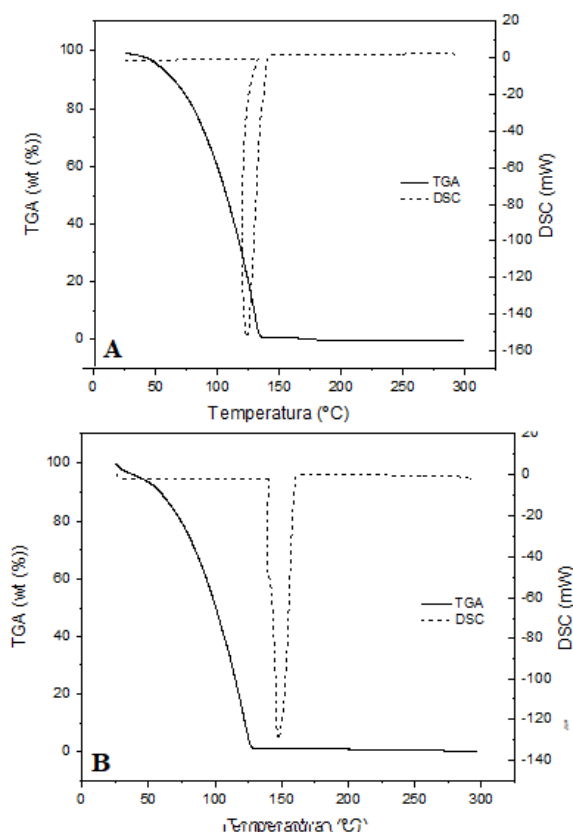
Resultados e Discussão

As análises térmicas permitiram determinar algumas propriedades térmicas dos nanossensores produzidos. Entre elas a transição de fases das amostras durante a reação química por termogravimetria e o processo endotérmico que ocorreram durante o aquecimento do material por DSC. Entretanto, os autores deste estudo, não encontraram até o presente

momento, trabalhos similares de análise térmica utilizando o mesmo complexo (PCDA/ β -ciclodextrina). Por este motivo comparações de picos e temperaturas de transição de fases serão discutidos com base nas curvas térmicas de cada um separadamente e com base em complexos similares.

A degradação térmica foi avaliada usando TGA. A temperatura de fusão foi conseguida a partir da análise do DSC e os perfis são apresentados na Figura 1.

Figura 1 – Perfil de degradação (TGA) e DSC do PCDA puro (A) e do complexo PCDA/ β cd (B)



Os dois nanossensores apresentaram características de perda de massa/decomposição que ocorreram em apenas uma etapa. Para o PCDA puro, a ocorrência desse evento pode ser observada na curva TGA e teve início a aproximadamente $28,3^\circ\text{C}$ e fim em

torno de 130,5°C. Posteriormente a amostra adquiriu composição química fixa, definida e constante (Figura 1-A) com perda de massa final de 98,97%. Para o complexo PCDA/ β cd, esse evento teve início em torno de 38,2°C e término em torno dos 123,6°C (Figura 1-B) com perda de massa de cerca de 98,69%.

Segundo Hădărugă e colaboradores (2019) a “água de hidratação” da β cd, é parcialmente substituída pelo composto hospede e esse teor no complexo, geralmente, é menor. O que poderia explicar o motivo pelo qual a temperatura de início da degradação ocorreu em temperaturas mais baixas no PCDA puro em relação ao complexo PCDA/ β cd.

Este evento pode ocorrer pois, ainda segundo Hădărugă e colaboradores (2019), a relação entre moléculas de “água de superfície” e “água fortemente retida” e sua mobilidade são consideravelmente modificadas após a complexação. Sendo assim, haveria um maior teor de “água de superfície” no PCDA puro, fazendo com que a evaporação ocorresse mais facilmente com início em temperaturas mais baixas em relação ao complexo. Portanto, o complexo PCDA/ β cd teria maior proporção de “água fortemente retida” e assim o processo de evaporação seria mais lento, fazendo-se necessário maiores temperaturas, para que o processo de evaporação de toda água do material ocorresse.

Em relação às temperaturas de fim do processo de degradação, podemos inferir que aparentemente a presença da β cd formando o complexo, pode ter sido responsável pela diminuição da janela de degradação do material, já que segundo Yuan, Liu, & Liu (2015) e Hădărugă e colaboradores (2019), a mudança de massa no perfil TGA da β cd pura que ocorre devido à dissociação de água acontece por volta dos 110°C, enquanto que a completa degradação ocorre em um intervalo de 290-300°C. Assim, sugere-se que a interação da

β cd com o PDA modifica a sua estrutura e/ou conformação fazendo com que a água que tenha ficado retida na formação da vesícula fique mais livre para sair na presença da β cd.

É possível observar na curva calorimétrica um pico endotérmico em 124,8°C no PCDA puro (Figura 1-A) e em 147,3°C no complexo PCDA/ β cd (Figura 1-B). Portanto, sugere-se que a diferença da quantidade de calor exigida para provocar esse processo no complexo, possa ser explicado pela maior temperatura de fusão da β cd, como mencionado anteriormente.

Por fim, segundo Mapazi, Matabola, Moutloali, & Ngila (2018), a temperatura de fusão desempenha um grande papel nas propriedades termocrômicas dos PCDAs, incluindo sua reversibilidade termocrômica. E por esse motivo, mais estudos e caracterizações desse material devem ser realizados a fim de comprovar as teorias aqui apresentadas.

Conclusão

O presente trabalho abre discussão sobre as propriedades térmicas de nanosensores de PDA combinados à β cd. E evidencia que moléculas de β cd podem interferir diretamente nas propriedades térmicas e termocrômicas destes nanosensores, fazendo-se necessário estudos mais aprofundados com objetivo de melhorar as propriedades físicas e químicas do complexo.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e ao Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica (PIBIC) pela concessão de bolsas, à Universidade Federal de São João Del Rei e ao grupo de pesquisa NanoTec.

Referências

Hădărugă, Nicoleta G., Geza N. Bandur, Ioan David, and Daniel I. Hădărugă. 2019. “A



III SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE BIOPROCESSOS E BIOTECNOLOGIA



05 a 07 de julho de 2023
Ouro Branco, Minas Gerais, Brasil

Review on Thermal Analyses of Cyclodextrins and Cyclodextrin Complexes.” *Environmental Chemistry Letters* 17(1):349–73.

Mapazi, Odwa, Kgabo P. Matabola, Richard M. Moutloali, and Catherine J. Ngila. 2018. “High Temperature Thermochromic Polydiacetylene Supported on Polyacrylonitrile Nanofibers.” *Polymer* 149:106–16.

Moreira, Ana M., Vanessa C. E. Bittencourt, Fábio L. S. Costa, Maria Elena De Lima, Miriam T. P. Lopes, Warley S. Borges, Gustavo F. Martins, Clébio S. Nascimento, Jeferson G. Da Silva, Ângelo M. L. Denadai, and Keyller B. Borges. 2018. “Hydrophobic Nanoprecipitates of β -Cyclodextrin/Avermectins Inclusion Compounds Reveal Insecticide Activity against *Aedes Aegypti* Larvae and Low Toxicity against Fibroblasts.” *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 66(28):7275–85.

Rezende, Jaqueline de Paula, Guilherme Max Dias Ferreira, Gabriel Max Dias Ferreira, Luis Henrique Mendes da Silva, Maria do Carmo Hespagnol da Silva, Maximiliano Soares Pinto, and Ana Clarissa dos Santos Pires. 2017. “Polydiacetylene/Triblock Copolymer Nanosensor for the Detection of Native and Free Bovine Serum Albumin.” *Materials Science and Engineering C* 70:535–43.

De Souza, Luana Cypriano, Jaqueline De Paula Rezende, Ana Clarissa Dos Santos Pires, Luis Henrique Mendes Da Silva, Maria do Carmo Hespagnol Da Silva,

Elkin Dario Castellon Castrillon, and Nélío José De Andrade. 2016. “Polydiacetylene/Triblock Copolymer Nanoblend Applied as a Sensor for Micellar Casein: A Thermodynamic Approach.” *Food Chemistry* 197:841–47.

Yuan, Chao, Benguo Liu, and Hui Liu. 2015. “Characterization of Hydroxypropyl- β -Cyclodextrins with Different Substitution Patterns via FTIR, GC-MS, and TG-DTA.” *Carbohydrate Polymers* 118:36–40.

05 a 07 de julho de 2023
Ouro Branco, Minas Gerais, Brasil

PARÂMETROS OPERACIONAIS DE CÉLULAS DE ENERGIA MICROBIANA: UMA ANÁLISE BIBLIOGRÁFICA

Área: vi) Ciências Básicas e Engenharias.

Matheus H. A. L. Cardozo (PG)¹, Isabel Cristina Rodrigues Braga² (PQ), Edson R. Nucci (PQ)^{1,2}

¹Universidade Federal de São João del-Rei, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, ²Universidade Federal de São João del-Rei, Departamento de Química, Biotecnologia e Engenharia de Bioprocessos

*e-mail: matheushcardozo@yahoo.com.br

Palavras-Chave: *Células Combustíveis Microbianas, Sustentabilidade, Bioeletroquímica, Biotratamento de Resíduo, Biogeração de Energia.*

Resumo

Células de energia microbiana (CEM) são dispositivos que propiciam, de modo simultâneo, por meio do metabolismo microbiano, o biotratamento de resíduos e a biogeração de energia elétrica. Com o objetivo de otimizar o emprego dessa tecnologia, investigam-se as variáveis de operação que interferem mais significativamente em seu desempenho. Assim, este trabalho propôs revisar e analisar as principais variáveis operacionais aplicadas em pesquisas com CEM relatados na literatura. Para tanto, elegeu-se a plataforma *Google Acadêmico* como fonte de informações e selecionou-se os termos de pesquisa adequados para a busca por meio de Descritores em Ciências da Saúde (DECS), que indicaram 13 termos para a pesquisa. Tais termos foram utilizados na busca por materiais em português, inglês ou espanhol publicados entre 2013 e 2023. Por fim, os materiais foram selecionados e seus resumos avaliados. Aqueles julgados condizentes com a pesquisa tiveram seu conteúdo analisado e suas informações registradas. De acordo com o levantamento, que contou com 55 trabalhos que se enquadraram nos quesitos definidos, 5 parâmetros operacionais mais recorrentes e que se alinham aos objetivos da pesquisa foram identificados, sendo eles: área do anodo, densidade de corrente, densidade de potência, resistência elétrica externa e volume do dispositivo, com porcentagens de ocorrências variando entre 22% e 47%. Dessa maneira, nota-se que pesquisas deste gênero são capazes de colaborar com o desenvolvimento de estudos em CEM por indicar os principais parâmetros de trabalho nessa área, de modo a propiciar maior padronização nesta atividade e beneficiar a aplicação de ferramentas matemático-computacionais e de planejamento experimental-estatístico, que são significativas, em particular, em pesquisas que objetivam analisar efeitos de diferentes variáveis envolvidas em um processo e indicar as melhores condições operacionais, como no caso das células de energia microbiana.

Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer à Universidade Federal de São del-Rei pelo suporte prestado.

05 a 07 de julho de 2023
 Ouro Branco, Minas Gerais, Brasil

Avaliação das soft skills de alunos do curso de Engenharia, empregabilidade e influência da participação em projetos de extensão

Área: vi) Ciências Básicas e Engenharias

Karen G. Z. Santos*(IC)¹, Marcel O. Cerri (PQ)¹, Daniele G. de Oliveira (PQ)¹

¹Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (UNESP), Departamento de Bioprocessos e Biotecnologia

*e-mail: karen.zanche@unesp.br

Palavras-Chave: *soft skills, recém formados, SWOT, oportunidades, extensão, mercado de trabalho*

Resumo

A pandemia do COVID-19 causada pelo vírus SARS-CoV-2 trouxe diversas mudanças, tanto na rotina da população, hábitos de consumo e até no estilo organizacional de diversas empresas. Estas mudanças, juntamente com a constante evolução tecnológica, evidencia a valorização conjunto específico de habilidades em profissionais que não era previamente priorizado¹. Estas habilidades são fruto da combinação das *hard skills* (habilidades técnicas), desenvolvidas principalmente durante o cumprimento da grade curricular dos engenheiros, mas também das *soft skills* (habilidades comportamentais), ligadas a comportamento, convivência humana e gestão. Ainda que previstas no Projeto Político Pedagógico do curso faz-se necessário a investigação do desenvolvimento desta última habilidade nos alunos a fim de entender os principais pontos fortes do curso e também oportunidades de ampliação de conhecimento, visto que, estes pontos são diferenciais para a contratação nas principais empresas e indústrias do país. Diante disto, o objetivo deste presente trabalho foi investigar as dores e necessidades no perfil do profissional de engenharia, identificando e detalhando as principais habilidades sociocomportamentais requeridas pelo mercado de trabalho atual para recém formados nos cursos de engenharia. Assim, apresentar a importância do desenvolvimento das soft skills durante a formação, evidenciando a diferença entre as competências adquiridas pela grade curricular dos cursos de engenharia em comparação com aquelas exigidas pelos profissionais de recursos humanos na hora da escolha da contratação destes jovens. Para tal, foi realizado uma revisão da literatura sobre o desenvolvimento das *soft skills* em engenheiros recém formados e sua importância, entrevistas com profissionais da área de recursos humanos responsáveis por atração e contratação de talentos. Também foi elaborada uma análise SWOT, em português: forças, fraquezas, oportunidades e ameaças, da atual grade curricular do curso de Engenharia de Bioprocessos e Biotecnologia na UNESP de Araraquara. Concluindo que há uma diferença entre habilidades desenvolvidas na universidade e as requeridas no mercado², trazendo como propostas para sanar o déficit, uma disciplina com metodologia de aprendizagem por projetos na prática, assim como a inclusão de trabalhos em grupo para disciplinas existentes e o reforço da importância da valorização dos projeto de extensão dentro da universidade.

Agradecimentos

CNPq, FAPESP e CAPES

Referências

1 KAUTZ, T. D., HECKMAN, J., DIRIS, R., TER WEEL, B., BORGHANS, L. Fostering and measuring skills: Improving cognitive and non-cognitive skills to promote lifetime success. Cambridge, MA: National Bureau of Economic Research, 2014.

2 WORLD CHEMICAL ENGINEERING COUNCIL (WCEC). How Does Chemical Engineering Education Meet the Requirements of Employment. Frankfurt, 2004.

AVALIAÇÃO DE MEIOS DE CULTURA PARA A PRODUÇÃO DA SURFACTINA A PARTIR DE CEPAS DE *Bacillus sp*

Área: Ciências Básicas e Engenharias.

Isabella S. de Paula (IC)^{1*}, Vitória F. B. Zocca (PG)¹, Danielle B. Pedrolli (PQ)¹, Álvaro B. Neto (PQ)¹.

¹ Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” - Campus Araraquara, Departamento de Bioprocessos e Biotecnologia.

*e-mail: isabella.s.paula@unesp.br

Palavras-Chave: *Bioprocessos, Biosurfactina, Meio de cultura, Bacillus sp.*

Resumo

A Surfactina é considerada um biosurfactante pertencente a classe dos lipopeptídeos, podendo ser obtida a partir de meios de cultura adequados para cultivos de cepas de *Bacillus sp* com elevada capacidade de produção, obtendo caldos com alta atividade surfactante para inúmeras aplicações ^[1]. Sua produção ocorre através de processos fermentativos, utilizando meios de cultivos com qualidade e quantidade adequadas de fonte de carbono e nitrogênio, sendo necessário, também, acompanhar alguns parâmetros como a velocidade de transferência de oxigênio, pH e quantidade de nutrientes a serem adicionados durante o cultivo ^[2]. Logo, este trabalho visou estudar o processo de produção da Surfactina utilizando a bactéria *Bacillus sp*, sendo utilizado um sistema de produção, mantido sob sigilo, e avaliando o melhor meio de cultura a ser empregado. Foram avaliadas duas diferentes composições de meios de cultivo sintético tal como o meio Power e o meio Fosfato, e como meio de cultivo complexo o meio Luria - Bertani (LB), de modo a analisar a produção de Surfactina nos tempos de 6h, 24h e 48h. Com os resultados disponíveis, conclui-se que o meio Power se mostrou o meio mais promissor para a produção da Surfactina nos três tempos analisados, em relação aos outros dois meios, os quais tiveram baixíssimas concentrações. Sendo assim, os próximos trabalhos serão realizados utilizando o meio Power como base.

Agradecimentos

Agradeço ao meu professor orientador por toda orientação e disposição, a universidade Unesp e as instituições de fomento à pesquisa FAPESP (Processo 2022/14513-9), CNPQ e a CAPES.

Referências

1. SHALIGRAM, N. S., SINGHAL, R. S. “Surfactin – a review of biosynthesis, fermentation, purification and applications”. Food Technol Biotechnol, v. 48, p.119-134, 2010.
2. ACIOLY, L. M. L., et al. “Biosurfactant production by *Bacillus subtilis* UCP 0999 in unconventional and low-cost substrates”. Dissertation (Master's in Development of Environmental Processes) - Catholic University of Pernambuco. Recife, 2009. 79 f.

05 a 07 de julho de 2023
Ouro Branco, Minas Gerais, Brasil

SÍNTESE DE DERIVADOS DE GLICEROL CANDIDATOS A SUPRESSORES DE POEIRA PARA A MINERAÇÃO

Área: Ciências Básicas e Engenharias.

Elisa Gomes Alves (IC)¹, Rafael Mafra de Paula Dias (PQ)^{1*}.

¹ Universidade Federal de São João del Rei (UFSJ), Departamento de Química, Biotecnologia e Engenharia de Bioprocessos (DQBIO).

*e-mail: rafaelmafra@ufsj.edu.br

Palavras-Chave: *glicerol, supressor de poeira, ésteres de glicerol.*

Resumo

As atividades do setor da mineração são indispensáveis para a indústria e possuem grande relevância para a economia brasileira, entretanto, a prática extrativa da mineração ocasiona grandes impactos ambientais assim como para a saúde da população em razão da poluição atmosférica (SANTOS, 2016). Dessa forma, o desenvolvimento de novos supressores de poeira, principalmente oriundos de fonte renovável ou de resíduos de outros setores industriais, tem sido estimulado para mitigar esse problema. O foco do trabalho consistiu no estudo visando desenvolver ésteres candidatos a supressor de poeira tendo como matriz principal o glicerol, um subproduto na produção de biodiesel, acoplados a ácidos graxos de cadeia carbônica curta e longa, ambos de origem natural. A estratégia de preparo seguiu i) pela formação prévia do intermediário solketal e posterior reação de esterificação e ii) pela reação de esterificação direta entre o AG e glicerol. O estudo da síntese de solketal seguiu pela avaliação de condições reacionais envolvendo glicerol e acetona em diferentes proporções molares na presença de catalisadores (H_2SO_4 ou $SiO_2.SO_3H$) e agentes secantes. Para síntese dos supressores partindo do solketal, o procedimento foi realizado sem purificação prévia, seguido da adição dos respectivos ésteres e acompanhada por CCD em períodos determinados. Após algumas tentativas, esta estratégia não logrou êxito na formação dos ésteres. Por outro lado, o estudo de condições reacionais da reação direta entre os respectivos ácidos e o glicerol, na presença de catalisador com características ácidas levaram à obtenção de dois supressores de poeira de cadeia longa e curta. A purificação destes seguiu com etapas de extração e cromatografia e os rendimentos dos supressores oriundos de ácidos de cadeia curta e longa foram abaixo de 5% e acima de 15% respectivamente (rendimentos a serem otimizados). Como perspectivas futuras, os compostos foram submetidos a parceiros para avaliação do potencial supressor.

Agradecimentos

Agradeço ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico Tecnológico (CNPq-UFSJ) pela bolsa concedida para o projeto “Síntese de derivados de glicerol como supressores de poeira para mineração” e à Universidade Federal de São João del-Rei por ceder as instalações físicas dos laboratórios para realização de pesquisas como essa junto à comunidade acadêmica.

Referências

SANTOS, Maísa da Costa. Síntese de solketal a partir de glicerol e seu uso como precursor na síntese de ésteres de solketal e monoacilglicerídeos. 2016. 110 p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-graduação em Biocombustíveis, Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Diamantina, 2016.

05 a 07 de julho de 2023
Ouro Branco, Minas Gerais, Brasil

PRODUÇÃO DE RIBOFLAVINA POR *BACILLUS SUBTILIS*: IMPACTO DA INCLUSÃO DE IMPELIDORES EM CULTIVO AGITADO

Área: vi) Ciências Básicas e Engenharias.

Bruno W. Picão (PG),^{1*} Laura A. S. Amorim (PG),¹ Daniele G. Oliveira (PG),¹ Renata M. M. G. P. RIBEIRO (PG),² Vítor T. Mazziero (PG),¹ Danielle B. Pedrolli (PQ),¹ Marcel O. Cerri (PQ).¹

¹ Universidade Estadual Paulista (UNESP), Departamento de Engenharia de Bioprocessos e Biotecnologia.

² Universidade Estadual de Campinas, Departamento de Engenharia de Materiais e de Bioprocessos.

*e-mail: b.picao@unesp.br

Palavras-Chave: *Riboflavina, Bacillus subtilis, Impressão 3D, Impelidores, Cultivo agitado.*

Resumo

A Riboflavina (RF), conhecida como vitamina B2, é produzida biotecnologicamente por microrganismos como o *Bacillus subtilis*. Essa vitamina é essencial para humanos e animais, sendo precursora de coenzimas importantes para reações bioquímicas. Nas últimas décadas, houve um aumento significativo de interesse na RF, tornando-a um dos produtos mais importantes na área da biotecnologia. Isso levou a uma série de estudos para otimizar sua produção (AVERIANOVA et al., 2020). Este estudo visou aumentar a produção de RF pelo microrganismo *Bacillus subtilis* geneticamente modificado (LINS et al., 2021) cultivado em Shaker agitado. Foram comparados cultivos em frascos de Erlenmeyer padrão e frascos com impelidores semi-helicoidais impressos em 3D, ambos operados a 220 rpm e 37°C. Os resultados apresentaram um crescimento do microrganismo inferior no cultivo com impelidores, entretanto a produção de riboflavina foi significativamente maior, com uma relação de produção específica ($Y_{P/X}$) de 0,315 g/g, o que representa um aumento de 1,55 vezes em comparação com o cultivo padrão ($Y_{P/X} = 0,203$ g/g). A inclusão dos impelidores foi comprovada como uma estratégia eficaz para aumentar a produção de riboflavina. Além disso, este estudo preliminar fornece uma base para a expansão de escala, investigando o impacto do aumento na transferência de massa, calor e oxigênio no processo.

Agradecimentos

CAPES, CNPq e FAPESP.

Referências

AVERIANOVA, L. A. et al. Production of Vitamin B2 (Riboflavin) by Microorganisms: An Overview. **Frontiers in Bioengineering and Biotechnology**, v. 8, 12 nov. 2020.
LINS, M. R. DA C. R. et al. Targeting riboswitches with synthetic small RNAs for metabolic engineering. **Metabolic Engineering**, v. 68, p. 59–67, nov. 2021.

ADAPTAÇÃO DE *ASPERGILLUS NIGER* EM MEIO COM CIANETO PARA APLICAÇÃO NO TRATAMENTO DE EFLUENTES INDUSTRIAIS

Letícia H. S. Castro (IC)¹, Ana F. O. G. Matos (IC)^{1*}, Jane A. M. Nogueira (IC)¹, Isabel C. B. Rodrigues (PQ)²

¹ Universidade Federal de São João del-Rei, Curso de Engenharia de Bioprocessos

² Universidade Federal de São João del-Rei, Departamento de Química, Biotecnologia e Engenharia de Bioprocessos

*e-mail: let.helena30@aluno.ufsj.edu.br

Palavras-Chave: Cianeto, Aspergillus niger, efluentes líquidos industriais, adaptação microbiana.

Introdução

A atividade industrial é essencial para o desenvolvimento humano, mas contribui para problemas ambientais devido ao descarte de efluentes com compostos tóxicos, como o cianeto. A exposição ao alto nível de cianeto interfere na última etapa da cadeia respiratória, bloqueando a síntese de ATP e podendo levar à morte dos organismos expostos (DASH et al., 2009).

Alguns métodos químicos para a degradação de CN⁻, como precipitação, complexação, adsorção e oxidação, apresentam alguns inconvenientes como o alto consumo de produtos químicos, formação de intermediários tóxicos e custo elevado (TIONG et al., 2013). Assim, a utilização de um agente biológico no tratamento de efluente é uma proposta atraente do ponto de vista econômico, uma vez que requer equipamento simples e de fácil controle operacional, economia de reagentes e capacidade de tratamento de efluente com alta concentração de substâncias orgânicas (GRANATO, 1995).

Dessa forma, o presente trabalho procurou adaptar o fungo *Aspergillus niger* a concentrações crescentes de cianeto com o objetivo de utilizar este microrganismo no tratamento de efluentes líquidos industriais contendo elevados teores deste íon.

Procedimento Experimental

Utilizou-se uma cultura de *Aspergillus niger* já cultivada anteriormente no Laboratório Biotecnológico da Universidade Federal de São João Del Rei, Campus Alto Paraopeba. Esta cultura era mantida em meio sólido Yeast Malt Agar (YMA). A partir desta cultura, foi produzida uma suspensão de esporos em solução salina (NaCl 0,85%) esterilizada e esta suspensão foi adaptada em meio Czapek-Dox.

Para adaptar a suspensão do fungo ao meio Czapek-Dox foram preparados 200 mL do meio conforme orientações do fabricante. O pH foi ajustado para 7,0 com solução de NaOH 1M. O meio foi esterilizado em autoclave, a 121°C e 1 atm, durante 20 minutos. Posteriormente, diferentes volumes (1 mL, 2 mL, 3 mL e 4 mL) da suspensão de *A. niger* foram inoculados asepticamente.

O trabalho com soluções de cianeto livre é seguro em pH acima de 9,3. Dessa forma, adaptou-se a cultura de *A. niger* em pHs crescentes, até pH 10, de forma a garantir a segurança na execução dos experimentos com cianeto livre. Após adaptação da cultura ao meio Czapek-Dox pH 7,0, a adaptação do fungo continuou por meio da variação do pH, sendo o mesmo repicado em meios de pH 8,0; 9,0; 9,5 e 10. Adotou-se a transferência de 4 mL de inóculo em todos os repiques e antes da alteração do pH do meio, eram feitos dois

repiques na mesma condição de pH para garantir a adaptação.

Depois da adaptação do fungo em pH 10,0, 4 mL de inóculo foram transferidos para 100 mL do meio Czapek-Dox, suplementado com CN^- , em concentrações crescentes (5 mg L^{-1} , 10 mg L^{-1} e 20 mg L^{-1}), seguindo o mesmo procedimento da adaptação em pHs crescentes. Em todos os casos as culturas foram mantidas a 28°C em um agitador orbital (Tecnal) a 180 min^{-1} . O crescimento do fungo foi acompanhado pela observação da formação de hifa, em todos os processos de adaptação.

Além disso, foi estudada a cinética de crescimento de *A. niger* em pH 7,0; 8,5 e 10,0. Todas as amostras foram preparadas em triplicata. Os ensaios foram conduzidos utilizando meio Czapek-Dox, em tubos Falcon de 50 mL, contendo 9 mL de meio e 1 mL da suspensão de *A. niger*. Os tubos foram incubados em agitador orbital a 28°C e 180 min^{-1} , durante sete dias. Foram retirados, diariamente, três tubos Falcon de cada pH e o meio foi filtrado em papel de filtro quantitativo. Os papéis de filtro foram previamente secados em uma estufa a 80°C , durante 48 horas, e depois deste período, foram pesados em balança analítica (Shimadzu modelo AY220). Após filtração do meio, contido no tubo Falcon, o papel de filtro foi novamente levado para secagem em estufa sob as mesmas condições. Determinou-se o peso seco da cultura por diferença entre a massa do papel de filtro antes e após a filtração do meio.

A mesma metodologia foi realizada para avaliar a cinética de crescimento de *A. niger*, em meio suplementado com cianeto a 5 mg L^{-1} , 10 mg L^{-1} e 20 mg L^{-1} . Neste caso, foi utilizado o meio Czapek-Dox (Sigma) em pH 10.

Em todos os ensaios cujo cianeto foi utilizado, tomou-se o cuidado de descontaminar o local de trabalho e todas as vidrarias com solução de hipoclorito 10% em pH 11,0.

Resultados e Discussão

Para as adaptações em pHs crescentes, observou-se que em pH 10,0 a cultura apresentou crescimento considerável, conforme mostrado na figura 1. O mesmo padrão de crescimento foi observado para os meios de cultivo em pH 7,0; 8,0; 9,0; 9,5.

Figura 1 - *Aspergillus niger* em meio Czapek Dox pH 10, 28°C , 180 min^{-1} , após 4 dias de crescimento.



Segundo Rodrigues (2006) o *A. niger* pode apresentar a forma de hifa ou “pellets” que são esferas formadas pelas hifas. Essa forma pode ser justificada pela presença de quitina na parede celular, permitindo a mudança do formato, que ocorre para proteção aos estresses ambientais, tais como temperaturas extremas, limitações de nutrientes e modificações abruptas no pH. Como observado na figura 1, o meio Czapek Dox em pH 10,0 induziu a forma de “pellets” do *A. niger*.

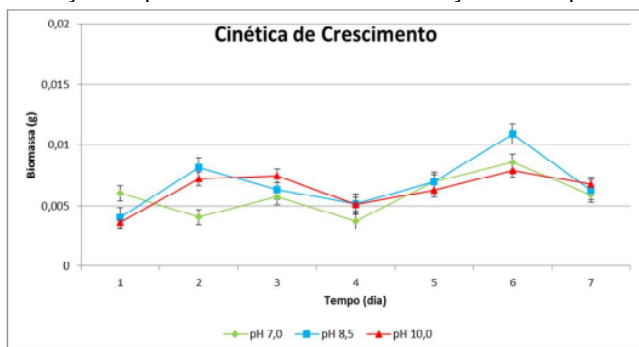
A suspensão inoculada em meio contendo 10 mg L^{-1} de cianeto está representada na figura 2. Como observado na figura 2, na presença de cianeto, o fungo adotou a forma de micélio. Esta nova morfologia permite a translocação do composto tóxico, CN^- , para uma parte do micélio que poderá ser usada como fonte de nitrogênio em seu metabolismo (GRAE; MORRIS, 1992).

Figura 2 - *Aspergillus niger* em meio Czapek Dox com 10 mg L⁻¹ de CN⁻ pH 10, 28°C, 180 min⁻¹, 6 dias



A figura 3 mostra a variação do peso seco da cultura de *A. niger* em relação ao tempo, nas condições de pH 7,0; 8,5 e 10,0.

Figura 3 - Cinética de crescimento do *A. niger*, variação do peso seco da cultura em relação ao tempo

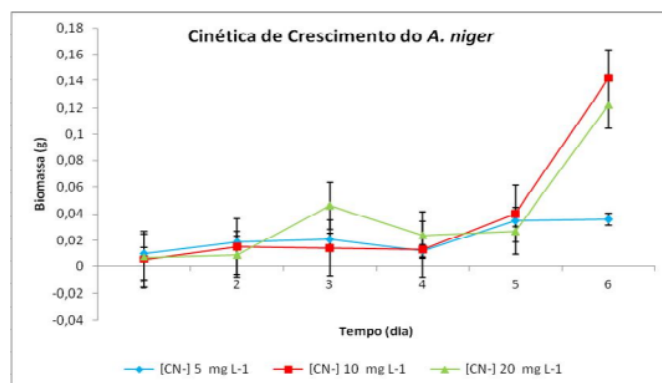


A cinética de crescimento permitiu observar que para o pH 7,0 o gráfico apresentou um comportamento anômalo, quando visto na presente escala e que, pode ser analisado pela barra de erro máxima, como uma fase de adaptação que se estendeu até o dia 4. Entre os dias 4 e 6 o fungo entrou em fase logarítmica de crescimento. Observou-se que o *A. niger*, em pH 8,5, apresentou um crescimento semelhante ao observado em pH 7,0, com taxa de crescimento máxima atingida entre os dias 4 e 6. Em pH 10,0 o fungo apresentou um comportamento praticamente constante. Este resultado não foi coerente com aqueles obtidos na fase de adaptação, na qual foi observado crescimento satisfatório do microrganismo em

meio com pH 10,0. Acredita-se que o meio de cultura pode ter interferido diretamente nessa cinética de crescimento, já que neste caso, não foi utilizado meio comercial. Portanto, comparado a adaptação do fungo em meio Czapek-Dox (Sigma) em pH 10,0, mostrado na figura 1, levanta-se a hipótese que o crescimento do fungo é dependente das condições dos reagentes utilizados para compor o meio de cultura.

A figura 4 mostra a variação do peso seco da cultura de *A. niger* em relação ao tempo, em meio de cultura líquido, Czapek-Dox (Sigma), pH 10,0, contendo 5 mg L⁻¹; 10 mg L⁻¹ e 20 mg L⁻¹ de cianeto livre. Foi observada uma fase de adaptação (fase lag), do primeiro ao quarto dia.

Figura 4 - Cinética de crescimento de *A. niger* em meio contendo cianeto



Ao observar a figura 4, nota-se que houve crescimento do fungo após a adição de diferentes concentrações de cianeto e que o comportamento da cultura foi semelhante entre o primeiro e o quinto dia para todas as condições de cultivo. A fase log da cultura com 10 e 20 mg L⁻¹ de CN⁻ foi observada entre o quarto e sexto dia, mostrando um crescimento expressivo da cultura através do aumento de biomassa. Já para o cultivo contendo 5 mg L⁻¹ de CN⁻ não foi observado crescimento

expressivo de biomassa. O tempo para avaliação da cinética foi o fator limitante na análise gráfica, pois não houve como avaliar o tempo no qual a cultura entraria em fase estacionária de crescimento, sendo possível, dessa forma, determinar o crescimento máximo. Devido ao crescimento observado do *Aspergillus niger* após a adição de cianeto ao meio, comprova-se a versatilidade de sobrevivência desse microrganismo sob condições adversas.

Observou-se um crescimento expressivo do fungo a partir de 10 mg L⁻¹ de CN⁻, isso pode ser explicado pelo fato do *Aspergillus niger* produzir enzimas extracelulares oxidativas para degradação do cianeto (SANTAELLA et al., 2009). A sua rota metabólica consiste na ação da enzima cianeto monoxigenase para transformar o ácido cianídrico em ácido cianúrico (HOCN) que é um composto com baixa toxicidade, ou pela cianeto dioxigenase que transforma o HCN em amônia e dióxido de carbono (EBBS, 2004). O *A. niger* tem habilidade para utilizar amônia diretamente como fonte de nitrogênio (ESPOSITO; AZEVEDO, 2010) e, dessa forma, o microrganismo foi capaz de neutralizar a ação tóxica do cianeto e utilizá-lo como fonte adicional de nitrogênio.

Conclusão

Os resultados obtidos neste trabalho permitem concluir que a cultura de *Aspergillus niger* foi bem adaptada ao meio Czapek-Dox e apresentou um crescimento considerável em pH 10, favorecendo assim o trabalho com o cianeto. Além disso, a inserção de maiores concentrações do cianeto no meio de cultura favoreceu a produção de maior quantidade de biomassa. Por apresentar uma rota oxidativa conhecida, conclui-se que o

A. niger assimila o cianeto presente no meio como fonte de nitrogênio.

Referências

- DASH, R. R.; BALOMAJUMDER, C.; GAUR, A. Removal Cyanide in industrial wastewaters and its removal. *Journal of Hazardous Materials*, v.163, n.1, p. 1-11, 2009.
- EBBS, S. Biological degradation of cyanide compounds. *Environmental Biotechnology*, v. 15, n.1, p. 231-236, 2004.
- ESPOSITO, E; AZEVEDO, J. L. Fungos: uma introdução à biologia, bioquímica e biotecnologia. 2.ed. Caxias do Sul: Educs, 2010. 638 p.
- GRANATO, M.. Série Utilização do aguapé no tratamento de efluentes com cianetos. Série Centro de Tecnologia Mineral, v.5, p. 39, 1995.
- GRAE, D. L.; MORRIS, B. M. A low cost video analysis system for the BBC Master computer. *Binary, computing in microbiology*, v. 4, n. 2, p. 58-61, 1992.
- RODRIGUES, K. A. Uso de reatores biológicos com fungos para remoção de fenol de água residuária sintética. 2006. 125f. Tese (Doutorado em Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.
- SANTAELLA, S. T.; JUNIOR, F. C. G. S.; GADELHA, D. A. C.; COSTA, K. O.; AGUIAR, R.; ARTHAUD, I. D. B.; LEITÃO, R. C. Tratamento de efluentes de refinaria de petróleo em reatores com *Aspergillus niger*. *Engenharia Sanitária Ambiental*, v. 14, n.1, p. 139-148, 2009.
- TIONG, B.; BAHARI, Z.M.; SHAH LEE, N.S.I.; JAAFAR, J.; IBRAHIM, Z.; SHAHIR, S. Cyanide Degradation by *Pseudomonas pseudoalcaligenes*. *Sains Malaysiana*, v.44, n.2, p. 233-238, 2013.

ANÁLISE DA EFICIÊNCIA DE REMOÇÃO DE AMÔNIA DE UMA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE EFLUENTE INDUSTRIAL

Gisele A. Silva (PG), ^{1*} Isabel C. B. Rodrigues (PQ), ¹

¹ Universidade Federal São João del-Rei, Departamento de Química, Biotecnologia e Engenharia de Bioprocessos - DQBIO/Engenharia de Bioprocessos

*e-mail: gisele1316@gmail.com

Palavras-Chave: Lagoas de estabilização, Amônia, Nitrogênio, Tratamento de efluentes

Introdução

Efluentes contendo compostos nitrogenados são riscos potenciais para a saúde humana e ao meio ambiente, sendo necessário que sejam tratados para o controle da concentração desses poluentes (ZOPPAS, BERNARDES & MENEGUZZI, 2016).

O abate de animais é a principal forma de obtenção de proteína animal e seus derivados para consumo humano. Devido a isso, frigoríficos são regulados por normas sanitárias que visam garantir a segurança alimentar dos consumidores, mas também são regulados por normas ambientais devido ao grande consumo de água e geração de efluentes. As águas residuárias geradas nessas indústrias possuem elevada carga orgânica, devido à alta concentração de sangue e dejetos, e características físico-químicas variadas, como pH, devido ao uso de detergentes e produtos de higienização (JOHNS, 1995).

A estação de tratamento de efluentes (ETE), objeto de estudo deste trabalho, trata um efluente agroindustrial frigorífico utilizando uma combinação de flotadores e lagoas de estabilização. Acompanhou-se as concentrações de amônia na entrada e saída da lagoa aerada no período de julho de 2021 a maio de 2022, a fim de analisar a eficiência de remoção deste contaminante. O estudo também teve como objetivo analisar a relação entre fatores ambientais (radiação e pluviosidade) e as perdas de eficiência da ETE.

Procedimento Experimental

Para o cálculo da eficiência de remoção de amônia foram utilizadas as equações 1 e 2 formuladas por Pano e Middlebrooks, 1982.

Para $T < 20\text{ °C}$:

$$C_e = \frac{C_o}{1 + \left[\left(\frac{A}{Q} \right) (0,0038 + 0,000134T) e^{((1,041 + 0,044T)(pH - 6,6))} \right]} \quad (1)$$

Para $T \geq 20\text{ °C}$:

$$C_e = \frac{C_o}{1 + [5,035 \times 10^{-3} \cdot (A/Q) e^{(1,54 \times (pH - 6,6))}]} \quad (2)$$

Em que: C_o é a concentração afluente (mg/L); C_e é a concentração efluente (mg/L), Q é a vazão (m^3/h); A é área superficial da lagoa (m^2); T é a temperatura do líquido ($^{\circ}\text{C}$).

Para a obtenção da temperatura da água, utilizou-se a correlação matemática entre temperatura do ar e do líquido obtida com base em lagoas de estabilização do Brasil, Peru e Jordânia, por Von Sperling, 1986 (Equação 3).

$$T_{\text{água}} = 12,7 + 0,54 \times T_{\text{ar}} \quad (3)$$

A prospecção das temperaturas do ar, radiação e pluviosidade do período analisado foi realizada no site do INMET - Instituto Nacional de Meteorologia.

Resultados e Discussão

A emissão de efluentes contendo nitrogênio amoniacal deve atender aos padrões de lançamentos em corpos d'água estabelecidos pela resolução do CONAMA N° 430/2011 de até 20 mg/L. As figuras 1 e 2, mostram as

remoções alcançadas pela ETE em estudo no segundo semestre de 2021 e no primeiro semestre de 2022, respectivamente.

Figura 1 - Concentrações de amônia na saída do tratamento 2021/2

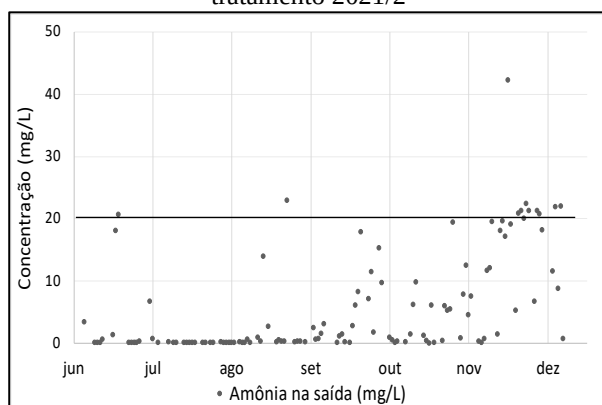
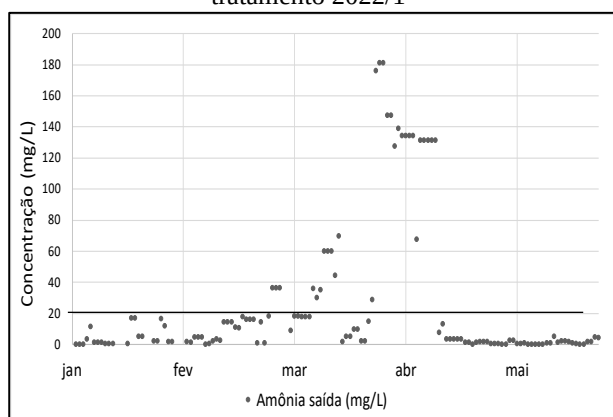


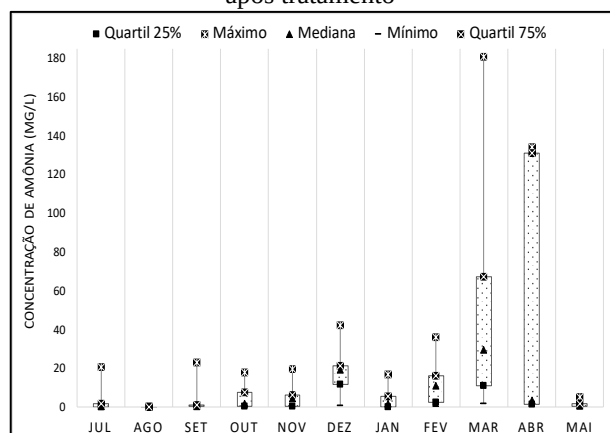
Figura 2 - Concentrações de amônia na saída do tratamento 2022/1



Observa-se que em 2021/2, obteve-se 9,92% do total de dias fora do padrão de lançamento. Já no segundo semestre de 2022, obteve-se maior discrepância, com 20,87% do total de dias fora da qualidade de emissão.

Dentre os meses analisados, os que estavam fora dos padrões de lançamento foram os meses de dezembro de 2021 e os meses de fevereiro a abril de 2022, como pode ser observado na figura 3.

Figura 3 - Boxplot dos dados de saída de amônia após tratamento



No mês de dezembro, em 25% das amostras analisadas os teores de amônia ficaram acima de 21 mg/L. A concentração média de amônia na entrada do tratamento foi de 8,24 mg/L, muito semelhante ao mês de outubro (que foi de 8,25 mg/L). A pluviosidade do mês de outubro também foi alta (263mm), e de valor próximo ao de dezembro (291mm). Porém, em dezembro as vazões de entrada na ETE foram muito altas, chegando a vazões de 172 m³/h, muito acima dos 144,2 m³/h estabelecidos pelo projeto. Dessa forma, devido a estes elevados valores de vazão, é provável que o TDH não tenha sido suficiente para ocorrência das reações bioquímicas, o que acarretou nesta ineficiência de remoção.

Observando as figuras 4 e 5, percebe-se que com o aumento da precipitação, há diluição do efluente, visto que se trata de um sistema aberto. Porém, nos dias após as altas precipitações, o efluente sai da lagoa com maior concentração de amônia, como pode ser visto pelos picos altos de discrepância (entre o valor calculado e o valor real de remoção de nitrogênio) imediatamente após os picos de alta pluviosidade. A perda de eficiência após a diminuição das chuvas provavelmente está ligada ao carreamento dos microrganismos

05 a 07 de julho de 2023
 Ouro Branco, Minas Gerais, Brasil

funcionais das lagoas durante os períodos com chuvas intensas.

Figura 4 - Relação entre pluviosidade e eficiência de remoção de amônia comparada ao modelo teórico no mês de outubro

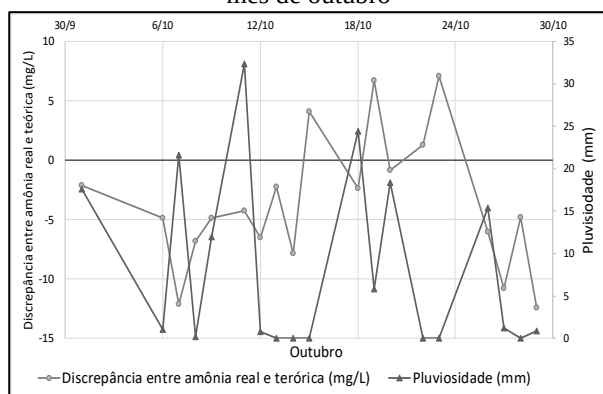
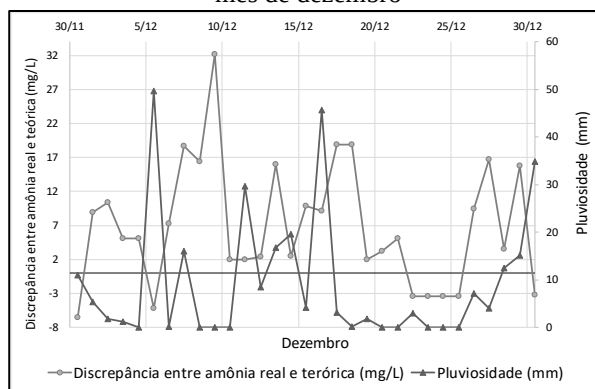
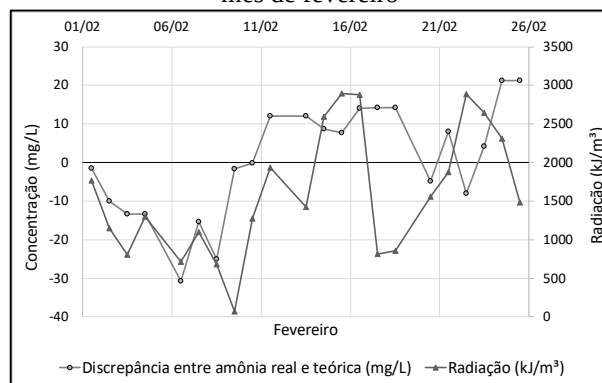


Figura 5 - Relação entre pluviosidade e eficiência de remoção de amônia comparada ao modelo teórico no mês de dezembro



Já em 2022 (Figura 2), os meses que o tratamento apresentou maiores problemas foram do final de fevereiro a abril. O período de 11 a 21/02/2022 foi um período de baixa eficiência da ETE, que apesar de diferir muito do previsto, ainda seguia dentro da faixa de emissão de amônia estipulado pela legislação brasileira. Um pico mais discordante ocorre de 25 a 26/02/2022 em que a concentração de amônia no efluente atinge valores da ordem de 35 mg/L, quase o dobro do permitido pela legislação (Figura 6).

Figura 6 - Relação entre pluviosidade e eficiência de remoção de amônia comparada ao modelo teórico no mês de fevereiro



Isso se deve ao fato de que em uma lagoa de estabilização, o crescimento de algas e a assimilação de nutrientes são afetados por uma união complexa de fatores, tais como disponibilidade de nutrientes, pH, temperatura, vento, intensidade luminosa, e também pela incidência de radiação solar. Sendo os fatores ambientais temperatura externa e a radiação solar os dois fatores que mais influenciam na velocidade de fotossíntese (VON SPERLING, 2002).

Além dos fatores apresentados, a lagoa aerada apresentou um problema operacional, após ter a manta de revestimento danificada. Durante a construção da lagoa aerada, impermeabilizou-se o fundo, a fim de não evitar a contaminação do solo e lençóis freáticos. Com a manta danificada, havia se criado um “bolsão” que impedia a correta aeração do efluente em tratamento. Com o dano à manta, mesmo os parâmetros de pH, vazão, temperatura e entrada de amônia estando dentro dos padrões usuais do sistema, a lagoa foi perdendo eficiência na remoção de amônia, como mostram os gráficos das figuras 7 e 8.

05 a 07 de julho de 2023
 Ouro Branco, Minas Gerais, Brasil

Figura 7 - Relação entre radiação e eficiência de remoção de amônia comparada ao modelo teórico no mês de março

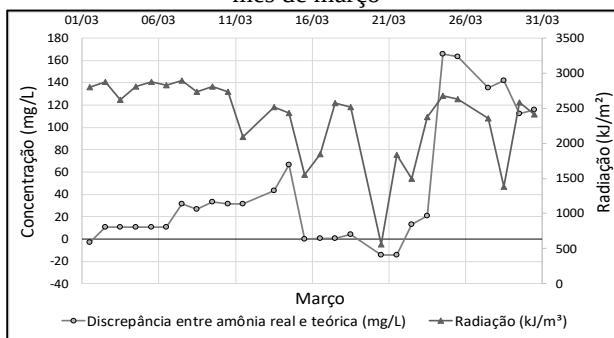
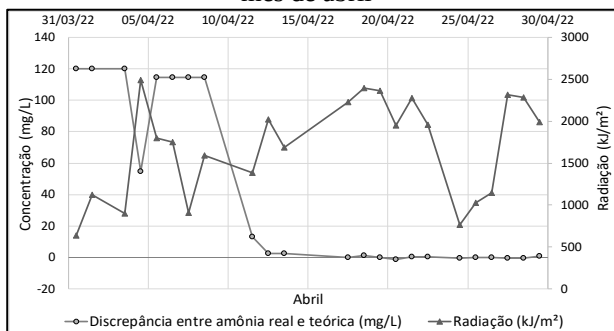
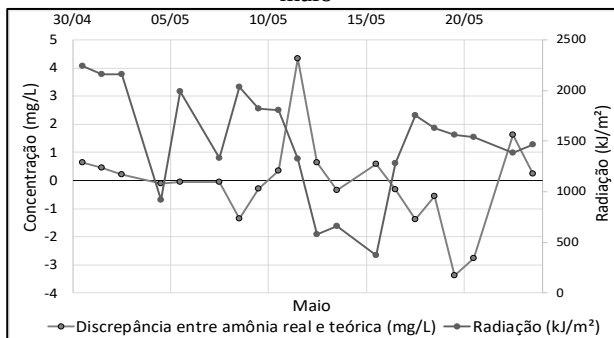


Figura 8 - Relação entre radiação e eficiência de remoção de amônia comparada ao modelo teórico no mês de abril



Com a manutenção da manta a eficiência da ETE volta a se igualar a eficiência teórica. No mês de maio (Figura 9) que continua a funcionar com boa eficiência comparado ao esperado teórico.

Figura 9 - Relação entre radiação e eficiência de remoção de amônia comparada ao modelo teórico no mês de maio



Em todos os casos mostrados nas figuras 7, 8 e 9 é possível perceber a influência da radiação no processo. Os dias nos quais a remoção de

amônia real foi similar ao modelo (menores discrepâncias) coincidem com valores de radiação mais elevados. Demonstrando a importância do crescimento algal na eficiência de remoção de compostos nitrogenados, seja por assimilação ou volatilização (VON SPERLING, 2002).

Conclusão

A ETE atendeu às exigências legais na maioria dos dias analisados, mostrando sensibilidade às mudanças na incidência de radiação solar e de precipitação, fatores determinantes no funcionamento de lagoas, por influenciarem diretamente a fotossíntese, grau de mistura e de arraste de microrganismos.

Os meses com as melhores eficiências de remoção de amônia respondiam às mínimas variações na radiação solar. A pluviosidade causa um efeito de diluição nas lagoas, mas com efeito “rebote” logo após a diminuição das chuvas, devido ao carreamento dos microrganismos. Os problemas mecânicos se mostraram os fatores de maior impacto sobre a eficiência desta ETE, uma vez que, após uma manutenção corretiva a ETE passou a funcionar com quase 100% de eficiência e concordância com o modelo teórico.

Referências

- BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 16 maio de 2011.
- JOHNS, M. Developments in Waste Treatment in the Meat Processing Industry – A Review of Literature. Bioresource Technology, v.54, n.3, p.203-216, 1995.
- MIDDLEBROOKS, E. J., & PANO, A. Nitrogen removal in aerated lagoons. Water Research, v.17, n.10, p.1369-1378, 1982.
- VON SPERLING, M. Lagoas de Estabilização: Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias. 2. ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2002. 196 p.
- ZOPPAS, F. M., BERNARDES, A. M. & MENEGUZZI, A. Parâmetros operacionais na remoção biológica de nitrogênio de águas por nitrificação e desnitrificação simultânea. Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 21, n. 1, p. 29-42, 2016.

ANÁLISE DO EFEITO DE DIFERENTES CONCENTRAÇÕES DE SORO DE LEITE E ESTRUME BOVINO NA PRODUÇÃO DE BIOGÁS

Marcos G. Machado (IC),^{1*} Kaiquy D. de Oliveira (IC),² Robson J. N. Abreu (IC),² Jaqueline de C. Silveira (IC),² Luis G. A. de Oliveira (IC),² Ênio N. de O. Junior (PQ).³

¹ Universidade Federal de São João del-Rei, Curso de Engenharia de Bioprocessos, ² Universidade Federal de São João del-Rei, Curso de Engenharia Química, ³ Universidade Federal de São João del-Rei, Departamento de Química, Biotecnologia e Engenharia de Bioprocessos

*e-mail: marcosmachado0808@gmail.com

Palavras-Chave: (Biogás, Sustentabilidade, Biotecnologia, Tratamento de efluentes, Soro de leite, Biodigestão).

Introdução

Atualmente o Brasil ocupa a terceira posição de maior produtor de leite no mundo (BRASIL, 2023). No processo de fabricação do queijo um subproduto é gerado, chamado de soro de leite. (ZANIN, 2020). Por ter cerca de 55% dos nutrientes do leite, esse subproduto é bastante beneficiado na indústria de alimentos para produção de suplementos e rações animais. (SOUZA, 2021). Quando se faz limpeza dos equipamentos o efluente gerado é composto também por soro, e como ele possui alta carga orgânica deve ser tratado antes de ser lançado ao sistema hídrico novamente. (ZANIN, 2020).

O método de digestão anaeróbia é amplamente utilizado para tratar águas residuais do soro de leite, uma vez que é capaz de converter compostos orgânicos em biogás. Esse processo tem sido considerado uma alternativa ecologicamente correta para o tratamento de efluentes industriais. (SOUZA, 2021).

O objetivo deste trabalho foi analisar o efeito de diferentes concentrações de soro de leite %

(v/v) e estrume bovino % (m/v) na produção de biogás em biodigestores anaeróbicos.

Procedimento Experimental

O soro de leite utilizado neste estudo foi gentilmente cedido pelo Laticínio Vale do Ipê Ltda, localizado na Estrada Ouro Branco-Marimbondo, Km 7, S/N, Zona Rural, Comunidade Água Limpa, na cidade de Ouro Branco – MG. O soro utilizado foi o do tipo doce (acidez titulável: 0,10 a 0,20%; pH: 5,8 a 6,5).

O inóculo de microrganismos foi obtido a partir do estrume bovino coletado em pastagens da zona rural da mesma cidade. As seguintes variáveis dependentes concentração de soro de leite % (v/v) e concentração de inóculo % (m/v) e a variável resposta volume de biogás (ml) foram avaliadas em um planejamento estatístico 2² com triplicata no ponto central, resultando em sete ensaios, conforme apresentado na Tabela 1.

A metodologia de superfície de resposta foi utilizada para avaliar a influência das variáveis estudadas na produção do volume de biogás.

Tabela 1 – Planejamento experimental variando a concentração de inóculo de 5% a 15% do volume total e soro de leite de 10% a 50% do volume total.

Ensaio	Inóculo % (m/v)	Soro de leite % (v/v)
1	5	10
2	15	10
3	5	50
4	15	50
5	10	30
6	10	30
7	10	30

Fonte: Autoria própria (2023).

Na Figura 1 é representado o aparato experimental composto pelos biodigestores (garrafas PET de 500 mL), câmara de armazenamento de biogás (garrafas de polietileno de 1000 ml) e proveta de 250 ml para monitoramento do volume de água expulso das câmaras.

Figura 1 – Aparato experimental



Fonte: Autoria própria (2023).

Resultados e Discussão

Os resultados com os valores de volume de água medidos nas provetas estão descritos na Tabela 2.

Tabela 2- Resultados experimentais contendo o volume final medido em cada proveta em ml e quantos dias

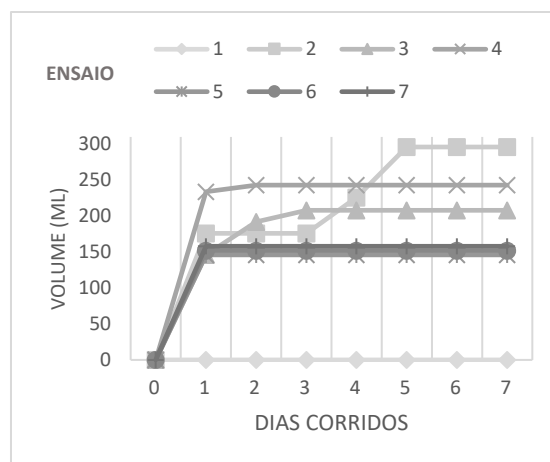
foram preciso para chegar até o máximo de produção de cada ensaio (Dias até estabilização)

Ensaio	Volume final (ml)	Dias até estabilização
1	0	1
2	296	5
3	208	3
4	243	2
5	146	1
6	152	1
7	158	1

Fonte: Autoria própria (2023).

A Figura 2 apresenta o volume acumulado de biogás gerado pelos biodigestores ao longo de sete dias de processo de biodigestão.

Figura 2 – Volume de água medido nas provetas (ml) por dia de batelada



Fonte: Autoria própria (2023).

A Tabela 3 apresenta a ANOVA (Análise de variância) resumida para indicar se o modelo matemático a ser obtido é estatisticamente significativo e preditivo.

Tabela 3 – Análise de Variância (ANOVA) resumida, evidenciando a Soma dos Quadrados (SQ), Grau de Liberdade (GL), Quadrado Médio (QM) e o fator F

Fator	SQ	GL	QM	F
Regressão	52.496,86	4	13.124,22	364,56

Resíduo	72	2	36
Total	52.568,86	6	8.761,47

Fonte: Autoria própria (2023).

Segundo MONTGOMERY (2000), o valor de F a 5% de erro é dado por:

$$F_{0,05} = 19,25 \quad (1)$$

O valor de F calculado na Tabela 3 é dado por:

$$F_{calculado} = 364,56 \quad (2)$$

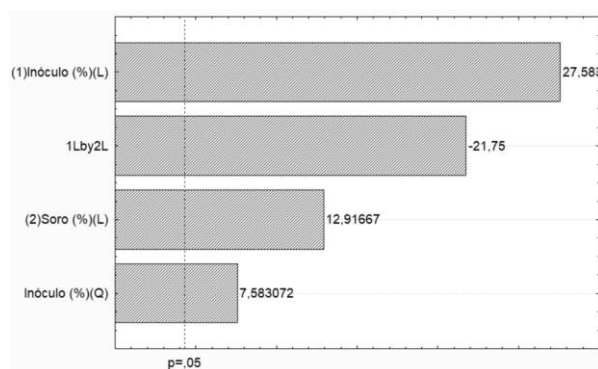
Portanto, $F_{calculado} \gg F_{0,05}$, e como $R^2 = 0,998$ segundo o software STATISTICA podemos inferir que o modelo matemático obtido na Equação (3) é estatisticamente significativo e preditivo.

$$\text{Volume de Biogás (mL)} = -128,4 + 8,3 * I + 1,4 * I^2 + 8,5 * S - 0,6 * S * I \quad (3)$$

Onde: I = Inóculo (%) e S = Soro de leite (%)

Na Figura 3 é apresentado o Diagrama de Pareto indicando quais efeitos foram estatisticamente significativos na produção de biogás.

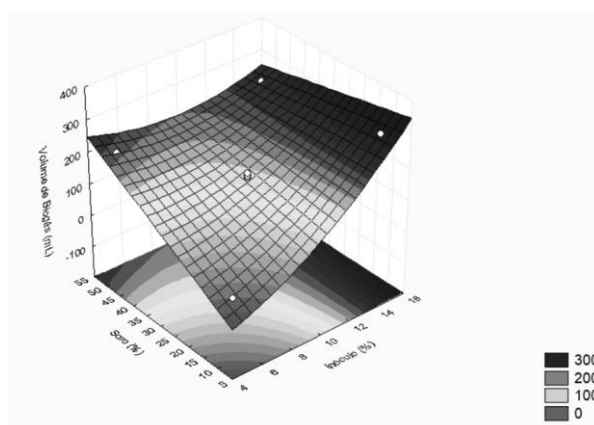
Figura 3 – Diagrama de Pareto



Fonte: Autoria própria (2023).

O resultado do Diagrama de Pareto indica que todos os efeitos foram estatisticamente significativos pois estão à frente da linha de significância $p = 0,05$. Além disso, pode-se inferir que a variável Inóculo (1L) apresenta um efeito linear mais significativo e positivo na produção de biogás do que a variável Soro (2L), sendo que o primeiro possui um impacto duas vezes maior do que o segundo.

Figura 4 - Superfície de resposta



Fonte: Autoria própria (2023).

Na Figura 4 pode-se observar que a quantidade de biogás produzido foi maior em ensaios com 10% (v/v) de soro de leite e 15% (m/v) de inóculo, porém com quantidades maiores de soro de leite também há uma boa produção de biogás. Portanto, fica claro que a variável inóculo tem uma significância maior do que a variável soro de leite na produção de biogás.

Quando comparados aos dados obtidos com 100 ml de volume útil nos biodigestores na Figura 5 observa-se uma produção maior de biogás com o volume útil de 500 ml.

Figura 5 - Volume total de biogás produzido nos biodigestores de 100ml durante 07 dias.

Ensaio	Inóculo (% m/v)	Soro de leite (% v/v)	Volume de biogás (mL)
1	5 (-1)	10 (-1)	150
2	15 (+1)	10 (-1)	40
3	5 (-1)	50 (+1)	98
4	15 (+1)	50 (+1)	0
5	10 (0)	30 (0)	88
6	10 (0)	30 (0)	114
7	10 (0)	30 (0)	101

Fonte: MACHADO et al (2023).

Conclusão

O estudo concluiu que o aumento do volume útil dos biodigestores promoveu maior produção de biogás quando comparado ao estudo anterior com volume útil menor. Ademais, conclui-se que o estrume bovino é uma opção viável e sustentável de geração de energia. O processo de biodigestão contribui também para o tratamento dos efluentes altamente poluentes, já que os microrganismos presentes neles utilizam a carga orgânica para a produção de biogás. A eficiência dessa produção de biogás poderá ser aprimorada em estudos futuros, com variação da concentração de inóculo e soro do leite, além de análises mais aprofundadas dos efluentes para avaliar seu tratamento sob diferentes aspectos como DQO, DBO, ph, alcalinidade e ácidos graxos voláteis.

Agradecimentos



Referências

BRASIL. **Ministério da Agricultura e Pecuária**. Mapa do Leite. 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/producao-animal/mapa-do-leite#:~:text=O%20Brasil%20%C3%A9%20o%20terceiro,de%204%20milh%C3%B5es%20de%20pessoas.> Acesso em: 05 mai. 2023.

MACHADO, M. G.; OLIVEIRA, K. D. DE; SANTOS, M. G. E; ABREU, R. J. N.; OLIVEIRA JUNIOR, E. N. MONITORAMENTO DA PRODUÇÃO DE BIOGÁS A PARTIR DE DIFERENTES CONCENTRAÇÕES DE SORO DE LEITE E ESTRUME BOVINO EM BIODIGESTORES. Anais do III Congresso Brasileiro de Biotecnologia On-Line, **Revista Multidisciplinar de Educação e Meio Ambiente**, v. 4, n. 2, p. 124-129, 30 mar. 2023. Disponível em: <https://ime.events/conbiotec2023/pdf/15504>. Acesso em: 30 de março de 2023.

MONTGOMERY, D. C.; RUNGER, G. C.; CALADO, V. **Estatística Aplicada E Probabilidade Para Engenheiros**. Grupo Gen-LTC, 2000.

SOUZA, C. F. de. **Pós tratamento por eletrocoagulação de efluente do processamento do soro de leite tratado por reator anaeróbico**. 2021. 76 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciência e Tecnologia de Alimentos, Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, RS, 2021.

ZANIN, A. **Tratamento Anaeróbico em Escala Piloto de Efluente de Beneficiamento do Soro de Leite**. 2020. 102 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciência e Tecnologia de Alimentos, Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, RS, 2020.

ANÁLISE DO CRESCIMENTO DA MICROALGA *CHLORELLA SOROKINIANA* NA PRESENÇA DE DETERGENTE COMERCIAL

Laura A. Ferreira (IC), ^{1*} Marina G. e Santos (IC), ¹ Amanda C. C. de Araújo (IC), ¹ Tainá C. I. da Silva (IC), ¹ Pedro H. E. Villar (IC), ¹ Guilherme A. Silva (IC), ² Jaqueline C. de Souza (IC), ² Ênio N. de O. Junior (PQ).³

¹ Universidade Federal de São João del-Rei, Curso de Engenharia Bioprocessos, ² Universidade Federal de São João del-Rei, Curso de Engenharia de Química, ³ Universidade Federal de São João del-Rei, Departamento de Química, Biotecnologia e Engenharia de Bioprocessos.

*e-mail: laura.araujofer@gmail.com

Palavras-Chave: (Microalga, Sustentabilidade, Tratamento de efluentes, Detergente, Surfactantes).

Introdução

Microalgas são elementos de um grupo muito heterogêneo de organismos, predominantemente aquáticos e, geralmente, microscópicos unicelulares, procariontes ou eucariontes, que podem formar colônias, com pouca ou nenhuma diferenciação celular além de serem dotados de pigmentos responsáveis por coloração variada e por metabolismo fotoautotrófico (RAVEN *et al.*, 2007).

O cultivo de microalgas autotróficas, mais especificamente fotoautotrófico, utiliza a luz e carbono inorgânico do ar como fonte de energia (JIANG *et al.*, 2011; FRANCO *et al.*, 2013). Biomassa e oxigênio são as saídas do sistema. Esse tipo de biomassa tem-se mostrado útil para diversas aplicações, incluindo a biorremediação de águas residuárias (DE MENDONÇA *et al.*, 2018; SANTOS *et al.*, 2021; ALVAREZ *et al.*, 2021; FERNÁNDEZ *et al.*, 2021; FERREIRA *et al.*, 2021).

Tais descobertas destacam o potencial das microalgas, em especial a *Chlorella sorokiniana*, como agentes de biodegradação de compostos químicos nocivos ao meio ambiente. No contexto atual, devido à

preocupação com a sustentabilidade, esses resultados são encorajadores e abrem novas possibilidades para a aplicação de microalgas na remediação ambiental e na produção de biomateriais renováveis.

Sendo assim, o objetivo é avaliar o potencial de degradação de surfactantes presentes em águas residuárias provenientes de detergentes comerciais, utilizando a microalga *Chlorella sorokiniana* como agente de biorremediação. A proposta é contribuir para o tratamento dos efluentes garantindo a preservação do meio aquático, por meio de uma estratégia sustentável e eficiente, que atenuie os efeitos nocivos ao ambiente.

Procedimento Experimental

A espécie de microalga utilizada neste experimento foi a *Chlorella sorokiniana* e o meio mineral aplicado como fonte de macro e micronutrientes foi o Inthorn *et al.* (2002). Foi utilizado um detergente líquido comercial, amplamente consumido na limpeza doméstica, sendo a principal fonte de carbono para o crescimento mixotrófico da microalga. Por meio de um estudo prévio, a concentração ótima de detergente a ser aplicada no experimento é de 0,012 g/L. O princípio ativo

presente na composição do detergente é o dodecilsulfonato de sódio (LAS), este composto foi o surfactante a ser degradado pela microalga. A análise de surfactantes totais, foi realizada por meio do método de azul de metileno, conhecido como MBAS (APHA, 1998). O monitoramento do crescimento microalgal foi operado por espectrofotometria a um comprimento de onda (λ) de 600nm. A conversão de absorbância em concentração de biomassa microalgal (g/100mL) foi feita por meio de uma curva analítica.

Resultados e Discussão

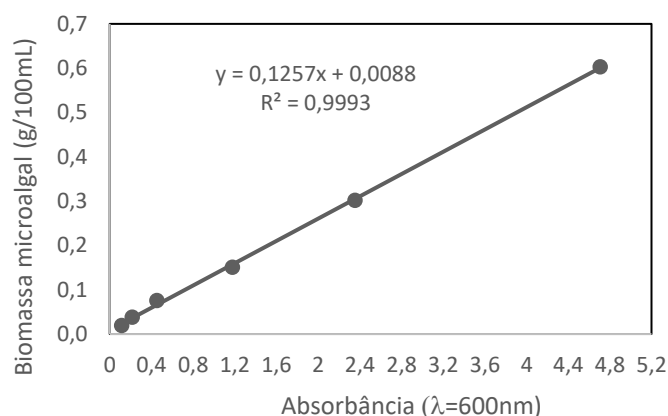
Na Figura 1 está representada a curva analítica que relaciona a concentração de biomassa microalgal da *Chlorella sorokiniana* em função da absorbância.

Tendo em vista que o coeficiente de correlação R^2 da equação da reta foi aproximadamente 1, os valores de absorbância monitorados durante o crescimento microalgal que foram convertidos em concentração microalgal (g/100mL) de meio são valores bastante confiáveis.

Na Figura 2, estão representados os valores de concentração microalgal (g/100mL) monitorados ao longo de 24 dias de cultivo na presença de detergente líquido como única fonte de carbono.

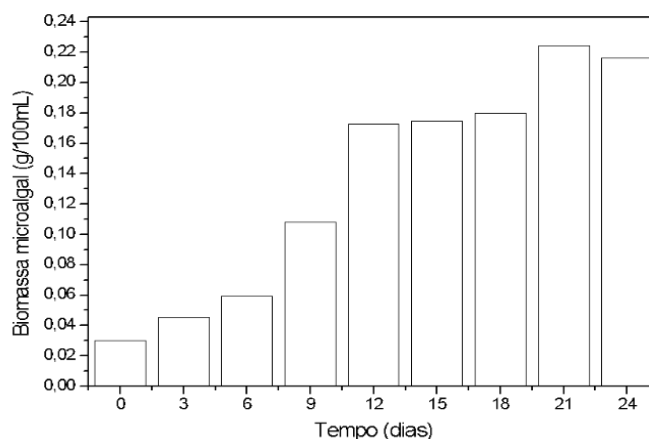
Pode-se observar na Figura 2 que houve aumento do crescimento microalgal ao longo de 24 dias de monitoramento. Vale ressaltar que a fase de adaptação durou em torno de 1 dia e a partir do dia 2 já observou crescimento microalgal. Os dados apresentados foram coletados a cada 3 dias e a fase exponencial de crescimento foi observada entre os dias 03 e 12.

Figura 1 – Curva analítica da concentração de biomassa microalgal em função da absorbância a um comprimento de onda de 600nm.



Fonte: autoria própria (2023).

Figura 2 – Monitoramento da biomassa microalgal de *Chlorella sorokiniana* (g/100mL) durante 24 dias de cultivo a temperatura média de 25°C



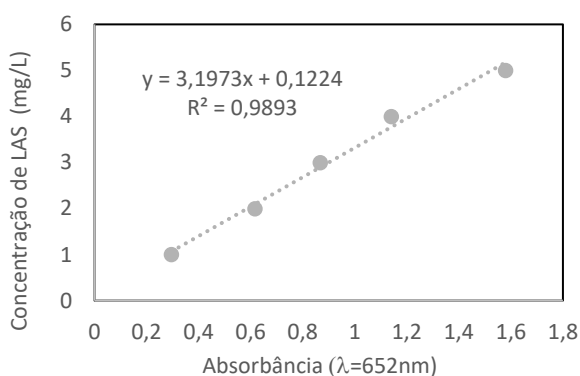
Fonte: autoria própria (2023).

A partir do 12º dia de cultivo, pode-se observar uma tendência de estabilização do crescimento, com leve aumento observado nos dias 21 e 24. A concentração do inóculo no dia 0 foi de 0,030 g/100mL, enquanto, após doze

dias, a concentração de biomassa aumentou para 0,173 g/100mL, o que significou um aumento de 82,5% da concentração microalgal. Já o aumento observado após 24 dias de cultivo foi de 86,0%, ou seja, do 12º ao 24º dia o aumento de biomassa foi de apenas 3,5%. Nos primeiros 12 dias de experimento, pôde-se notar que, durante a fase exponencial de desenvolvimento microalgal, a média de crescimento celular foi de 6,88%/dia. Por outro lado, a média de crescimento celular ao longo dos 12 últimos dias de cultivo foi de apenas 0,30%/dia.

Na Figura 3 é representada a curva analítica da concentração de LAS (linear alquil sulfonato) mg/L em função da absorbância a um comprimento de onda de 652 nm.

Figura 3 – Curva analítica do método de MBAS da concentração de LAS em função da absorbância.



Fonte: autoria própria (2023).

Conforme observado na Figura 3, a curva analítica do método de MBAS apresentou um coeficiente de determinação (R^2) aproximadamente igual a 1, o que torna o método confiável para analisar o teor de surfactante total ao longo do crescimento microalgal.

Tabela 1 - Concentrações de surfactantes totais analisados nos dias 0 e 24 e a redução da concentração observada neste período

Dias	Concentração (mg/L)	Redução (%)
0	4,38	71,7
24	1,24	

Fonte: autoria própria (2023).

Na Tabela 1, são listados os valores das concentrações de surfactantes totais analisados por meio do método de MBAS, e pode-se observar que houve uma redução significativa das concentrações de 4,38 para 1,24 mg/L, respectivamente nos dias 0 e 24. A redução calculada foi de aproximadamente 72% ao longo de 24 dias de cultivo, demonstrando que a microalga *Chlorella sorokiniana* foi capaz de utilizar o LAS como fonte única de carbono em condições mixotróficas.

De forma análoga, COSTA (2016), em seu estudo, utilizou três espécies de fungos (*Aspergillus aculeatus*, *Penicillium chrysogenum* e *Penicillium crustosum*) para a remoção de LAS, como uma forma de tratamento biológico. O fungo *Penicillium crustosum* apresentou remoção de 61% a 85% de LAS, uma faixa de redução próxima ao resultado do tratamento feito pela *Chlorella sorokiniana*. Apesar dos dois microrganismos possuírem mecanismos diferentes de degradação, tanto a microalga quanto o fungo utilizaram a região orgânica do surfactante para suprir a demanda energética.

Conclusão

Com base nos resultados apresentados neste estudo, conclui-se que, as microalgas, especialmente a *C. sorokiniana*, são uma opção promissora e eficaz para a remoção de surfactantes de águas residuárias. O comparativo entre os fungos e as microalgas

indicam que as biotecnologias desenvolvidas neste trabalho, são eficazes para a retirada dos surfactantes.

Além de contribuir para a sustentabilidade ambiental, a biomassa das microalgas pode ser utilizada para produção de biodiesel, o que aumenta ainda mais a viabilidade econômica da biorremediação com microalgas.

Agradecimentos



Referências

ALVAREZ, A.L., WEYERS, S.L., GOEMANN, H. M., PEYTON, B. M., GARDNER, R. D. **Microalgae, soil and plants: A critical review of microalgae as renewable resources for agriculture**. Algal Research, v. 54, A102200, 2021.

COSTA, M. F.; CARVALHO, B. M. A.; OLIVEIRA, A. M.; OLIVEIRA JR, E. N.;" **BIODEGRADAÇÃO DO SURFACTANTE LINEAR ALQUILBENZENO SULFONATO DE SÓDIO UTILIZANDO FUNGOS FILAMENTOSOS**", p. 1336-1340. In: Anais do XX Congresso Brasileiro de Engenharia Química - COBEQ 2014 [Blucher Chemical Engineering Proceedings, v.1, n.2]. São Paulo: Blucher, 2015.

DE MENDONÇA, H.V., OMETTO, J.P.H.B., OTENIO, M.H., MARQUES, I.P.R. REIS, A.J.D. **Microalgae: mediated bioremediation**

and valorization of cattle wastewater previously digested in a hybrid anaerobic reactor using a photobioreactor: comparison between batch and continuous operation. Science of the Total Environment. v. 633, p. 1-11, 2018.

FERREIRA, A., MELKONYAN, L., CARAPINHA, S., RIBEIRO, B., FIGUEIREDO, D., AVETISOVA, G., GOUVEIA, L. **Biostimulant and biopesticide potential of microalgae growing in piggery wastewater**. Environmental Advances, v. 4, 2021.

FRANCO A. L. C. LÔBO, F P., CRUZ, R. S. DA, TEIXEIRA, C. M. L.L. ALMEIDA NETO, J.A.DE, MENEZES, R.S. **Biodiesel de microalgas: avanços e desafios**. Química Nova, 36(3), 437-448. 2013. <<https://doi.org/10.1590/S0100-404220113000300015>>.

JIANG, L., LUO, S., FAN, X., YANG, Z., GUO, R. **Biomass and lipid production of marine microalgae using municipal wastewater and high concentration of CO₂**: **Applied Energy**, 88 (10) 2011, p.3336-3341 CISSN 0306-2619, <[https://doi.org/10.1016/j-apenergy.2011.03.043](https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2011.03.043)>

SANTOS, M.G.B, DUARTE, R.L., MACIEL, A.M., ABREU, M., REIS, A., MENDONÇA, H.V. **Microalgae Biomass Production for Biofuels in Brazilian Scenario: A Critical Review**. BioEnergy Research, v.14, p.in 23-42, 2021.

RAVEN, P. H.; EVERT, R. F; EICHHORN, S. E. **Biologia Vegetal**. 7 ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, p. 906, 2007.

APLICAÇÃO DE REDES NEURAIAS ARTIFICIAIS NA PERFORMANCE DE CÉLULAS DE ENERGIA MICROBIANA

Marco Aurélio Andrade Cacheado^{1*} (PG), Isabel Cristina Rodrigues Braga² (PQ), Edson Romano Nucci^{1,2} (PQ).

¹Universidade Federal de São João del-Rei, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química (PPGEQ),

²Universidade Federal de São João del-Rei, Departamento de Química, Biotecnologia e Engenharia de Bioprocessos.

*e-mail: maucacheado@hotmail.com

Palavras-Chave: *Redes neurais, sistemas bioeletroquímicos, Tratamento de efluente.*

Introdução

A crescente geração de efluentes, tanto industriais quanto domésticos, também é objeto de preocupação, corroborado pelo crescimento populacional e pelas diversas propostas de políticas públicas relacionadas ao tema, principalmente legislações ambientais mais restritivas para destinação das águas residuais (NATH et al., 2021).

Os principais impactos ambientais da falta de tratamento e destinação incorreta destes efluentes estão relacionados à segurança da saúde pública e, consequentemente, ao meio ambiente. Apesar de vários dos métodos amplamente utilizados de tratamentos de efluentes apresentarem bons resultados, há a desvantagem comum em sua maioria, que perdem a energia química contida nos efluentes. Desse modo, se tem buscado, nas últimas décadas, desenvolver tecnologias de tratamento de efluentes que sejam capazes de recuperar parte da energia contida nos resíduos que se deseja tratar (NATH et al., 2021).

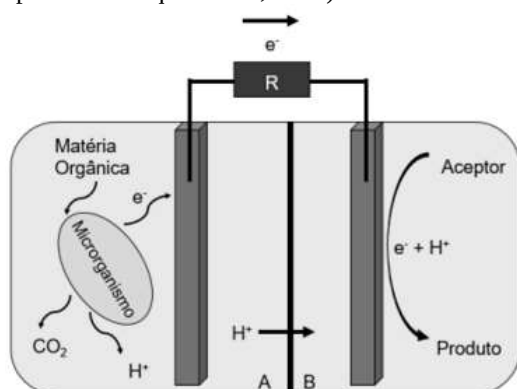
Nesse cenário, as células de energia microbiana (CEM) surgem como uma tecnologia em potencial, pois são dispositivos que, simultaneamente, realizam o tratamento do efluente biologicamente e geram energia elétrica (GUDE, 2015).

Células de Energia Microbianas são definidas como reatores contendo microrganismos capazes de converter energia química em energia elétrica, a partir de suas reações catalíticas (LOGAN, 2008).

A primeira observação de geração potencial elétrico por bactéria foi descrita no início do século XX, porém pouco avançou-se no conhecimento do sistema até a proposição de associar a geração de eletricidade ao tratamento de resíduos no final do mesmo século (LOGAN, 2008). Desde então, a pesquisa com sistemas bioeletroquímicos aplicado ao tratamento de efluentes sanitários e industriais vem crescendo exponencialmente.

Uma representação esquemática de CEM é mostrada na Figura 1. As reações de oxidação da matéria orgânica na câmara anódica da CEM geram íons H^+ , que serão transportados para a câmara catódica, através de uma membrana permeável e ocorrerão as reações de redução do aceptor final de elétrons. São gerados também elétrons, estes são transferidos para o outro compartimento, através de um circuito elétrico externo, até o catodo, no qual participarão das reações de redução, gerando outros produtos reduzidos dependendo da composição do meio desta câmara, tais como água e hidrogênio molecular (LIMA, 2010).

Figura 1: Representação esquemática de uma CEM microbiana típica. A: câmara anódica. B: câmara catódica. Câmaras separadas por uma membrana permeável a íons H^+ . R: representa a resistência externa (Adaptado de Moqsud et al., 2013)



Cita-se como aplicação mais promissora das CEM o tratamento de efluentes, no qual o substrato dos microrganismos é a matéria orgânica proveniente de águas residuais para converter esta energia em eletricidade. A diferença de potencial gerada ainda é suficiente para reduzir os custos operacionais nesses processos de tratamento. Em suma, a CEM é considerada uma tecnologia autossustentável pois além de tratar efluente, consegue realizar este gerando diferença de potencial que abastece o próprio sistema (MAYEN et al., 2018).

Otimizar o funcionamento destas estruturas é fundamental para melhor utilização e melhores resultados de potencial elétrico e de redução de matéria orgânica. Modelos matemáticos, estatísticos e computacionais podem ser ferramentas úteis, em suas diferentes abordagens, para simulação e otimização dos processos, além da avaliação de parâmetros. Como exemplo, tem-se as redes neurais artificiais (RNAs), que são mecanismos de modelagem empírica inspirados nos sistemas nervosos biológicos, na habilidade de processamento e aprendizagem do cérebro humano. Mecanismos envolvendo RNAs são

largamente aplicados para a modelagem e capacidade de resolver problemas complexos, aplicando a habilidade em aprender, a não-linearidade e o seu poder de generalização (HAYKIN, 2007).

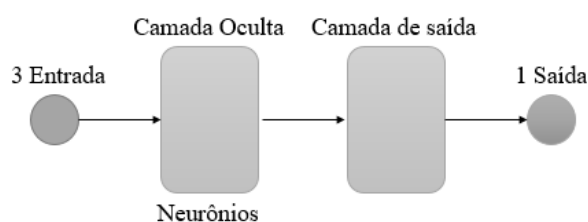
Deste modo, o objetivo deste trabalho foi avaliar a arquitetura de uma RNA no desempenho das CEM. Dessa forma, pretendeu-se aplicar as RNA para simular o desempenho de CEM em diferentes condições operacionais, ou seja, avaliar as camadas intermediárias, quantidade de neurônios e função de transferência.

Metodologia

Para a aplicação e avaliação das RNAs nas CEM, foi utilizado uma rede neural do tipo *feedforward*, com algoritmo de treinamento *Levenberg-Marquardt* programado e realizado em MATLAB® 15 (MathWorks). A função de ativação utilizada neste trabalho foi a *sigmoid* e um fator de precisão de 10^{-5} . Os dados utilizados para treinamento e validação para a RNA foram obtidos por meio de busca na literatura.

Segundo Cardozo (2021), as variáveis que mais interferem nas CEM são: a área do anodo (cm^2), resistência elétrica externa (Ω) e volume (mL) e estas foram as escolhidas como variáveis de entrada para as RNAs; e como variável de saída, foi escolhida a variável Densidade de Potência (mWm^{-2}). A Figura 2 ilustra a arquitetura utilizada.

Figura 2: Estrutura da RNA utilizada.



Foram utilizados, para testes, redes com 15, 30, 50, 90, 100, 130, 150 e 200 neurônios para avaliar a melhor performance, com melhores ajustes de treinamento, validação e ajuste total e menores erros associados. Avaliou-se também o gráfico de respostas experimentais e respostas do modelo ótimo.

Resultados e Discussão

Na criação das redes neurais, obteve-se os dados dispostos na Tabela 1.

Tabela 1: Resultados das arquiteturas de redes neurais encontrados.

NN ^[1]	It ^[2]	Rt ^[3]	Rv ^[4]	RT ^[5]	G ^[6]
15	8	0,61	0,56	0,48	0,022
30	6	0,03	0,02	0,21	0,492
50	18	0,92	0,90	0,66	0,063
90	17	0,93	0,71	0,88	0,035
100	49	0,91	0,78	0,90	0,0004
130	7	0,74	0,01	0,66	0,016
150	7	0,61	0,20	0,45	0,155
200	9	0,92	0,65	0,69	0,030

^[1] Número de Neurônios. ^[2] Número de Interações. ^[3] R-quadrado de treinamento. ^[4] R-quadrado de validação. ^[5] R-quadrado total. ^[6] erro médio

Com os dados dispostos na Tabela 1, observou-se que o melhor ajuste da rede se deu com a configuração de 2 camadas, sendo uma camada com 100 neurônios e a outra camada de saída, com 49 interações e R^2 de 0,91 no ajuste do treinamento, 0,78 no ajuste da validação e 0,90 no ajuste com todos os dados experimentais avaliados, respectivamente.

As Figuras 3, 4 e 5 apresentam os gráficos de ajustes de treinamento, validação e total do modelo ótimo, respectivamente.

Pode-se observar também pela Tabela 1 que, quando se utilizou 200 neurônios na camada oculta na etapa de treinamento, os resultados na etapa de validação foram inferiores quando se compara com a utilização de 90 e 100 neurônios. Esta característica pode ser

justificada quando ocorre um *overtraing* e a Rede Neural perde a capacidade de generalizar.

Figura 3: Ajuste do treinamento da rede neural com 100 neurônios.

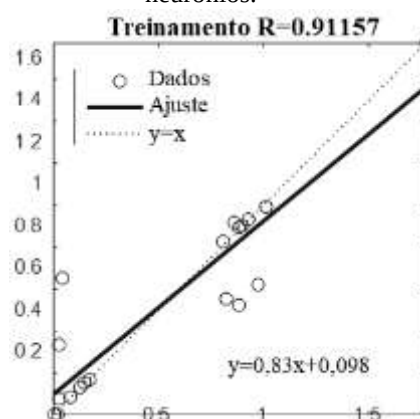


Figura 4: Ajuste da validação da rede neural com 100 neurônios

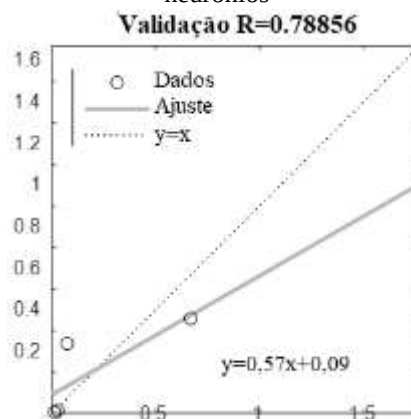
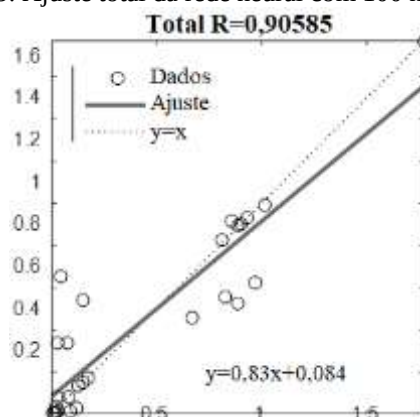
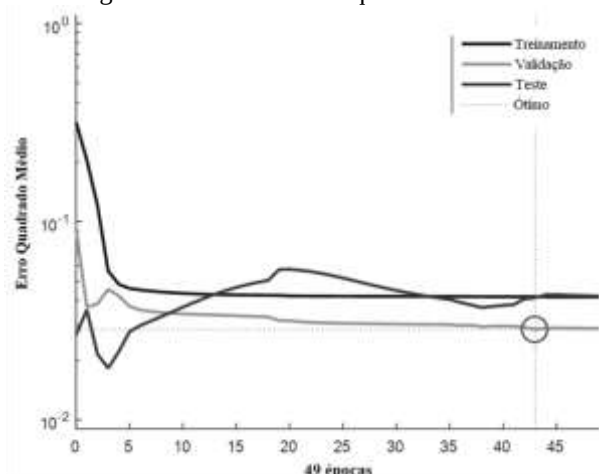


Figura 5: Ajuste total da rede neural com 100 neurônios.



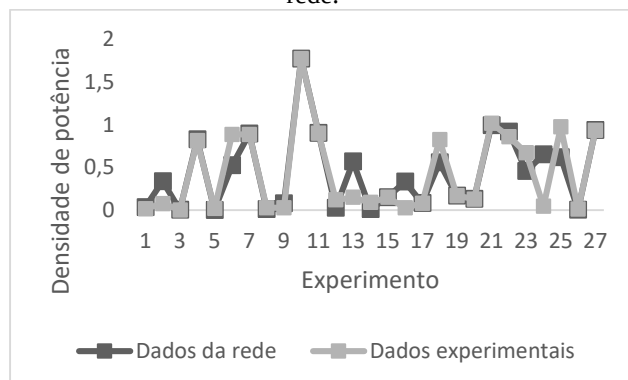
A Figura 6 apresenta o resultado da média dos erros quadrados de treinamento, validação e teste a cada época da rede neural otimizada. Em análise aos dados, observa-se uma diminuição destes erros ao longo das interações, conforme esperado. Ainda, próximo à interação de número 42 tem-se o ótimo dos erros, no qual a média não apresenta mais variações significativas.

Figura 6: Gráfico do erro quadrado médio.



A Figura 7 apresenta os resultados pela RNA otimizada, em comparação dos dados utilizados no treinamento e com a resposta do modelo obtido na rede neural.

Figura 7: Gráfico dos dados experimentais e resposta da rede.



Corroborando com o observado anteriormente, se pode observar que os dados reais são aproximados dos dados obtidos na rede, concluindo-se que a rede neural composta por 2 camadas e 100 neurônios apresentou-se promissora na modelagem na otimização da célula de energia microbiana com os parâmetros analisados.

Conclusão

A melhor arquitetura encontrada para utilização nas CEM foi utilizando uma Rede Neural com 3 entradas (área do anodo, resistência elétrica externa e volume), uma camada oculta com 100 neurônios, *sigmoid* como função de ativação e a variável de saída com a resposta para Densidade de Potência (mWm^{-2}) com um R^2 de 0,78 na validação.

Referências

- CARDOZO, M.H.A. de L. Avaliação estatística da influência de parâmetros operacionais no desempenho de células de energia microbiana (CEM). TCC (Graduação) – Curso de Engenharia de Bioprocessos, UFSJ, Ouro Branco, 2021.
- GUDE, V.G. Energy and water autarky of wastewater treatment and power generation systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 45, p. 52-68, 2015.
- HAYKIN, S., MOHER, M. *Introduction to analog and digital communications*. John Wiley & Sons, Inc., 2007.
- LIMA, C.M.R. *Processos Biológicos na Captação e Transformação de Matéria e Energia*. Eixo Biológico, módulo II, unidade 12, 2010. 38 f. Universidade Estadual de Santa Cruz – UESC, Ilhéus, 2010.
- LOGAN, B.E. *Microbial fuel cells*. John Wiley & Sons, 2008.
- MAYEN, M.D.L.A.G. *et al.* Geração de eletricidade a partir de soro de queijo utilizando uma célula de combustível microbiana. *Revista Brasileira de Energias Renováveis*, v. 7, n. 2, p. 257-265, 2018.
- MOQSUD, M.A. *et al.* Microbial fuel cell (MFC) for bioelectricity generation from organic wastes. *Waste Management*, v. 33, n. 11, p. 2465-2469, 2013.
- NATH, A. *et al.* A review natural polymeric coagulants in wastewater treatment. *Materials Today: Proceedings*, v. 46, p. 6113-6117, 2021.

AVALIAÇÃO DE MEMBRANAS SEPARADORAS EM CÉLULAS DE ENERGIA MICROBIANA COM BACTÉRIAS REDUTORAS DE SULFATO

Isabela Guimarães Assumpção (IC),^{1*} Isabel Cristina Braga Rodrigues (PQ)²

¹ Universidade Federal de São João del-Rei, Graduação em Engenharia Química

² Universidade Federal de São João del-Rei, Departamento de Química, Biotecnologia e Engenharia de Bioprocessos

*e-mail: isabelcbraga@ufsj.edu.br

Palavras-Chave: *Sistemas Bioeletroquímicos, PVA, ágar, látex, microfiltração, MFC membrane less*

Introdução

A crescente industrialização exige uma elevada demanda por recursos energéticos para suprir as necessidades produtivas que implica na conscientização sobre o uso racional dos recursos naturais e suas limitações, no melhor gerenciamento de resíduos que necessitam de tratamento e disposição adequada e o desenvolvimento de tecnologias mais sustentáveis (MANSOOR et al., 2013).

As células de energia microbianas (CEM) são uma opção promissora para o tratamento de efluentes líquidos industriais, pois estão atreladas às alternativas de fornecimento de energia renovável (ARAÚJO, 2015). Nestes sistemas ocorre a conversão da energia química, proveniente da degradação da matéria orgânica (ou inorgânica) pelos microrganismos exoeletrogênicos, em energia elétrica (LOGAN et al., 2007). Esses reatores são compostos por duas câmaras, uma câmara onde ocorrem as reações de oxidação (anódica) e uma câmara onde ocorrem as reações de redução (catódica). Os elétrons gerados pela oxidação do substrato são transferidos para uma espécie oxidada na câmara catódica, através de um circuito externo, gerando diferença de potencial. Separando estes compartimentos é colocada uma membrana permeável, que além de atuar como um separador físico, auxilia no equilíbrio químico do sistema permitindo a troca de íons entre as duas câmaras (LOMONACO, 2015).

A escolha do separador entre as câmaras é um fator que pode determinar tanto a eficiência, quanto o custo dessa tecnologia. Algumas características presentes na membrana, como alta permeabilidade a prótons, baixo coeficiente de difusão de oxigênio e resistência mecânica, conferem à CEM melhor desempenho e eficiência, além disso, o custo destas membranas também impacta no desenvolvimento da tecnologia (MA, 2014). Nesse sentido, o presente trabalho teve como objetivo o estudo de membranas separadoras de baixo custo em CEMs associando a geração de energia ao tratamento de efluente com alto teor em matéria orgânica e sulfato.

Procedimento Experimental

1. Construção e operação das CEMs

Os reatores foram montados utilizando cilindros de PVC soldáveis de 40 mm de diâmetro e 210 mm de comprimento e volume útil de 270 mL. As câmaras dos reatores foram conectadas entre si utilizando junções do tipo “luva”, na qual foram fixados os diferentes tipos de membranas, com auxílio de um anel de PVC de mesmo diâmetro do tubo. Para dar suporte a membrana, duas telas de poliéster foram utilizadas. Os eletrodos constituídos por barras de grafite, com 9,6 mm de espessura e 55 mm de altura, foram posicionados paralelamente às membranas separadoras. Os contatos elétricos foram feitos por fios de cobre

de 1,5 mm e o circuito externo foi fechado por resistor de 10 k Ω .

A câmara anódica foi acrescida de 50g de carvão ativado granular; 130 mL de meio de cultivo Postgate C modificado, como descrito por Bertolino et al. (2012), utilizando a lactose como fonte de carbono. A concentração teórica inicial de DQO foi de 4000 mgO₂ L⁻¹ e a de sulfato foi de 2000 mg L⁻¹; 20 mL de um inóculo enriquecido em BRS obtido de um reator UASB de escala laboratorial. Foi borbulhado N₂ durante 5 min após inoculação, a fim de remover quantidade residual de O₂.

As células foram incubadas a 32°C e monitoradas durante 60 dias através da utilização de um multímetro (Klein Tools). O experimento foi dividido em fase I e fase II. Ao final de 30 dias foram retirados 100 mL de meio das células e repostos meio novo (final da fase I e início da fase II), sem haver nova inoculação. A fase II também teve duração de 30 dias. Ao final de cada ciclo de alimentação das CEM foi determinada a DQO e a concentração de sulfato residuais, o pH e a condutividade do meio.

As diferentes membranas testadas em duplicatas foram: membrana de microfiltração de nitrocelulose 0,22 μ m; placa de ágar de 5 mm de espessura; placa de ágar com KCl 3 mol L⁻¹ de 5 mm de espessura; látex; álcool polivinílico (PVA) e foi feito um experimento de controle sem membrana.

2. Construção das Membranas

O protocolo de confecção da membrana de ágar e ágar com KCl são similares. Na primeira, foi feita uma solução de ágar 1,5% m/v, dissolvida com água destilada, sobre aquecimento e agitação. Na segunda, o ágar é dissolvido em uma solução de KCl 3,0 mol L⁻¹. As junções tipo luva, utilizadas na configuração da CEM, foram utilizadas como molde para produção das membranas.

Para confecção da membrana de PVA foi feita uma solução 10% m/v de álcool

polivinílico com água destilada (volume final de 40 mL), sobre agitação (200 rpm) e aquecimento (máximo 80 °C) até a dissolução. Em seguida a solução é resfriada até 30 °C, ainda sob agitação. Após o resfriamento, o pH é corrigido com solução de HCl 1,0 mol L⁻¹ até 3,8. Por fim, foi adicionada uma solução de glutaraldeído 5% v/v, agitando ainda por 10 minutos, posteriormente esta solução foi vertida em placas de Petri (20 mL em cada placa) e colocadas em estufa a 37 °C por 48h. Posteriormente, a membrana foi cortada no tamanho adequado.

A membrana de látex foi confeccionada através do corte de luvas de procedimento sem talco. A membrana de microfiltração utilizada foi uma membrana de nitrocelulose (0,22 μ m). Ambas foram cortadas no tamanho adequado utilizando a conexão do tipo luva como molde.

As análises de DQO e SO₄²⁻ foram realizadas segundo *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater* (APHA, 1998), sendo as determinações realizadas em triplicatas.

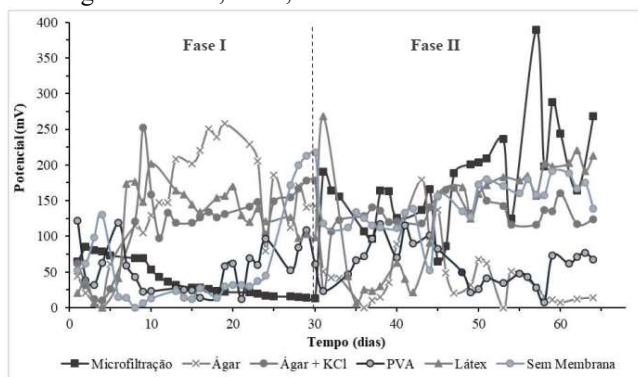
Resultados e Discussão

Os dados obtidos referentes ao potencial produzido com o tempo, na fase I e na fase II, para as células construídas com diferentes membranas: microfiltração; ágar; ágar + KCl; PVA; látex e sem membrana, estão representados na figura 1.

Os resultados mostram que nos dez primeiros dias de cada fase há grande variação nos valores de potencial, supondo que seja esse o tempo necessário para que os reatores entrem em *steady state* e ocorra também a formação do biofilme (ARAÚJO, 2015), após esse período é possível identificar que entre 10 e 20 a 25 dias ocorre manutenção do potencial, voltando a ser observada grande variação após esse período, provavelmente devido ao esgotamento das fontes de energia para os microrganismos. A

CEM que apresentou melhor desempenho na fase I foi a construída com membrana de ágar atingindo potencial máximo de 258 mV, no entanto, a célula construída com membrana de látex mostrou geração de potencial mais estável após aproximadamente 15 dias, tanto na fase I, quanto na fase II. A CEM construída com a membrana de microfiltração obteve maior valor de potencial na fase II, cerca de 389 mV.

Figura 1. Potencial (mV) versus tempo (dias) para CEM construídas com membranas de microfiltração, ágar, ágar com KCl, PVA, látex e sem membrana.



As CEMs com gerações de potencial em média mais baixos na fase I foram: a de microfiltração, PVA e sem membrana. Na fase II, a CEM constituída de membrana de PVA manteve a média do potencial, porém tanto a de microfiltração e a sem membrana os valores elevaram. A membrana de ágar obteve comportamento contrário, a fase I gerou maiores valores de potencial que a fase II. O desempenho da CEM constituída por membrana de ágar com KCl manteve-se similar, tanto na fase I quanto na fase II, com média de aproximadamente 134 mV.

Uma membrana ideal deve facilitar a transferência de íons, essencialmente íons H^+ , de uma câmara a outra, para obtenção de uma corrente consistente, no circuito externo, a partir dos elétrons produzidos (AYYARU e DHARMALINGAM, 2011). Em vista do exposto, a membrana de látex parece oferecer

esta característica de forma mais eficiente, uma vez que a produção constante de potencial é mais desejável para melhorar o desempenho da CEM, do que picos máximos esporádicos. As análises de pH e condutividade das câmaras indicam que esta membrana pode possuir características semipermeáveis, adequadas para CEM.

Para todas as construções as medidas de pH das câmaras anódica e catódica foram as mesmas e as medidas de condutividade (Tabelas 1 e 2). Exceto nas construções com membrana de látex nas quais o pH diferiu em uma unidade entre as câmaras e a condutividade permaneceu maior na câmara anódica, indicando que esta membrana é permeável aos íons H^+ , mas não a outros íons formados durante o metabolismo microbiano.

O pH inicial foi de 6,9 e 7,3 respectivamente para cada fase e a condutividade inicial dos meios de cultura foi de 6,2 e 7,7 mS cm^{-1} .

Tabela 1. Valores de Condutividade (mS cm^{-1}) das câmaras anódicas e catódicas ao final das fases I e II

CEM	Fase I		Fase II	
	Câmara anódica	Câmara catódica	Câmara anódica	Câmara catódica
Microfiltração	7,7	7,6	8,2	8,3
Ágar	7,1	7,5	7,6	7,7
Ágar com KCl	24,6	24,6	15,9	15,6
PVA	9,1	9,1	7,9	7,9
Látex	11,1	7,6	9,4	7,6
Sem membrana	9,6	9,6	8,1	8,1

Tabela 2. Valores de pH das câmaras anódicas e catódicas ao final das fases I e II

CEM	Fase I		Fase II	
	Câmara anódica	Câmara catódica	Câmara anódica	Câmara catódica
Microfiltração	7,0	7,0	6,9	6,8
Ágar	7,9	8,4	7,9	7,9
Ágar com KCl	7,2	7,2	6,9	6,8
PVA	7,6	7,5	7,0	7,0
Látex	7,6	6,6	7,0	5,9
Sem membrana	7,3	6,9	6,9	6,9

A tabela 3 mostra que os percentuais de remoção de DQO situaram-se acima de 60%, com valores inclusive acima dos 70% típicos para reatores anaeróbios (CHERNICHARO, 1997). Para remoção de sulfato foram atingidos valores da ordem de 90% na fase II. Na primeira fase, a maior produção de energia esteve correlacionada às maiores remoções de DQO. Já na segunda fase, as maiores produções de energia foram correlacionadas a maior remoção de sulfato.

Tabela 3. Porcentual de remoção de DQO e sulfato e potencial médio para as fases I e II

Fase I			
CEM	Remoção de DQO (%)	Remoção de SO_4^{2-} (%)	Potencial médio (mV)
Microfiltração	71±1	89±1	32±21
Ágar	92±1	16±1	184±52
Ágar com KCl	89±1	86±1	120±57
PVA	94±1	28±1	54±33
Látex	95±1	56±1	139±28
Sem membrana	84±1	60±1	70±79
Fase II			
CEM	Remoção de DQO (%)	Remoção de SO_4^{2-} (%)	Potencial médio (mV)
Microfiltração	62±1	89±1	194±79
Ágar	80±1	31±7	20±15
Ágar com KCl	60±1	94±1	134±30
PVA	76±1	88±1	59±29
Látex	71±2	96±1	154±59
Sem membrana	71±3	92±1	152±33

Quanto ao desempenho das membranas, o melhor desempenho foi para a membrana de látex, uma vez que houve maior remoção tanto de DQO quanto de SO_4^{2-} com considerável produção de energia.

Conclusão

A célula construída com membrana de látex mostrou geração de potencial mais estável em

ambas as fases e bom desempenho nas remoções de DQO e SO_4^{2-} , mostrando características ideais para um separador em sistemas bioeletroquímicos, além de seu baixo custo e disponibilidade.

Agradecimentos

CNPq, CAPES, Fapemig e UFSJ. Ao laboratório de Bio e Hidrometalurgia da UFOP pelas análises químicas.

Referências

- APHA. Standard methods for the examination of water and wastewater. 20ed. Washington, D.C. (USA): American Public Health Association, 1998. 1325 p.
- AYYARU, S. e DHARMALINGAM, S. Development of MFC using sulphonated polyether ether ketone (SPEEK) membrane for electricity generation from wastewater. *Bioresource Technology*, v.102, n.24, p.11167-71. 2011.
- ARAÚJO, K. C. D. Construção e Otimização de Sistemas Bioeletroquímicos para utilização no tratamento de efluentes de alta carga fermentescível. 2015. 91f. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Programa de Pós-Graduação em Tecnologias para Desenvolvimento Sustentável, Universidade Federal de São João Del Rei, Ouro Branco.
- BERTOLINO, S. M., RODRIGUES, I. C. B., GUERRA-SÁ, R., AQUINO, S. F. e LEÃO, V. A. Implications of volatile fatty acid profile on the metabolic pathway during continuous sulfate reduction. *Journal of Environmental Management*, v.103, p.15-23. 2012.
- LOGAN, B.; CHENG, S.; WATSON, V.; ESTADT, G. Graphite fiber brush anodes for increased power production in air-cathode microbial fuel cells. *Environmental science & technology*, 2007, p. 3341 – 3346
- LOMONACO, O. A. V. Células combustíveis microbianas, uma possibilidade de geração de energia elétrica a partir de águas residuárias e matéria orgânica. Trabalho de conclusão de curso - Universidade de São Paulo, Lorena, 2015, 60f.
- MA, J.; WANG, Z.; SUOR, D.; LIU, S.; LI, J. WU, Z. Temporal variations of cathode performance in air-cathode single-chamber microbial fuel cells with different separators. *Journal of Power Sources*, 2014, v. 272, p. 24-33
- MANSOOR, M.; MARIUN, N.; ISMAIL, N.; WAHAB, N. A.I. A guidance chart for most probable solution directions in sustainable energy developments. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2013, v. 24, p. 306 – 313
- ZHAO, F., RAHUNEN, N., VARCOE, J. R., CHANDRA, A., AVIGNONE-ROSSA, C., THUMSER, A. E. e SLADE, R. C. T. Activated Carbon Cloth as Anode for Sulfate Removal in a Microbial Fuel Cell. *Environmental Science & Technology*, v.42, n.13, p.4971-4976. 2008

AVALIAÇÃO DE SUPRESSORES QUÍMICOS NA DIMINUIÇÃO DA POEIRA FORMADA EM MINERADORAS DE FERRO

Stéphane M. Francisco (IC)^{1*}, Ana Maria de Oliveira (PQ)¹.

¹ Universidade Federal de São João del-Rei, Departamento de Química, Biotecnologia e Engenharia de Bioprocessos / Curso Engenharia Química.

*e-mail: stephane_miranda@yahoo.com

Palavras-Chave: *Supressor de poeira, Material particulado, Cloreto de Cálcio, Mineração, Meio ambiente..*

Introdução

O Quadrilátero Ferrífero, localizado no estado de Minas Gerais, é um dos maiores distritos minerais do Brasil, haja vista a presença de ricas reservas de diversos minerais, como o minério de ferro, bauxita, ouro, entre outros (Paiva *et al.*, 2020). Em função disso, concentram-se no Estado um grande número de mineradoras, que constituem um forte pilar para a economia estadual.

Todavia, essa atividade é responsável pela geração de diversos poluentes, destacando a poeira como a forma mais notória de poluição (Tarras-Wahlberg *et al.*, 2017). Esta poluição pode causar grandes problemas à população, pois a exposição excessiva a compostos de ferro pode ocasionar uma toxicidade sistêmica, em decorrência dos radicais livres no organismo, gerando um aumento na taxa de hiperplasia, câncer e riscos cardiovasculares (Safinejad *et al.*, 2019).

Dessa forma, faz-se necessário mitigar a emissão desses particulados, o que pode ser feito por meio da aspersão de jatos d'água em estradas e taludes de mineradoras. Entretanto, esta técnica apresenta uma baixa eficiência. Em razão disso, o uso de supressores químicos de poeira vem sendo cada vez mais explorados na literatura (Sun *et al.*, 2020; Zhang *et al.*, 2020; Copeland *et al.*, 2009).

Nesse sentido, este trabalho objetivou avaliar a supressão da poeira gerada na

mineração de ferro utilizando solução de cloreto de cálcio como espécie supressora.

Procedimento Experimental

Primeiramente, preparou-se as amostras de solo de mineração, fornecidas pela CSN. As amostras foram peneiradas, secas em estufa (Brasdonto, modelo 3) à 100°C durante 24 horas. Em seguida, as amostras foram borrifadas com água na percentagem de 5 % (v/m) e secas ao ar por 24 horas.

Para a avaliação dos supressores foi confeccionado um túnel de vento (300 mm de diâmetro e 50 cm de comprimento) acoplado a um sistema de ventilação (FAET Silverado, tipo 1148, 30W)

Os experimentos foram montados com a pesagem de 1,100 kg de amostra de solo devidamente preparada, em uma balança semi-analítica (Marte, modelo UX4200H), e as amostra foram colocadas dentro do túnel do vento obedecendo as medidas 15 cm x 15 cm x 5 cm, à 12,2 cm da extremidade em que foi acoplado o sistema de ventilação. A amostra foi levemente compactada e sobre a sua superfície foi borrifada solução de cloreto de cálcio (CaCl₂ 96%, Vetec Química Fina Ltda, Brasil) em concentrações de 20, 40 e 80 g L⁻¹, a uma vazão de 1,5 L m⁻². O branco foi realizado utilizando água destilada. Após a exposição da amostra no túnel do vento por 30 minutos, a

poeira desprendida de cada replicata foi pesada utilizando-se uma balança analítica (Shimadzu, modelo AY220). A redução da quantidade de poeira dissipada foi calculada pela diferença entre a massa de poeira desprendida utilizando a água destilada ($MP_{\text{água}}$) e a massa de poeira utilizando a solução de cloreto de cálcio (MP_{CaCl_2}), e convertida em percentagem (equação 1).

$$\% \text{Redução} = \frac{MP_{\text{água}} - MP_{\text{CaCl}_2}}{MP_{\text{água}}} \times 100\% \quad (1)$$

Além da concentração da solução de cloreto de cálcio foram avaliados também o efeito da velocidade do vento (2,0; 2,9 e 4,2 m s⁻¹) e o tempo que a amostra foi submetida a ação eólica (30, 45 e 60 minutos). Todos os experimentos foram realizados em triplicata.

Resultados e Discussão

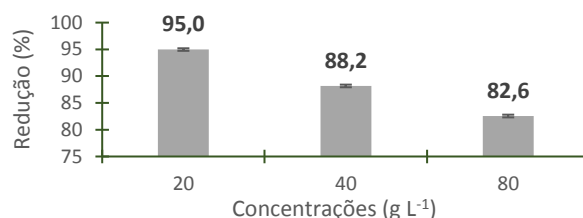
De acordo com Copeland e Kawatra (2005), o minério de ferro possui características altamente hidrofílicas, sendo possível que o supressor interaja diretamente com a superfície deste. Em função disso, estes pesquisadores constataram que o mais indicado para controle de formação da poeira seriam soluções que retenham umidade, como é o caso do cloreto de cálcio.

A primeira parte do experimento avaliou o efeito da concentração do cloreto de cálcio na supressão de particulados. Observando-se os resultados apresentados na Figura 1, verificou-se que a concentração de 20 g L⁻¹ foi a que apresentou melhor redução de material particulado em relação a água, 95,0 (±0,2) % (m/m). Já para as concentrações de 40 g L⁻¹ e 80 g L⁻¹, os resultados obtidos foram de 88,2 (±0,2) % (m/m) e 82,6 (±0,2) % (m/m), respectivamente.

Os valores observados evidenciam a boa eficácia de supressão do cloreto de cálcio, uma vez que uma baixa concentração de solução é

capaz de gerar reduções muito maiores que a água pura. Além disso, em todas as concentrações, a solução apresentou maior redução de particulados que a água.

Figura 1: Taxa de redução no desprendimento de poeira utilizando solução de cloreto de cálcio em diferentes concentrações em relação à aplicação de água.

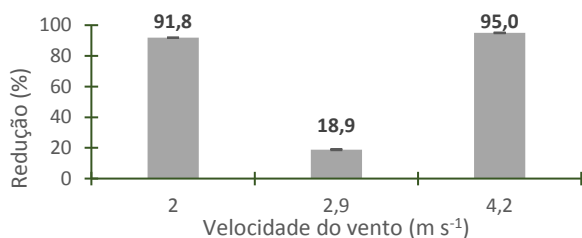


A diminuição da eficácia da solução supressora com o aumento da concentração pode ser associada ao aumento da tensão superficial da água causado pela adição de cloreto de cálcio. Essa tensão superficial maior das soluções mais concentradas ocasiona um tempo de umedecimento maior das partículas finas de poeira, o que leva a uma perda de eficiência do processo (Zhang *et al.*, 2020). Em concentrações menores, a retenção de umidade ocasionada pelos agentes higroscópicos, como o cloreto de cálcio, gera alta eficácia de supressão, fazendo com que o aumento da tensão superficial não seja sentido no processo (Copeland e Kawatra, 2005; Copeland *et al.*, 2009).

A dispersão de poeira ocorre sobretudo através da ação eólica. Dessa forma, analisou-se a eficácia da solução supressora após submeter a amostra a velocidades do vento observadas na rosa dos ventos do município de Congonhas, que possui muitas mineradoras no seu entorno. Foi constatado que na velocidade de 4,2 m s⁻¹ houve uma melhor eficiência de supressão do cloreto de cálcio, com taxa de 95,0 (± 0,2) % (m/m), enquanto para as velocidades mais baixas, 2,9 m s⁻¹ e 2,0 m s⁻¹, a taxa de redução de particulados foi de 18,9 (± 0,4) e

91,8 ($\pm 0,1$) % (m/m), respectivamente (Figura 2).

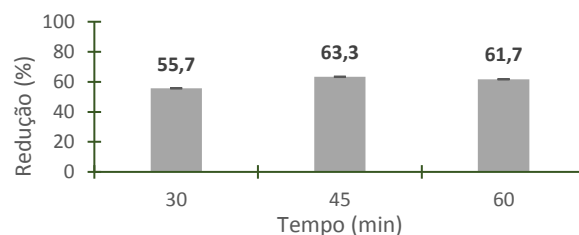
Figura 2: Taxa de redução no desprendimento de poeira utilizando solução de cloreto de cálcio (20 g L^{-1}) em relação à aplicação de água a vazão de $1,5 \text{ L m}^{-2}$, a diferentes velocidades do vento.



É importante destacar que é esperado que maiores velocidade do vento gere maior dispersão de poeira, visto que algumas partículas pequenas desprendem da amostra e são arrastadas pelo vento (Huang *et al.*, 2021). No entanto, quando aplicado uma maior velocidade, a solução supressora demonstrou maior redução de particulados em comparação com a água, visto que o supressor gerou uma aglomeração das partículas, formando uma superfície consolidada e, conseqüentemente, mais resistente a ação do vento (Huang *et al.*, 2021).

O último parâmetro avaliado foi o tempo de exposição da amostra no túnel do vento, sem reaplicação do supressor. Esse ensaio objetivou analisar a performance do supressor com o tempo, para que, a partir disso, possa ser estipulado o tempo necessário para reaplicação da solução. Os resultados apresentados na Figura 3 demonstraram que a amostra exposta a 45 minutos no túnel de vento gerou a melhor taxa de redução de particulados, equivalente a $63,3 (\pm 0,2) \text{ \% (m/m)}$. Já os tempos de 30 e 60 minutos geraram uma taxa redução de $55,7 (\pm 0,03) \text{ \% (m/m)}$ e $61,7 (\pm 0,1) \text{ \% (m/m)}$, respectivamente.

Figura 3: Taxa de redução no desprendimento de poeira utilizando solução de cloreto de cálcio (20 g L^{-1}) em relação à aplicação de água a vazão de $1,5 \text{ L m}^{-2}$, a velocidades do vento de $4,2 \text{ m s}^{-1}$ em diferentes tempos.



Com o passar do tempo, a água vai sendo evaporada, por conseguinte, as partículas finas ficam soltas e são mais propensas a sofrerem dispersão pelo ar (Copeland e Kawatra, 2007). Todavia, reagentes higroscópicos reduzem a taxa de evaporação, haja vista que, quando aplicados à amostra, forma-se um filme sobre as partículas de poeira e ocorre uma absorção da umidade do ar. Em razão disso, tem-se uma aderência do particulado com a amostra que os mantém imobilizados (Copeland e Kawatra, 2007; Gulia *et al.*, 2019). Os resultados mostraram que a partir do momento que ocorreu a saturação de absorção de umidade pelo cloreto de cálcio é necessário realizar a reaplicação da solução. De acordo com o exposto, com 60 minutos de exposição ao ar, a eficácia da solução em relação a água começa a diminuir.

Conclusão

Os estudos demonstraram que para a poeira de minério de ferro, a propriedade mais importante no controle da dispersão é a perda de umidade das partículas. Como o cloreto de cálcio minimiza essa perda, este apresenta resultados satisfatórios na supressão dos particulados.

Observou-se que o melhor controle de particulados a uma vazão de $1,5 \text{ L m}^{-2}$, ocorre com solução de cloreto de cálcio 20 g L^{-1} , submetido a uma velocidade de vento de $4,2 \text{ m}$

s⁻¹ durante 45 minutos, obtendo uma taxa de redução de MP em relação a água equivalente à 63,3 (± 0,2) % (m/m). Após esse tempo, a eficácia da solução de cloreto de cálcio em relação a água começa a diminuir, sendo necessário a realização de mais estudos para determinar o momento ideal para reaplicação da solução.

Portanto, conclui-se que o supressor em estudo apresentou compatibilidade com suas propriedades higroscópicas também em superfícies de solo, uma vez que retardou a perda de umidade da amostra e com isto gerou uma redução na poeira formada no sistema.

Referências

COPELAND, C. R.; EISELE, T. C.; KAWATRA, S. K. Suppression of airborne particulates in iron ore processing facilities. **International Journal of Mineral Processing**. v. 93, p. 232-238, 2009.

COPELAND, C. R.; KAWATRA, S. K. Dust suppression in iron ore processing plants. **Minerals and Metallurgical Processing**. v. 22, n. 4, p. 177-191, 2005.

COPELAND, C. R.; KAWATRA, S. K. Are surfactants effective for iron ore dust control? **International Journal of Materials and Structural Integrity**. v. 1, n. 1-3, p. 259-276, 2007.

GULIA S.; GOYAL, P.; GOYAL, S. K.; KUMAR, R. Re-suspension of road dust: contribution, assessment and control through dust suppressants – a review. **International Journal of Environmental Science and Technology**. v. 16, p. 1717-1728, 2019.

HUANG, Z.; HUANG, Y.; YANG, Z.; ZHANG, J.; ZHANG, Y.; GAO, Y.; ZHENLU, S.; ZHANG, L. Study on the physicochemical

characteristics and dust suppression performance of new type chemical dust suppressant for copper mine pavement. **Environmental Science and Pollution Research**. v. 28, p. 59640-59651, 2021.

PAIVA, C. A.; SANTIAGO, A. F.; PRADO, J. F. Content analysis of dam break studies for tailings dams with high damage potential in the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais: Technical weaknesses and proposals for improvements. **Natural Hazards**. v. 104, p. 1141-1156, 2020.

SAFINEJAD, M.; AZARI, M. R.; ZENDEHDEL, R.; RAFIEEPOUR, A.; KHODAKARIM, S.; KHODARAHMI B. Occupational and biological monitoring of workers exposed to airborne dust in Gol-e-Gohar Iron Ore mine. **Iran Occupational Health**. v. 16, n. 1, p. 23-32, 2019.

SUN, J.; ZHOU, G.; GAO, D.; WEI, Z.; WANG, N. Preparation and performance characterization of a composite dust suppressant for preventing secondary dust in underground mine roadways. **Chemical Engineering Research and Design**. v. 156, p. 195-208, 2020.

TARRAS-WAHLBERG, H.; CRONJÉ, F.; REYNEKE, S.; SWEET, S. Meeting local community needs: The cases of iron ore mining in Sweden and South Africa. **The Extractive Industries and Society**. v. 4, n. 3, p. 652-660, 2017.

ZHANG, H.; NIE, W.; YAN, J.; BAO, Q.; WANG, H.; JIN, H.; PENG, H.; CHEN, D.; LIU, Z.; LIU, Q. Preparation and performance study of a novel polymeric spraying dust suppression agent with enhanced wetting and coagulation properties for coal mine. **Powder Technology**. v. 364, p. 901-914, 2020.

AVALIAÇÃO DO USO DE BIOCARVÃO COMO ANODO EM CÉLULAS DE ENERGIA MICROBIANA *SOIL-BASED*

Geovana Luisa Lacerda Borges (IC),¹ Aysis Santos Lima Asevedo (IC),² Wilquer Castro Laurindo (IC),^{2*} Isabel Cristina Braga Rodrigues (PQ),³ Katialaine Corrêa de Araujo (PG),⁴

¹ Universidade Federal de São João del-Rei, Curso de Engenharia Química

² Universidade Federal de São João del-Rei, Curso de Engenharia de Bioprocessos

³ Universidade Federal de São João del-Rei, Departamento de Química, Biotecnologia e Engenharia de Bioprocessos

⁴ Universidade Federal de Viçosa, Programa de pós-graduação em Microbiologia Agrícola

*e-mail: geovanalacerda0509@gmail.com

Palavras-Chave: *MFC soil based, Biocarvão, Soro de leite, Geração de energia, Remoção de DQO.*

Introdução

Desde a Revolução industrial, os recursos energéticos têm desempenhado um papel fundamental no desenvolvimento da civilização. A posteriori, com a criação dos eletroeletrônicos foi firmado uma grande dependência, em escala mundial, com a energia elétrica, que é fundamental para os estilos de vida que foram formados ao longo dos anos (TOLMASQUIM, 2007).

Ainda que existam muitas outras matrizes energéticas, há destaque para o uso de combustíveis fósseis, em especial o petróleo, que além de não serem uma fonte renovável, liberam gases poluentes, como o CO₂. Por tais razões, são altos os investimentos para a descoberta de uma nova fonte energética, que seja de baixo impacto ambiental, acessível financeiramente e disponível (LEHNEN, 2014).

Um dos sistemas que se adequam às citadas especificações são os sistemas biológicos geradores de energia, como a Célula de Energia Microbiana (MFC): dispositivo eletroquímico que é capaz de converter energia química de materiais orgânicos em eletricidade, utilizando microrganismos como catalisadores (GHASEMI, 2013).

Esses dispositivos, desde que descobertos, foram desenvolvidos e aprimorados, até que, atualmente, apresentam diversas configurações. Uma delas é a *MFC soil-based*, capaz de gerar energia elétrica por meio de reações metabólicas microbiológicas, que se processam no solo (PASSOS et al., 2015).

O objetivo deste artigo é expor resultados sobre o impacto da adição de carvão vegetal, efluente e inóculo à MFC quanto ao potencial de geração de energia elétrica e a remoção de DQO.

Procedimento Experimental

Foram construídas sete MFCs *soil-based* em baldes, preenchidos com solo, ausentes de membrana trocadora de prótons e contendo os dois eletrodos: o cátodo na superfície, para ter contato com o oxigênio; e o ânodo na parte inferior, constituindo a parte anaeróbica. O solo utilizado foi extraído do Campus Alto Paraopeba da UFSJ. Os eletrodos foram constituídos por hastes de ferro e, no ânodo, foi adicionado biocarvão. A diferença de potencial gerada nas células foi determinada com o auxílio de um multímetro, durante os 41 dias de operação das células.

Adicionou-se 200 mL de inóculo cultivado com 15 g/L de soro de leite e 1 g/L de extrato

de levedura, em cada célula. O efluente utilizado foi o soro de leite a 10 g/L. Em todas as células foram feitas aberturas no fundo, para que fosse possível coletar as amostras de líquido para análise de remoção de DQO do efluente.

A figura 1 apresenta a configuração de célula utilizada neste trabalho, evidenciando seus componentes. E a tabela 1 apresenta a composição de cada vaso, indicando as variáveis estudadas.

Figura 1 -MFC soil-based construída

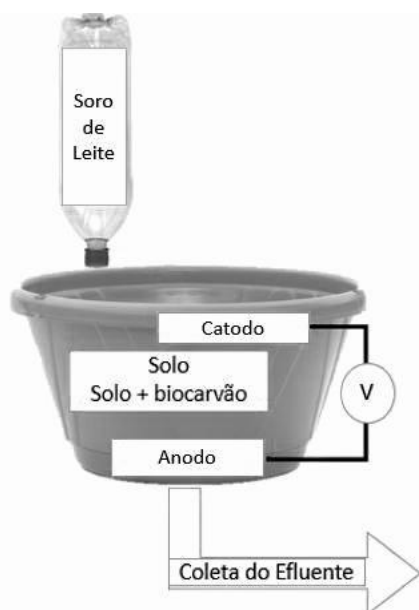


Tabela 1 - Composição de cada MFC construída e analisada no experimento

MFC	Carvão no solo	Carvão eletrodo	Soro de leite	Inóculo
1	Não	Não	Sim	Sim
2	Não	Sim	Sim	Sim
3	Sim	Sim	Sim	Não
4	Sim	Sim	Sim	Sim
5	Sim	Sim	Sim	Sim
6	Sim	Não	Sim	Sim
7	Sim	Sim	Não	Sim

A proporção de componentes adicionada às MFCs foi: aproximadamente 5% massas/massas de biocarvão no solo, ou seja, 255 g de carvão, uma vez que havia 5 Kg de terra em cada célula; 250 g de carvão como eletrodo e 200 mL de inóculo, em cada MFC. Com relação ao soro de leite, cada célula foi regada de dois em dois dias, pelo período de 41 dias, com 1L de solução de soro; exceto a célula nº 7.

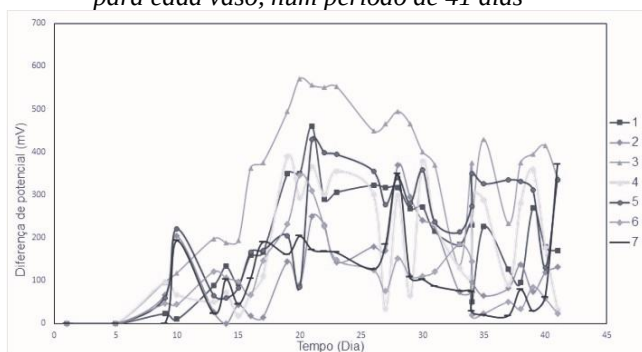
Para verificar a possibilidade de haver Bactérias Redutoras de Sulfato (BRS) no solo estudado, retirou-se 10 g de terra de cada vaso após 15 dias de experimento e inoculou-se em 200 mL de meio de cultura, o qual constituiu de 0,5 g de NaHCO_3 ; 0,5 g de NH_4Cl ; 0,03 g de $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$; 0,05 g de $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$; 0,25 g de KH_2PO_4 ; 1,7 g de Na_2SO_4 ; 0,11 g de extrato de levedura e 1,1 g de soro de leite. As culturas foram incubadas por sete dias em estufa, à 32°C.

Recolheu-se, uma vez por semana, o fluido percolado dos recipientes das MFCs. Os fluidos foram acidificados com solução 3M de ácido sulfúrico até pH menor que 2, para que, então, fossem passados por membrana de ultrafiltração com diâmetro 0,45 μm para determinação da DQO filtrada (APHA, 2005).

Resultados e Discussão

A Figura 2 apresenta os valores de diferença de potencial para as sete MFC. Os maiores valores de diferença de potencial obtidos para as MFCs, num período de 41 dias, foram: 460 mV, 370 mV, 571 mV, 388,6 mV, 430 mV, 346 mV, 349,8 mV para os vasos 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7 respectivamente.

Figura 2 - Diferença de potencial das MFC, medidos para cada vaso, num período de 41 dias



Acreditava-se que as propriedades positivas do carvão (condutividade, biocompatibilidade e possibilidade de criação de um micro-habitat), favoreceriam um aumento da diferença de potencial entre cátodo e ânodo. No entanto, mesmo no vaso 1, em que não havia carvão, houve geração de potencial, além de que sobressaíram aos valores do vaso 2, o qual possuía carvão como eletrodo. Da mesma forma, os valores obtidos para o vaso 1 foram maiores que os do vaso 6, o qual possuía carvão no solo. Se comparados com os valores do vaso 4 (que possuía carvão como eletrodo e no solo), observa-se que houve dias em que a diferença de potencial do vaso 1 foi superior. Sendo assim, acredita-se que o carvão, para este trabalho, não teve influência significativa sobre a diferença de potencial.

Verificando a influência do soro de leite, observa-se que, mesmo na ausência do mesmo foi possível obter diferença de potencial, apesar de ela ter sido mais baixa, o que infere que a microbiota foi favorecida pelos nutrientes presentes no soro, enquanto apenas com água, a fonte de nutrientes era apenas a matéria orgânica presente no próprio solo. O fato de haver potencial está diretamente ligado às características do solo, visto que Araújo et al. (2017) afirmam que a condutividade elétrica do solo depende da umidade, do teor de argila, do teor de sais presentes e da matéria orgânica no

solo, por conseguinte, só pelo fato de haver água no solo, já é um fator que propicia a geração de potencial, justificando o potencial no vaso 7.

Com relação à influência do inóculo, a maior diferença de potencial entre o ânodo e cátodo por um período maior de tempo foi obtida no vaso 3, que era o único a não possuir inóculo. De mesma forma, mesmo sem possuir inóculo, o vaso 3 apresentou potencial maior que o vaso 4, o qual continha as mesmas variáveis que o vaso 3 acrescido do inóculo. Leva-se a crer que as bactérias presentes no próprio solo foram suficientes para gerar energia na MFC; além disso, o meio de cultura contendo sulfato tornou-se escuro para todos os vasos após sete dias de inoculação, sendo que, isso caracteriza-se, segundo Barbosa (2009), pela formação de sulfetos livres, consequência da presença de bactérias redutoras de sulfato. Logo, próximo ao cátodo, essas bactérias favoreceriam à geração de fluxo de elétrons.

Quanto às remoções de DQO, para o vaso 1 não houve remoção e para as demais condições os valores foram 84%, 81%, 82%, 69%, 83% para os vasos 2, 3, 4, 5, 6 respectivamente. Se compararmos aos tratamentos convencionais de efluente, percebe-se que as remoções obtidas estão de acordo com o esperado para tratamentos anaeróbios convencionais, visto que o UASB possui eficiência média de 82% (SANTOS, et al., 2017).

Ao observar a composição do vaso 1, têm-se que ele não continha carvão, seja disperso no solo ou na forma de eletrodo, sendo assim, acredita-se que, por esse fato, a matéria orgânica não tenha sido adsorvida e nem metabolizada. Além disso Ass et al., (2014) avaliaram o efeito do biocarvão sobre a lixiviação do solo e concluíram que ele diminui a perda de nutrientes como nitrogênio e fósforo, principalmente, seguido por cálcio e potássio. Ao se comparar o vaso 1 aos demais vasos que

possuíam carvão, percebe-se que houve consistência na remoção de DQO com relação à adição de soro de leite, o que pode ser justificado pela presença do carvão: os resultados apontam que o carvão tenha retido o soro de leite e, posteriormente, disponibilizado aos microrganismos presentes para consumo, dado que os vasos eram regados dia sim, dia não; logo, no dia em que não era introduzido soro, havia disponibilização de nutrientes devido à presença do carvão.

Conclusão

Após as análises e observações feitas no decorrer do trabalho, pôde-se determinar as seguintes conclusões: em relação à geração de potencial, observou-se que o carvão não influenciou de maneira significativa, visto que, nos vasos sem carvão também houve geração de potencial.

A presença do soro de leite na célula de energia microbiana não foi fator limitante para se obter diferença de potencial, pois, mesmo regado apenas com água, o vaso de número 7 apresentou DDP (valor máximo: 349,8 mV), porém o potencial mais elevado e com maior tempo de duração foi no vaso 3, no qual utilizou-se o soro, indicando que o soro favoreceu o aumento de potencial.

A ausência do inóculo na célula de número 3 não o limitou em gerar potencial, sendo que esse vaso apresentou potencial elevado por um maior período de tempo, uma vez que houve seleção de microrganismos potencialmente eletrogênicos nesse sistema, como indicado pelo cultivo em meio para BRS.

A remoção de DQO foi favorecida pela presença de carvão, sendo que, na forma dispersa no solo (vaso 6), obteve-se as maiores remoções do que em forma de camada (vaso 2). Já a ausência de carvão levou à lixiviação do solo, observada no vaso 1, para o qual obteve-

se valores muito elevados de DQO final em relação ao adicionado e valores negativos de remoção.

Agradecimentos

À CAPES, Fapemig e CNPq pelo financiamento à pesquisa no Brasil. À UFSJ pela formação e ao grupo PET-DPCFC.

Referências

APHA. Association, Standard Methods for Examination of Water and Wastewater. 21^o ed., 2005, Washington: American Public Health Association.

ARAÚJO, E. G. et al. Análise espacial da condutividade elétrica e atributos físicoquímicos de um Latossolo. *Agrarian*, Dourados, v. 9, n. 31, p. 73-83, jul. 2017.

ASS, A.L.; MAIA, C.M.B.F.; RAUEN, C.C.M.. Lixiviação de nutrientes em substrato enriquecido com biochar. In: *Evento de Iniciação Científica da Embrapa Florestas*, 2014, Colombo. Anais. Colombo: Embrapa Florestas, 2014.

BARBOSA, Leonardo de Paiva. Cultivo de bactérias redutoras de sulfato (BRS) e sua aplicação na biorremediação de efluentes ácidos contendo metais. 2009. 115 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2009.

GHASEMI, M. W. R. W. Nano-structured carbon as electrode material in microbial fuel cells: a comprehensive review. *Journal of Alloys and Compounds*, n. 58, p. 245-255, 2013.

LEHNEN, D. R. Desenvolvimento de células de combustível microbiana. 2014. 79 f. Dissertação (Mestre em Química) - Instituto de Química, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014.

PASSOS, V. F.; DE ANDRADE, A. R.; REGINATTO, V. Geração de energia em célula microbiana à combustível utilizando lodo anaeróbio de estação de tratamento de esgoto. In: *IV Symposium on Agricultural and Agroindustrial Waste Management*. Rio de Janeiro, 2015. p. 4.

SANTOS, E. M. A. et al. Reator anaeróbio tipo UASB conjugado com processo Fenton para remoção de cor e demanda química de oxigênio de água residuária sintética de indústria têxtil. *Eng. Sanit. Ambient.*, Rio de Janeiro, v. 22, n. 2, p. 285-292, 2017.

TOLMASQUIM, M. T.; GUERREIRO, A.; GORINI, R. Matriz energética brasileira: uma prospectiva. *Novos estud. - CEBRAP*, São Paulo, n. 79, p. 47-69, 2007.

BIOPROSPECÇÃO DE MICRORGANISMOS COM POTENCIAL PARA DEGRADAÇÃO DE CIANETO EM EFLUENTES LÍQUIDOS INDUSTRIAS

Clícia Gomes Sabará (IC)¹, Ana Flávia Oliveira G. de Matos (IC)^{1*}, Isabel C. Braga Rodrigues²

¹ Universidade Federal de São João del-Rei (UFSJ), Curso de Engenharia de Bioprocessos

² Universidade Federal de São João del-Rei, Departamento de Química, Biotecnologia e Engenharia de Bioprocessos.

*e-mail: cliciags98@gmail.com

Palavras-Chave: *Cianeto, Bioprospecção, Contaminantes, Biodegradação.*

Introdução

A bioprospecção é uma ferramenta importante para selecionar microrganismos que possam ser utilizados no desenvolvimento de novas tecnologias, em áreas de saúde, alimentos e meio ambiente, em destaque o tratamento de águas residuárias industriais (FERREIRA e SAMPAIO, 2013).

No setor metalúrgico, que é conhecido por gerar efluentes contaminados com cianeto, a bioprospecção de microrganismos com capacidade de degradar esse composto é essencial, tendo em vista que esse contaminante pode destruir um ecossistema aquático e até mesmo levar um ser humano à morte em caso de contaminação (BOSON, 2008; EISLER, 1991; ZACARIAS, 2009; YOUNG e JORDAN, 1995).

Devido ao perigo da presença de cianeto nos efluentes líquidos industriais, existe uma necessidade de reduzir a quantidade desse composto antes do lançamento do efluente nos corpos receptores (SMITH e MUDDER, 1991; DUTRA et al., 2002).

Outro motivo que torna necessário o tratamento desses efluentes são as exigências das legislações (SANTOS, 2010).

Os métodos físico-químicos empregados são de custo elevado e na maioria das vezes não ocorre total remoção, podendo até gerar compostos mais tóxicos (SMITH e MUDDER, 1991; DUTRA et al., 2002), o que torna os métodos biológicos atraentes por

serem mais econômicos e levarem à mineralização do composto.

O objetivo do trabalho foi buscar microrganismos com potencial para degradar o cianeto a partir de uma amostra de um reator de lodos ativados utilizado no tratamento de efluentes de uma indústria siderúrgica.

Procedimento Experimental

1. Isolamento microbiano

Foi coletada uma amostra de 100 mL de um reator de lodos ativados de uma indústria siderúrgica. Amostra foi inoculada em placas de Petri com meio ágar YMA e LB e incubadas por 7 dias a 30° C. Os microrganismos foram isolados nos meios, pela semeadura por estrias na placa de Petri.

2. Análise de tolerância ao cianeto

Os testes foram realizados em pH 10,0 para evitar volatilização do cianeto. As culturas foram previamente adaptadas a este pH. Foram realizados testes submetendo as culturas a concentrações crescentes de cianeto, os organismos resistentes a maior concentração (40 mg L⁻¹) foram isolados e inoculados em seus respectivos meios, seu crescimento foi observado pela densidade óptica.

3. Caracterização bioquímica das bactérias

As bactérias foram submetidas a 6 testes bioquímicos: produção de Indol, Voges-Proskauer, Vermelho de metila e Utilização de citrato.

4. Caracterização bioquímica das leveduras

Os testes bioquímicos foram realizados de acordo com Mautone (2008) e Moreira *et al.*, (2010) e com os reagentes disponíveis, os testes foram: crescimento em diferentes temperaturas, secreção de ácido acético, tolerância a NaCl e tolerância a glicose.

5. Crescimento bacteriano no meio LB

As bactérias previamente selecionadas (B2, B3, B4) foram cultivadas em meio LB. Foram realizadas análises de densidade óptica diárias, durante 12 dias. Também foram feitas análises diárias de pH.

6. Crescimento em meio YMA

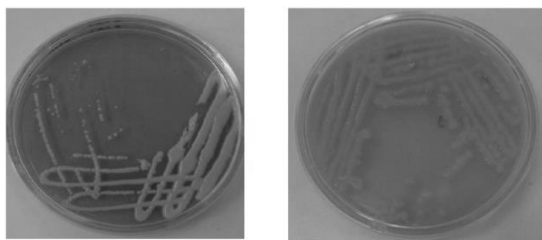
Os microrganismos selecionados (B1, B5, L5 e L6), sendo “B” bactérias e “L” leveduras, foram cultivados em meio YMA. Durante 4 dias foram realizados testes de densidade óptica em tempos pré-definidos em horas. Também foram analisadas amostras diárias de pH.

Resultados e Discussão

1. Isolamento microbiano

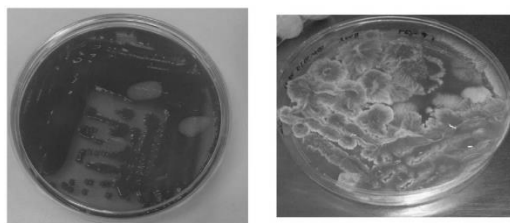
A figura 1 apresenta as leveduras L5 e L6 em meio YMA.

Figura 1 - Isolados de levedura obtidos no meio YMA. À esquerda, levedura L5 e à direita, levedura L6.



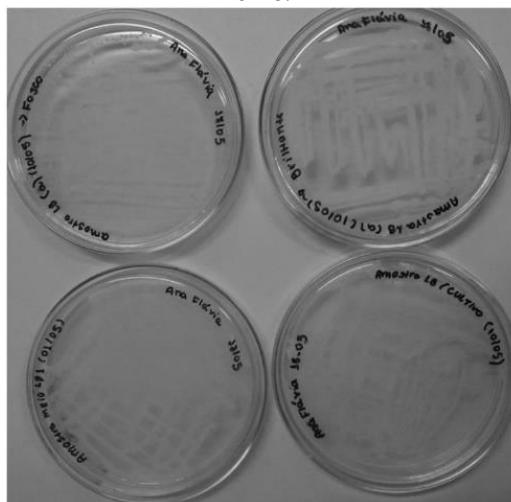
A figura 2 apresenta os isolados de bactérias B1 e B5 em meio LB.

Figura 2 - Bactérias isoladas em meio LB. À esquerda, B1 e à direita, B5.



A figura 3 representa os isolados de bactérias B2, B3, B4 e B6, em meio LB.

Figura 3 - Isolados de bactérias em meio LB. de cima para baixo e da esquerda para a direita: B2, B3, B4 e B6.



2. Análise de tolerância ao cianeto

Simas (2007) indica a concentração mínima de $0,5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ de cianeto, já Pantaroto (2001) indica 40 mg L^{-1} de concentração de cianeto como concentração máxima.

Todos os microrganismos foram capazes de crescer no meio contendo $0,5 \text{ mg L}^{-1}$ de cianeto. Já os microrganismos capazes de crescer em 40 mg L^{-1} foram considerados para continuidade do estudo, são eles B2, B3, B4, B5, L5 e L6.

3. Caracterização bioquímica das bactérias

A caracterização bioquímica foi capaz de identificar a que grupos os microrganismos isolados se assemelham: B1 e B2 se

aproximam dos grupos *Klebsiella* e *Proteus*, B3 se aproximou dos gêneros *Salmonella*, *Arizona*, *Citrobacter* e *Liquefaciens*, já os resultados de B4 e B5 foram inconclusivos.

Os possíveis microrganismos são gram-negativos e classificados como bactérias entéricas (GUENTZEL, 1996).

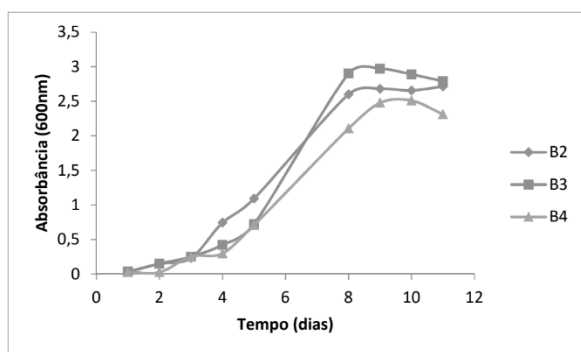
4. Caracterização bioquímica das leveduras

O Os testes foram inconclusivos para determinar possíveis grupos aos quais as leveduras se assemelham.

5. Crescimento bacteriano no meio LB

A figura 4 mostra a curva de crescimento das bactérias B2, B3 e B4, numa curva absorbância a 600 nm versus tempo (dias).

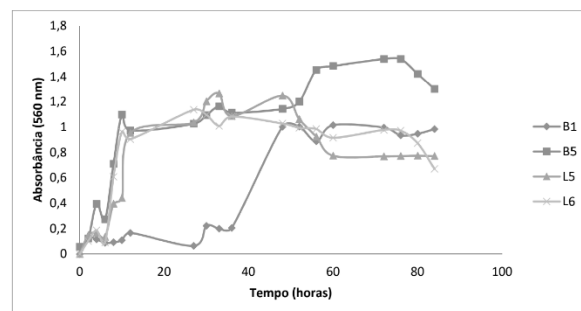
Figura 4 - Curva de crescimento bacteriano em meio LB, densidade óptica 600 nm versus tempo em dias, 30°C e 180 min⁻¹.



Não foram identificadas mudanças significativas no crescimento desses microrganismos na presença de cianeto.

A figura 5 representa o crescimento microbiano das bactérias B1 e B5 e das leveduras L5 e L6 numa curva absorbância a 560 nm versus tempo em horas.

Figura 5 - Curva de crescimento bacteriano e das leveduras em meio YMA, densidade óptica 560 nm versus tempo em horas, 30°C e 180 min⁻¹.



Analizando os resultados é possível supor que as culturas B5, L5 e L6 usam o cianeto de forma mais rápida e que a cultura B5 é, provavelmente, a mais adaptada ao cianeto no meio, uma vez que ela é capaz de fazer uso de metabólitos secundários do meio.

As tabelas 1 e 2 mostram as medidas de pH para esses cultivos.

Tabela 1 - Medidas de pH no meio LB sem e com cianeto, pH inicial 10,0, 30°C, 180 min⁻¹.

Microrganismo	pH sem cianeto	pH com cianeto
Segundo dia		
B2	8,88	9,43
B3	8,53	9,44
B4	9,25	9,43
Terceiro dia		
B2	8,56	9,30
B3	8,38	9,22
B4	8,97	9,28
Quarto dia		
B2	8,56	9,16
B3	8,24	9,10
B4	8,32	9,22
Sétimo dia		
B2	8,52	8,90
B3	8,21	8,90
B4	8,27	9,21

Tabela 2 - medidas de pH em meio YMA sem e com cianeto, pH inicial 10,0, 30°C, 180 min⁻¹.

Microrganismo	pH sem cianeto	pH com cianeto
Primeiro dia (após 12h de inoculação)		
B1	9,00	9,06
B5	6,56	6,84
L5	7,00	8,97
L6	9,30	9,09
Segundo dia		
B1	7,00	8,06
B5	6,15	6,18
L5	6,58	5,97
L6	7,90	6,74
Terceiro dia		
B1	7,66	7,00
B5	6,17	6,14
L5	5,69	5,79
L6	6,92	7,28
Quarto dia		
B1	6,68	7,60
B5	6,14	6,15
L5	5,77	6,05
L6	6,40	8,15

De acordo com o (KAO et al., 2003 e DASH et al., 2009), dentre os microrganismos com potencial para biodegradação de cianeto, de acordo com as medidas de pH e pelos testes bioquímicos, todos os cultivos coincidem com o gênero *Klebsiella*.

Conclusão

Foi possível concluir que 7 das 20 culturas se adaptaram bem aos meios contendo cianeto, indicando grande potencial de degradação do composto.

Todas as bactérias são Gram positivas, necessitando de mais testes bioquímicos para determinação dos grupos microbianos.

Os isolados B5, L5 e L6 crescem mais rapidamente em meio contendo cianeto, com a manutenção do pH entre 7 e 9, fazendo jus ao uso de uma via hidrolítica para remover o íon.

Referências

- BOSON, P. H. G. Estudo Prospectivo do Setor Siderúrgico. 1ed. Brasília: CGEE, 2008. 64p.
- DUTRA, A. J. B.; SOBRAL, L. G. S.; LEMOS, F. A.; SANTOS, F. H. S. O processo eletroquímico como alternativa para o tratamento de efluentes cianídricos. Revista Escola de Minas, v.55, n.4, p. 267- 272, 2002.
- EISLER, R. Cyanide hazards to fish, wildlife, and invertebrates: asynoptic review. Biological Report, v. 58, n. 1/23, p. 1-58, 1991.
- FERREIRA, S.N.; SAMPAIO, M.J.A.M. Biodiversidade e conhecimentos tradicionais associados. Implementação da legislação de acesso e repartição de benefícios do Brasil. 1 ed. Brasília: SBPC, 2013. 356 p.
- GUENTZEL, M.N. Escherichia, Klebsiella, Enterobacter, Serratia, Citrobacter and Proteus. 4ed. 1996.
- KAO, C.M.; LIU, J.K.; LOU, H.R.; LIN, C.S.; CHEN, S.C. Biotransformation of cyanide to methane and ammonia by Klebsiella oxytoca. Chemosphere, v.50, n.8, p.1055- 1061, 2003.
- MAUTONE, J.N. Diversidade e potencial biotecnológico de leveduras e fungos semelhantes a leveduras isolados de folhas de figueiras do Parque de Itapuã, RS, Brasil. 2008. 124f. Dissertação (Mestrado em Microbiologia Agrícola e do Ambiente) – Instituto de Ciências Básicas da Saúde, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- MOREIRA, F.M.S.; HUISING, E.J.; BIGNELL, D.E. Manual de biologia dos solos tropicais: amostragem e caracterização da biodiversidade. 1ed. Lavras:UFLA, 2010, 368 p.
- PANTAROTO, S. Isolamento, seleção, identificação e avaliação de microrganismos aeróbios “in situ”, com habilidade à biodegradação de linamarina. 2001. 128f. Tese (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu
- SANTOS, A. L. Inventário dos Rejeitos, Efluentes e Sub-Produtos das Indústrias Siderúrgicas Integradas na Fabricação de Aço Líquido. 2010. 79f. Tese (Mestrado em Engenharia Metalúrgica), Escola Politécnica de Engenharia Metalúrgica e Materiais, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- SIMAS, R. Levantamento da geração de resíduos galvânicos e minimização de efluentes contendo cianeto. 2007. 135f. Tese (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental), Universidade Federal do Paraná, Curitiba
- SMITH, A., MUDDER, T. The chemistry and treatment of cyanidation wastes. 2ed. Londres: Mining Journal Books Limited, 1991. 333 p.
- YOUNG, C. A.; JORDAN, T. S. Cyanide Remediation: Current and past technologies. In: Conference on Hazardous Waste Research, 10, 1995, Montana.
- ZACARIAS, C. H. Exposição ocupacional a cianetos: uma breve revisão. Revista Intertox de Toxicologia, Risco Ambiental e Sociedade, v. 2, n.3, p. 42-50, 2009.

BIOSSÍNTESE DE GOMA XANTANA A PARTIR DE NUTRIENTES EXTRAÍDOS DO BAGAÇO DE CANA DE AÇÚCAR

Daniela V. Mayrink (IC),^{1*} Maria Rita M. F. da Costa (PQ),² Mario Guimarães Junior (PQ),²⁻³ Enio Nazaré de Oliveira Júnior (PQ)⁴.

¹Universidade Federal de São João del-Rei, Curso de Engenharia de Bioprocessos, ²Universidade Federal de Lavras, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Biomateriais, ³Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Departamento de Eletromecânica, ⁴Universidade Federal de São João del-Rei, Departamento de Química, Biotecnologia e Engenharia de Bioprocessos

E-mail: danielamayrink01@gmail.com, eniobio@ufsj.edu.br

Palavras-Chave: sustentabilidade, meio ambiente, goma xantana, bioprocessos, biotecnologia

Introdução

A goma xantana é uma substância polimérica produzida por bactérias gram-negativas do gênero *Xantomonas* sp. sendo a grande maioria delas consideradas fitopatógenas e capazes de infectar plantas, funcionando como espessante, emulsificante e dispersante (COSTA, 2016). Ela aparece como uma alternativa ao uso de polímeros convencionais e é muito visada pela indústria por características como a pseudoplasticidade, viscosidade elevada em baixas concentrações e a solubilidade em água (GOMES, 2014) determinadas pela composição química, arranjo e as ligações intermoleculares da goma xantana (MEYER et al., 1993; GARCÍA-OCHOA et al., 2000).

O Brasil é um país que importa goma xantana para suprir a demanda nacional. Então, mercadologicamente, pesquisas como essas, se mostram importantes para a melhoria do cenário atual. Isso pode acontecer por meio da produção dessa goma com alto padrão de qualidade e com estratégias para barateamento do processo e do preço final do produto. Para isso, uma das alternativas que ganha destaque nas pesquisas é a utilização de resíduos agroindustriais para extração da fonte de

carbono para o microrganismo, pois, além de baratear o processo, reduz os impactos ambientais referentes ao descarte inadequado de resíduos (COSTA, 2016).

Nesse cenário, a cana-de-açúcar, que é uma planta de grande importância econômica para o Brasil, pode ser utilizada como a fonte de carbono. Isso porque, o bagaço é responsável por 25 a 30% em peso da cana moída, ou seja, um resíduo da ordem de 74 a 88 milhões de toneladas (COWLING & KIRK, 1976).

Os bioprocessos estão relacionados com a utilização de microrganismos para produzir bioativos de interesse industrial. Com isso, a produção da goma xantana se apresenta como uma alternativa cada vez mais relevante e necessária para alinhar o desenvolvimento social, econômico e ambiental do país.

O objetivo do presente trabalho foi monitorar a produção de goma xantana e consumo de sacarose extraída do bagaço de cana-de-açúcar ao longo do tempo.

Procedimento Experimental

Produção da goma xantana

A manutenção da cepa, preparação do YM, produção, precipitação e recuperação da goma foi feita conforme os trabalhos de Nery et. al (2008) e Brandão (2012).

Na Tabela 1, estão listados os componentes do meio de cultivo utilizado para o crescimento da *Xanthomonas campestris* e produção de goma xantana.

Tabela 1- Listagem dos componentes e suas respectivas quantidades para preparar o meio de cultivo

Componentes	Concentração (%m/v)
Bagaço de cana	6
K ₂ HPO ₄	0,1
Ureia	0,01

Fonte: autoria própria (2023)

Todo o cultivo aconteceu utilizando um agitador orbital shaker da marca Eppendorf®, refrigerado a 28°C a 250 rpm durante 5 dias.

Determinação da quantidade de açúcar consumido e goma xantana produzida

A determinação dos açúcares redutores e açúcares redutores totais pelo método do ácido 3,5 – dinitrossalicílico (DNS), por espectrofotometria de acordo com o método proposto por Miller (1959). Para a determinação da produção de goma xantana por dia, foi feito o mesmo procedimento descrito anteriormente a partir da retirada de 2mL de amostra e foi calculado o rendimento da goma em cada dia de cultivo.

Resultados e Discussão

Produção da goma xantana

Para calcular o rendimento de goma xantana, foi feita a razão da quantidade de goma recuperada pelo volume total do meio de cultivo. Os resultados encontrados são expostos na Tabela 2.

Tabela 2- Rendimentos e variáveis em cada batelada

Batelada	Quantidade de goma (g)	Volume total (L)	Rendimento (g/L)
1	2,03	0,950	2,13
2	2,24	0,970	2,31
3	4,43	2,080	2,13
4	4,76	2,000	2,38

Fonte: autoria própria (2023)

No trabalho de COSTA et.al. (2016) foi encontrado um rendimento de 2,81 g/L utilizando o mesmo substrato. Já no trabalho de DINIZ et.al. (2012), encontrou-se para diferentes substratos as concentrações listadas na Tabela 3.

Tabela 3 – Rendimentos encontrados em diferentes substratos

Meio de cultura	Produção média (g.L ⁻¹)	Desvio padrão	Autor
Sacarose	2,42	±0,62	DINIZ et.al. (2012)
Casca de cacau	7,34	±0,41	
Soro de leite	12,01	±0,65	

Fonte: autoria própria (2023)

O resultado obtido no presente trabalho está próximo ao obtido por COSTA et.al. (2016) e a diferença encontrada pode ser explicada pelas diferentes cepas de bactérias utilizadas nos estudos. Se comparamos as produções obtidas neste estudo (2,13 a 2,38 g/L) com a produção do estudo no qual se usou sacarose como substrato (2,42 g/L), pode-se observar que as produções foram muito próximas. Na literatura existem muitos estudos nos quais se utilizam diferentes substratos conforme exemplificado na Tabela 3. Nosso grupo de pesquisa tem trabalhado com muitos substratos e, temos observado que o uso de determinados substratos que contenham outros compostos além de fontes de carbono que podem precipitar junto com a goma após adição de etanol podem apontar “falsos rendimentos”. A metodologia desse trabalho, realiza processos de filtração e centrifugação eficientes, um dos fatores que colabora com a confiabilidade nos resultados apresentados e pureza da goma obtida.

Análise da quantidade de açúcar consumido e goma xantana produzida

Na Tabela 4 são apresentados as concentrações de açúcares totais (g/100mL) e os rendimentos de goma (g/L) ao longo do tempo de cultivo durante 5 dias.

Tabela 4- Concentração de açúcares totais e rendimento de goma xantana ao longo do tempo de cultivo

Tempo (dias)	Açúcares totais (g/100mL)	Rendimento de goma (g/L)
0	28,47±0,48	0
1	16,91±0,10	1,8
2	12,57±0,65	2
3	8,18±0,38	2,1
4	6,34±0,09	2,2
5	2,69±0,10	1,5

Fonte: autoria própria (2023)

Os rendimentos de goma observados ao longo do tempo (Tabela 4), estão de acordo com os valores obtidos nas 04 bateladas apresentadas na Tabela 2, que variaram de 2,13 a 2,38 g/L e foram obtidos após 5 dias de cultivo. Vale ressaltar que os rendimentos apresentados na Tabela 4 foram monitorados a partir da coleta diária de 2mL de amostras de meio de cultivo. Tendo em vista que o rendimento de goma é calculado por gravimetria, notou-se que o volume coletado era pequeno e poderia ocasionar erros e subestimar a produção de goma. O que explica um menor rendimento no 5º dia de cultivo. Para evitar possíveis fontes de erro, o volume a ser coletada nos experimentos futuros serão maiores. Apesar disso, os rendimentos observados até o 4º dia de cultivo estão dentro da faixa de rendimento de goma xantana obtida nas bateladas com volumes maiores descritos na Tabela 2.

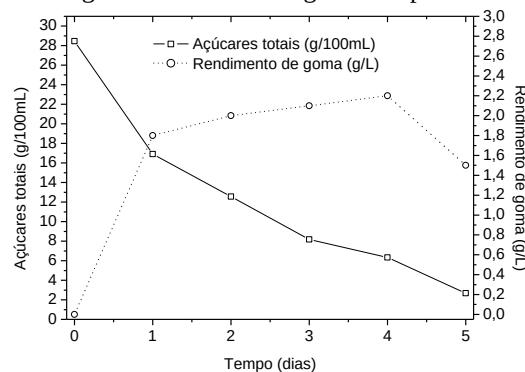
Os teores de açúcares totais reduziram de 28,47 para 2,69 g/100mL durante 5 dias (Tabela

4), ou seja, houve uma redução de 90% dos teores de açúcares que foram consumidos pela bactéria *Xanthomonas campestris* e convertidos em goma xantana.

A Figura 2 mostra a relação entre a quantidade de açúcar consumido e de goma produzida.

Os resultados deste estudo mostram que a produção de goma tende a estabilizar a partir do 3º dia de cultivo (açúcares 8,2 g/100mL e rendimento de goma 2,1 g/L), tendo em vista que o substrato começa a ficar escasso e a produção de goma tende a se manter constante.

Figura 2- Curva de consumo de açúcar e produção de goma xantana ao longo do tempo



Fonte: autoria própria (2023)

Com o auxílio da Tabela 4 e Figura 2, foi possível observar que a produção da goma xantana a partir do dia 3 chegou muito próximo do rendimento final encontrado nas bateladas realizadas durante 5 dias, conforme recomendado pela literatura. Entretanto, os resultados observados neste estudo mostraram que os rendimentos de goma obtidos após 3 dias de cultivo, forma semelhantes aos rendimentos de gomas obtidas após 5 dias. Tais resultados corroboram para redução do tempo do bioprocessamento e custo associado. Vale destacar que atualmente estão sendo realizados novos experimentos, que visam a otimização das

condições de processo, entre as quais, redução do tempo de cultivo, obtenção de maior rendimento, aumento de escala dos biorreatores e realização de bateladas alimentadas.

Conclusão

A produção de goma xantana utilizando a sacarose obtida do bagaço de cana-de-açúcar apresentou rendimento médio de 2,24g/L. A análise dos resultados obtidos referente a produção de goma comprova que a metodologia proposta é eficiente, já que houve o consumo de praticamente todo o açúcar e rendimento próximo aos encontrados na literatura, porém, com processos que garantem maior pureza na goma obtida. Essas análises mostram a viabilidade de produzir como xantana a partir do bagaço de cana de açúcar, já que o Brasil é o maior produtor nesse tipo de indústria, tendo então, grande quantidade de substrato disponível.

Agradecimentos



Referências

BRANDÃO, L. V. **Goma xantana obtida por fermentação da glicerina bruta residual do biodiesel: produção, caracterização e aplicação para fluido de 94 perfuração de poços de petróleo.** 184 p. Tese (Doutorado em Engenharia Química) - Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2012.

COSTA, M. R. M. F. da.; **Aplicação da metodologia de superfície de resposta, modelos cinéticos e transformada Z na**

produção de biopolímeros a partir de substratos alternativos. 121 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal de São João Del-Rei, Ouro Branco, 2016

COWLING E. B, KIRK T. K. **Properties of cellulose and lignocellulosic materials as substrates for enzymatic conversion processes.** Biotechnol. Bioenginee. Symposium., 6: 95-123. Cowling & Kirk, 1976.

DINIZ, D. D. M., DRUZIAN, J. I., & AUDIBERT, S. (2012). **Produção de goma xantana por cepas nativas de Xanthomonas campestris a partir de casca de cacau ou soro de leite.** Polímeros, 22, 278-281.

GARCIA-OCHOA, F. et al. (2000). **Xanthan gum: production, recovery and properties,** *Biotechnology Advances*, n. 7, v. 18, p. 549-579.

GOMES, G. V. P. **Produção simultânea de goma xantana e microfibrilas de celulose pela bioconversão de bagaço de cana por Xanthomonas.** 2014. 148p. Tese de pós graduação - Universidade Federal da Bahia.

MEYER, E.L.; FULLER, G.G.; CLARK, R.C.; KULICKE, W.M. (1993), **Investigation of xanthan gum solution behavior under shear-flow using rheo-optical techniques.** *Macromolecules* 26, 3:504-11.

MILLER, G. L. **Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar.** *Analytical Chemistry* Washington, v. 31, n. 3, p. 426-428, 1959.

NERY, T. B. R.; BRANDÃO, L. V.; ESPERIDIÃO, M. C. A.; DRUZIAN, J. I. **Biossíntese de goma xantana a partir da fermentação de soro de leite: rendimento e viscosidade.** *Revista Química Nova.* v.31, n.8, p. 1937-1941, 2008.

CULTIVO MIXOTRÓFICO DAS MICROALGAS *Chlorella sorokiniana* e *Scenedesmus sp* VISANDO A PRODUÇÃO DE ÓLEOS

Tainá C. I. SILVA (IC),^{1*} Enio Nazaré de Oliveira Junior.²

¹ Universidade Federal de São João del-Rei, Curso de Engenharia de Bioprocessos, ² Universidade Federal de São João del-Rei, Departamento de Química, Biotecnologia e Engenharia de Bioprocessos

*e-mail: tainacignacio@gmail.com

Palavras-Chave: (Biotecnologia, Tratamento de efluentes, Sustentabilidade, Energia).

Introdução

As microalgas são organismos com uma dualidade estrutural, na qual podem ser procariontes ou eucariontes, que formam colônias com nenhuma ou pouca diferenciação celular, além de apresentarem pigmentos que são responsáveis por uma coloração variada e por metabolismo autotrófico. (SCHMITZ et al, 2012).

Dentre as muitas espécies conhecidas, as microalgas são de especial interesse para a obtenção de lipídios a partir de sua biomassa, visto que, adaptam-se com facilidade em condições similares ao ambiente natural e, sob condições adequadas de cultivo, reproduzem-se com facilidade e rapidez, produzindo conteúdos significativos de 20 lipídios, além disso, podem ser cultivadas em águas residuais de estações de tratamento (HE et al., 2016; YANG et al., 2016).

A extração por solventes é vantajosa pelo fato de ser aplicável em escala laboratorial, com baixo custo e resultados rápidos, porém, o uso de solventes apresenta-se em desvantagem quanto à elevada exigência em segurança; no entanto, esses solventes podem ser recuperados e reutilizados no processo (ECKELBERRY, N et al., 2015)

Diversos estudos demonstram que a utilização de algumas técnicas de pré tratamento atuam como coadjuvantes no processo de extração, potencializando-o. Uma

dessas técnicas é a utilização do ultrassom, que pode elevar em mais de 50% o teor de lipídios extraídos da biomassa (GAROMA; JANDA, 2016; SANTOS et al., 2014)

O objetivo deste trabalho foi cultivar sob condições mixotróficas na presença de soro de leite, as microalgas *Chlorella sorokiniana* e *Scenedesmus sp*, e extrair os lipídios das biomassas microalgais secas por meio de solventes orgânicos.

Procedimento Experimental

Os cultivos foram realizados em fotobiorreatores abertos do tipo air-lift de 1 litro de volume útil, monitorados durante 21 dias, numa temperatura média de 25°C, intensidade luminosa de $2,08 \pm 0,06$ klux e vazão de ar de 0,5 L/min. Os fotobiorreatores foram montados em duplicata conforme concentrações descritas na Tabela 1.

Tabela 1 – Concentrações de soro de leite e concentrações do meio basal utilizados nos cultivos de microalgas.

Ensaio	Soro de leite (% v/v)	Meio INTORN (% v/v)	Microalga
1	10	45	<i>C. sorokiniana</i>
2	0	45	<i>C. sorokiniana</i>
3	0	45	<i>Scenedesmus sp</i>

Fonte: Elaborado pela própria autora

Vale ressaltar, que as concentrações utilizadas neste artigo foram obtidas em estudos prévios, nos quais se chegou aos valores otimizados. A microalga da espécie *C. sorokiniana* foi testada em condições mixotróficas e autotróficas, já a *Scenedesmus sp* foi testada somente em condições autotróficas, tendo em vista que estudos prévios demonstraram que esta microalga não cresceu adequadamente em condições mixotróficas.

Os seguintes parâmetros físico-químicos foram analisados a cada 3 dias, durante 21 dias de cultivo: pH, biomassa microalgal medida por DO a 600nm e curva analítica DO versus massa seca (g), determinação da concentração de lactose (mg/L) de acordo com o método de ácido dinitrosalicílico (DNS) segundo MILLER (1959).

No final do cultivo após 21 dias de cultivo, as biomassas microalgais obtidas foram secas em estufa a 60°C até massa constante. A partir das biomassas microalgais secas, os lipídios foram extraídos e quantificados gravimetricamente de acordo com o método proposto por Bligh e Dyer (1959), com algumas alterações. As modificações realizadas no método de Bligh e Dyer (1959) foram, 0,1 g de biomassa de microalgas secas foram levadas ao sonicador por 10 minutos em Desruptor de Célula Ultra-Sônico (Modelo: DES500) que vibrou na potência máxima. Posteriormente, a mistura foi centrifugada a 4700 g por 5 min para separar o sobrenadante. A biomassa residual foi extraída mais duas vezes com o mesmo método. Em seguida, 6 mL de clorofórmio e 6 mL de água foram adicionados ao sobrenadante coletado para garantir uma proporção final de 1:1:0,9 para clorofórmio / metanol / água. O béquer contendo o sobrenadante foi levado para evaporação do solvente em estufa a 60°C por um período de aproximadamente 24 horas. A

massa contida no béquer após evaporação se refere a massa de lipídios extraídos.

Resultados e Discussão

Na Tabela 2 são apresentados os resultados dos parâmetros físico-químicos monitoradas durante 21 dias de cultivo.

Tabela 2 – Valores de pH, biomassa microalgal e teores de lactose Concentrações de soro de leite e concentrações do meio basal utilizados nos cultivos de microalgas.

Ensaio	Dias	pH	Biomassa (g/L)	Lactose (mg/L)
1	0	6,48	0,69±0,13	913,9
	21	8,69	6,18±1,16	26,75
2	0	8,78	0,08±0,02	0
	21	9,82	1,20±0,50	0
3	0	8,18	0,13±0,01	0
	21	9,93	2,00±0,34	0

Fonte: Elaborado pela própria autora

1 - *C. sorokiniana* com soro; 2 - *C. sorokiniana* sem soro; 3 - *Scenedesmus sp* sem soro.

Os valores de pH aumentaram em todos os cultivos (autotróficos e mixotróficos) das microalgas *C. sorokiniana* e *Scenedesmus sp* testadas. Estudos prévios do grupo de pesquisa, utilizando o mesmo meio de cultivo têm demonstrado que as microalgas tendem a alcalinizar o meio com valores finais de pH entre 8 e 9.

A maior concentração de biomassa microalgal foi obtida no cultivo mixotrófico da *C. sorokiniana* foi de 6,18 g/L, enquanto no cultivo autotrófico foi de 1,20 g/L, ou seja, houve um aumento de 80% de biomassa seca. Se compararmos a concentração de biomassa obtida no cultivo mixotrófico de *C. sorokiniana* (6,18 g/L), com a obtida no cultivo autotrófico de *Scenedesmus sp* foi de 2,00 g/L, o aumento foi de 68%. Resende et al., (2018), avaliaram o crescimento mixotrófico de *C. sorokiniana* na presença de soro de leite (20% v/v) e obtiveram

uma concentração de biomassa seca microalgal de 4,79g/L de meio após 18 dias de cultivo. No presente estudo a concentração de biomassa seca microalgal foi de 6,18g/L, utilizando soro de leite (10% v/v) durante 21 dias de cultivo. A produtividade média diária observada neste estudo foi de 0,30g/Ldia, similar a observada por Resende et al., (2018), que foi de 0,27g/Ldia. O teor de lactose no cultivo mixotrófico de *C. sorokiniana* reduziu de 913,9 mg/L para 26,75 mg/L, ou seja, houve uma redução de 97% desta, que foi consumida pela microalga. O resultado deste estudo, está de acordo com os resultados observados por Resende et al., (2018), que relataram reduções de 92,0 a 99,2% nos teores de lactose no cultivo mixotrófico de *C. sorokiniana*.

Na Tabela 3, são listados os teores de lipídios totais (% m/m) por massa seca microalgal.

Tabela 3 – Teores de lipídios totais encontrados nas microalgas *C. sorokiniana* e *Scenedesmus sp.*

Espécie	Cultivo	Teor de lipídios (%) m/m
<i>C. sorokiniana</i>	Autotrófico	10,15±0,78
	Mixotrófico	7,85±2,61
<i>Scenedesmus sp.</i>	Autotrófico	9,55±0,92

Conforme pode ser observado na Tabela 3, os teores de lipídios encontrados neste estudo para as microalgas *C. sorokiniana* e *Scenedesmus sp.*, nas condições de cultivo autotróficos e mixotróficos, não apresentaram diferença significativa entre si, levando-se em consideração os desvios padrões das médias. Apesar de não haver diferença significativa entre as médias de teor de lipídio, a maior concentração de biomassa seca (6,18 g/L), foi obtida para a microalga *C. sorokiniana* cultivada em condições mixotróficas e portanto

a maior produção de lipídio será obtida para esta microalga nessa condição de cultivo.

Por outro lado, os valores obtidos nesse estudo, estão abaixo dos resultados relatados na literatura para as microalgas *Botryococcus braunii* (32,6~36,9%) (Pérez-Mora et al., 2016), *Ankistrodesmus braunii* (38~39%) (Bresaola et al., 2019) e *Chlorella vulgaris* (38,45~43,85%) (Oliveira, 2021). Os baixos teores de lipídios observados nesse estudo, podem ter ocorrido devido às condições de extração adotadas, e para que tais diferenças sejam explicitadas, serão realizadas mudanças nas condições de extração nos próximos experimentos, sobretudo no que diz respeito a proporção biomassa microalgal em relação ao volume de solventes utilizados na extração.

Conclusão

O cultivo mixotrófico da microalga *C. sorokiniana* mostrou-se muito eficiente na redução do teor de lactose em 97%, principal componente do soro responsável pela carga poluente de efluentes gerados em laticínios. Além da microalga *C. sorokiniana* reduzir a carga poluente do soro de leite, a biomassa produzida foi muito superior se comparada com as biomassas obtidas nos cultivos na ausência de soro (autotróficos). Nos experimentos futuros serão adotadas modificações nos métodos de extração visando a melhoria do rendimento, e lipídios obtidos serão caracterizados por cromatografia gasosa para verificar a composição dos ácidos graxos e possíveis aplicações destes lipídios.

Agradecimentos

Gostaria de expressar meu agradecimento aos amigos, tutor e a FAPEMIG pelo seu apoio essencial na realização deste artigo.

Suas contribuições foram fundamentais para o sucesso deste trabalho. Sou extremamente grata por fazer parte dessa comunidade acadêmica e espero continuar contribuindo para o avanço do conhecimento.

Referências

BRESAOLA,M;MAROCHO JÁCOME,A;MATSUDO,M.**Semi-continuos process as a promising technique in *Ankistrodesmus braunii* cultivation in photobioreactor.** Journal of Applied Phycology 31:2197–2205, 2019.

BLIGH, E. & DYER, W.J. **Rapid method of total lipid extraction and purification.** Can. J. Biochem. Physiol. (1959).

DE OLIVEIRA NUNES,IVAN VENÂNCIO et al. **Tertiary treatment of dairy industry wastewater with production of *Chlorella vulgaris* biomass: evaluation of effluent dilution.** Brazilian Journal of Environmental Sciences (Online), v. 56, n. 2, p. 365-373, 2021.

ECKELBERRY, N.; GREEN, M. P .; FRASER, S. A. **Systems And Methods For 22 Extracting Non-Polar Lipids From An Aqueous Algae Slurry And Lipids Produced Therefrom.**United States Patent: US9085745B2, v. 2, Data da Patente: 21 Jul. 2015

GAROMA,T; JANDA,D . **Investigation of the effects of microalgal cell concentration and electroporation, microwave and ultrasonication on lipid extraction efficiency.** Rebewable Energy. v.86,p 117-123, 2016.

HE, Y.; WANG, Y.; SONG, X. **High-effective denitrification of low C/N wastewater by combined constructed wetland and biofilm-electrode reactor (CW–BER).** Bioresource Technology, n. 203, p. 245-251, 2016.

MILLER,G. **Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar.** Analytical chemistry , v.3 , p 426-428,1959

PÉREZ-MORA,L.S. et al. **Na investigatiopn of producing *Botryococcus braunii* in tubular photobioreactor.** Journal of Chemical Technology \$ Biotechnology, 2016.

RESENDE , A. R. ; DE PAULA Jr., P. H. ; CASTRO, G. P. ; OLIVEIRA Jr., E. N. ; **"Cultivo da microalga utilizando efluente de laticínio como meio de cultivo alternativo"** p. 1978-1981 . In.:São Paulo: Blucher, 2018. ISSN 2359-1757, DOI 10.5151/cobeq2018-PT.0523

SANTOS, R; MOREIRA, D; KUNIGAMI, C; ARANDA, D; TEIXEIRA, C. **Comparison between several methods of total lipid extraction from *Chlorella vulgaris* biomass.** Ultrasonics sonochemistry, v. 22, p. 95–99, 2014.

SCHMITZ ,R ; MAGRO,C; COLLA,L. **Aplicações ambientais de microalgas.** Revista CIATEC-UPF, v.4, p.p 48, 2012.

YANG,I;SALAMA,E;KIM,J;GOVINDWA R,S;KURADE,M;LEE,M;ROH,H;JEON.B. **Cultivation and harvesting of microalgae in photobioreactor for biodiesel production and simultaneous nutrient removal.** Energy Conversion and Management, v. 117, p. 54-62,2016.

OTIMIZAÇÃO DO CRESCIMENTO DE *Aspergillus niger* NA PRESENÇA DE CIANETO

Jane Aparecida M. Nogueira (IC)^{1*}, Késia C. Costa Maia (IC)¹, Isabel C. Braga Rodrigues²

¹ Universidade Federal de São João del-Rei (UFSJ), Curso de Engenharia de Bioprocessos

² Universidade Federal de São João del-Rei, Departamento de Química, Biotecnologia e Engenharia de Bioprocessos.

*e-mail: kesiacrism@gmail.com

Palavras-Chave: *Cianeto, Aspergillus niger, Otimização, Biodegradação.*

Introdução

Embora a industrialização tenha trazido grandes avanços para a sociedade, cresceu-se o número e a magnitude de impactos ambientais devido ao descarte inadequado dos efluentes gerados. Assim, a busca por tratamentos que reduzam a concentração dos contaminantes existentes nos efluentes industriais tem aumentado (DUTRA et al., 2002).

Cada atividade produtiva demanda diferentes matérias primas e reagentes, e é notável que estes caracterizem o efluente final gerado pelos diferentes tipos de indústrias. Por exemplo, o processo siderúrgico que utiliza o carvão mineral como combustível nos altos-fornos, produz efluentes gasosos que contém além dos finos de carvão, uma série de produtos oriundos da queima deste carvão, dentre eles o cianeto. A lavagem desses gases evita que esses compostos tóxicos cheguem à atmosfera, no entanto, geram efluentes líquidos contaminantes dos cursos d'água (SANTOS 2010).

Os processos biológicos para tratamento de efluentes industriais com alta carga tóxica, como é o caso do cianeto, têm se mostrado atrativos. E, os fungos, como é o caso do '*Aspergillus niger*', é uma grande aposta para integrar o processo biológico, por possuírem maior robustez para crescer e adaptar em meios que recebem cargas de compostos tóxicos (DASH et al., 2009).

Dessa forma, o objetivo deste trabalho foi otimizar o crescimento de culturas de *Aspergillus niger*, por meio da produção de biomassa, da presença de cianeto a fim de analisar o potencial do microrganismo na remoção deste contaminante em efluentes líquidos gerados pelas indústrias siderúrgicas.

Procedimento Experimental

1. Microrganismos e meio de cultivo

Para realizar os experimentos foram utilizados inóculos de uma cultura de *Aspergillus niger* já cultivada no Laboratório Biotecnológico da Universidade Federal de São João del Rei, Campus Alto Paraopeba. O meio de cultura adotado para o crescimento do fungo foi o *Czapeck Dox* referenciado no trabalho de Das e Santra (2011).

2. Adaptação de *A. niger*

De acordo com as recomendações do fabricante, preparou-se o meio de cultura com concentração de 35 g L⁻¹, para um volume final de 100 mL em cada *erlenmeyer*. As cepas foram, então, previamente adaptadas em condições crescentes de pH (de 7,0 a 10,5). E, posteriormente, em concentrações crescentes de cianeto (de 5 a 40 mg L⁻¹). Esta cultura adaptada foi utilizada para continuidade dos experimentos.

As soluções contendo cianeto foram manipuladas sempre em pH acima de 9,5 para garantir a não formação do gás cianídrico (HCN) e consequentemente a sua volatilização.

3. Determinação da biomassa

Determinou-se a concentração de biomassa através da técnica de gravimetria. Neste caso, foi realizado com um papel filtro determinando o peso da massa seca pela diferença antes e após a filtração do meio de cultivo.

4. Cinética de crescimento

Avaliou-se a cinética de crescimento do *A. niger* em meio *Czapeck Dox* em diferentes pH 7,0; 8,5 e 10,0. Todos os experimentos foram executados em triplicata.

O mesmo procedimento foi usado para avaliar a cinética de crescimento de *A. niger*, em meio suplementado com 5; 10 e 20 mg L⁻¹ de cianeto. Neste caso, o meio de cultivo foi mantido em pH 10,0.

5. Dosagens de cianeto livre

Para dosagem de cianeto livre utilizou-se o *Kit Hach* pelo método *Hach 8027 Pyridine-Pyrazalone* para faixa de detecção de 0,001 a 0,240 mg L⁻¹ de CN⁻. Ao adicionar os reagentes do *kit* à amostra, na presença de cianeto o meio adquire cor rosa nos primeiros minutos e em seguida coloração azul. As determinações foram feitas em espectrofotômetro em 612 nm.

6. Otimização da remoção de cianeto através do planejamento fatorial 2²

O delineamento experimental foi conduzido por meio de 4 ensaios, seguindo um planejamento experimental fatorial 2² com 4 repetições no ponto central.

Vale ressaltar que foi executado paralelamente um experimento abiótico, ou seja, nas mesmas condições descritas, porém sem inóculo microbiano.

Foram utilizadas as planilhas em Excel® disponibilizadas por Teófilo e Ferreira (2006) para análise estatística dos dados ($p \leq 0,1$).

1. Adaptação de *A. niger*

No meio de cultura utilizado neste trabalho a fonte de carbono foi a sacarose e o nitrato de sódio a fonte de nitrogênio, estes nutrientes estavam na proporção de (10:1). O fungo não se desenvolveu na forma de hifas, mas em forma de *pellets*, que são pequenas esferas formadas pelo conjunto de micélios e a formação desses pelo gênero *Aspergillus* ocorre devido à agregação de esporos no início da germinação (DAS e SANTRA, 2011).

No final da fermentação observou-se também um decréscimo no pH do meio, sendo que a espécie *Aspergillus niger* é conhecida pela sua capacidade de produzir ácido cítrico, podendo levar o pH até valores próximos a 2 (GRIFFIN, 1994).

2. Cinética de crescimento *A. niger*

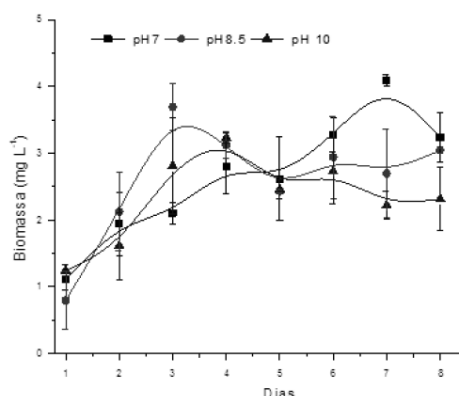
O perfil de atividade proliferativa do *Aspergillus niger* sob condições diferentes de pH apresentou o comportamento próximo ao padrão sigmoide, como mostrado na figura 1. Como o inóculo utilizado neste experimento foi procedente de uma cultura pré-adaptada em meio *Czapeck-Dox*, não se observou fase de adaptação (fase lag).

Macedo (2009) relata que espécies do gênero *Aspergillus* crescem em pH que varia entre 2 a 11, mas a velocidade de crescimento sofre retardo à medida que o pH de 5,0. Foi possível observar que a fase log estendeu-se até o sétimo dia na cultura em pH 7,0, na qual o valor da biomassa foi superior a todos os outros pontos ao final do experimento. Já nas culturas com pH 8,5 e 10,0, nota-se que o crescimento linear se alongou até o segundo dia.

A maior taxa de crescimento (0,981 dia⁻¹) ocorreu em pH 8,5, seguida por 0,409 dia⁻¹ em pH 10,0 e 0,258 dia⁻¹ em pH 7,0.

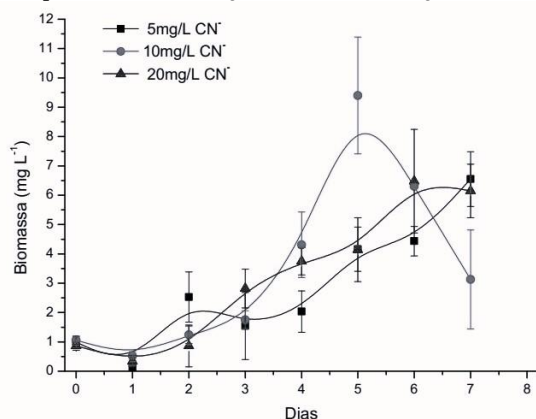
Figura 1 – Cinética de crescimento de Aspergillus niger em meio Czapeck-Dox e variação do pH

Resultados e Discussão



O crescimento da cultura de *A. niger* utilizando meio suplementado com cianeto nas respectivas concentrações 5, 10 e 20 mg L⁻¹ está mostrado na figura 2. Nesse sistema, foi possível observar fase lag de crescimento celular até o segundo dia para as concentrações de 10 e 20 mg L⁻¹ e até o terceiro dia para a concentração de 5 mg L⁻¹.

Figura 2 – Cinética de crescimento de *A. niger* em meio Czapeck-Dox e variação das concentrações de CN⁻



Os valores das taxas máximas de crescimento específico ($\mu_{\text{máx}}$) para os cultivos, descritos na figura 2, mostraram que *A. niger* apresentou melhor taxa de crescimento (0,698 dia⁻¹) para o meio suplementado com 10 mg L⁻¹ de CN⁻, comparado com 0,185 dia⁻¹ para 5 mg L⁻¹ e 0,260 dia⁻¹ para 20 mg L⁻¹. Esses valores sugerem que a presença de cianeto favoreceu o crescimento celular, podendo este íon estar

sendo utilizado como fonte de nutriente para as células de *A. niger*.

Esses ensaios cinéticos foram necessários, por permitiu-se analisar o comportamento do crescimento fúngico na presença e ausência de cianeto. Contudo, também foram úteis para estimar o tempo necessário para condução do planejamento fatorial.

3. Planejamento fatorial

Foram otimizados o pH e a concentração de CN⁻, frente à produção de biomassa e remoção deste íon. Estes resultados são mostrados na tabela 1.

TABELA 1: Planejamento Fatorial para as variáveis independentes pH e concentração de CN⁻ e as respostas concentração de biomassa (mg L⁻¹) e remoção de CN⁻.

	pH	[CN ⁻] (mg L ⁻¹)	[Biomassa] (mg L ⁻¹)	pH final	Remoção de CN ⁻ (%)
1	9,5 (-1)	2,5 (-1)	4.811	3,15	99,6
2	10,5 (+1)	2,5 (-1)	23.247	3,35	99,6
3	9,5 (-1)	12,5 (+1)	18.581	2,85	100
4	10,5 (+1)	12,5 (+1)	29.873	2,85	99,9
5	10,0 (0)	7,5 (0)	13.767	2,75	100
6	10,0 (0)	7,5 (0)	22.113	2,78	99,9
7	10,0 (0)	7,5 (0)	15.704	2,92	100
8	10,0 (0)	7,5 (0)	21.250	2,82	99,7
9*	10,0 (0)	7,5 (0)	0,197	7,12	99,6

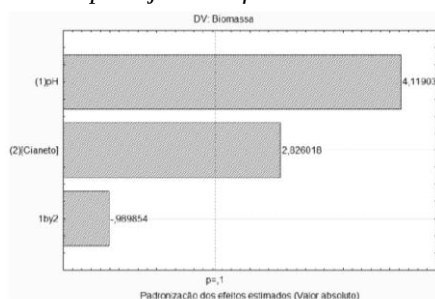
*Controle abiótico

Por meio dos resultados experimentais torna-se sugestivo afirmar que os valores encontrados para a remoção de cianeto foram inconclusivos, uma vez que mesmo em meio abiótico o percentual de remoção do íon foi de 99,6%. Estes valores podem ter ocorrido, pois não foi avaliada a possibilidade de interferência na dosagem de cianeto pelos componentes do meio de cultivo, principalmente cloretos. Sendo assim, o método de dosagem de CN⁻ livre utilizado não foi validado.

Em contrapartida, a formação de biomassa teve efeito positivo, servindo como base para uma discussão mais concisa e fins preditivos da possibilidade de *A. niger* atuar na biodegradação de cianeto em efluentes industriais.

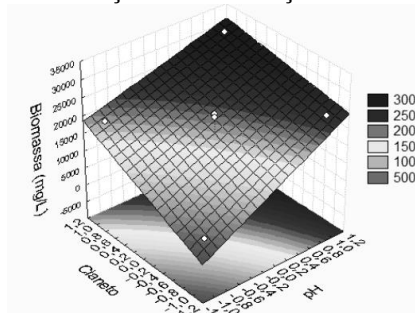
No gráfico de Pareto (Figura 3) pode ser visualizada essa análise, o pH e a concentração de cianeto tiveram influência significativa e positiva para a formação de biomassa, enquanto a interação entre estas variáveis não apresentou significância.

Figura 3 - Diagrama de Pareto para o efeito estimado de cada variável (pH e concentração de cianeto) do planejamento fatorial 2^2 .



Através da superfície de resposta, recomenda-se trabalhar com o pH e concentração de cianeto em níveis mais altos (Figura 4).

Figura 4 – Superfície de resposta da concentração de biomassa em relação à concentração de CN^- e pH



$$\text{Biomassa} = 18,7 + 7,4xpH + 5,1x[CN^-] - 1,8xpHx[CN^-]$$

Conclusão

O pH no qual a cultura de *Aspergillus niger* apresentou maior taxa de crescimento foi 8,5 e este também apresentou boa adaptação em pH 10. A presença de cianeto no meio de cultura não inibiu o crescimento do fungo e contribuiu para uma maior formação de biomassa. A concentração de cianeto que teve maior impacto sobre a taxa de crescimento fúngico foi 10 mg L^{-1} com $\mu_{\text{máx}}$ de $0,698 \text{ dia}^{-1}$.

Com base no planejamento experimental tanto a variável pH quanto a concentração de cianeto tiveram influência sobre a formação de biomassa. No entanto, os resultados para a remoção de cianeto foram inconclusivos, uma vez que o método de dosagem de CN^- livre utilizado não foi validado.

Referências

DAS, S.; SANTRA, S. C. Cyanide degradation by *Aspergillus niger* strain isolated from steel-plant wastewater. *Electronic Journal of Environmental, Agricultural and Food Chemistry*, v. 10, n. 8, p. 2670-2675, 2011.

DASH, R.R; GAUR, A; BALOMAJUMDER, C. Cyanide in industrial wastewaters and its removal: A review on biotreatment. *Journal of Hazardous Materials*, v.163, p. 1-11, 2009.

DUTRA, A. J. B.; SOBRAL, L. G. S.; LEMOS, F. A.; SANTOS, F. H. S. O processo eletroquímico como alternativa para o tratamento de efluentes cianídricos. *Revista Escola de Minas*, v.55, n.4, p. 267-272, 2002.

GRIFFIN, D.H. **Fungal Physiology**. Wiley-Liss, New York, 1994. .

MACEDO, L. N. *et al.* Estudo da Influência de Variáveis de Processo na Produção de Lipases por Fungo Filamentoso. In: **Simpósio Nacional de Bioprocessos**, 07, 2009, Rio de Janeiro. Anais... Natal RN: Embrapa, P. 01-05, 2009.

ROSSI, G. F. Análise dos processos de polpação do bagaço da cana-de-açúcar: estudo termocinético da influência da antraquinona no tratamento alcalino. 2012. 137f. Tese (Doutorado em Engenharia Química). Universidade Estadual de Campinas. São Paulo.

SANTOS, A.L. Inventário dos rejeitos, efluentes e subprodutos, das indústrias siderúrgicas integradas na fabricação de aço líquido. 2010.79f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia metalúrgica) – Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

TEÓFILO, R. F; FERREIRA, M.M.C. Quimiometria II: planilhas eletrônicas para cálculos de planejamentos experimentais, um tutorial. *Química Nova*, v. 29, n. 2, p. 338-350, 2006.

SISTEMA SIMPLIFICADO DE TRATAMENTO DE ESGOTO:
ASSOCIAÇÃO DE FILTRO ANAERÓBIO e *Wetlands***Ana Paula Almeida Costa¹ (IC), Edson Romano Nucci¹ (PQ).**¹Universidade Federal de São João del-Rei, Departamento de Química, Biotecnologia e Engenharia de Bioprocessos (DQBIO).*e-mail: nucci@ufsj.edu.brPalavras-Chave: *Filtro anaeróbio, esgoto bruto, tampas de embalagem.***Introdução**

Embora o Brasil figure entre as dez maiores economias do mundo, metade de sua população não tem acesso à rede coletora de esgoto, considerando apenas a população urbana cerca de quarenta e três por cento dos habitantes não possui coleta de esgotos (SNIS, 2014).

A gestão dos efluentes no Brasil reflete a sua desigualdade, enquanto parte da população experimenta ações corretivas que implicam na coleta e tratamento parcial do esgoto, a outra metade da população ainda está na fase pré-higienista convivendo em contato com seu próprio rejeito (TUCCI 2008).

O foco do presente trabalho é o desenvolvimento de tecnologia capaz de superar as limitações técnicas e financeiras apresentando aos moradores de comunidades urbanas desprovidas de saneamento uma alternativa viável e independente para a destinação do seu esgoto.

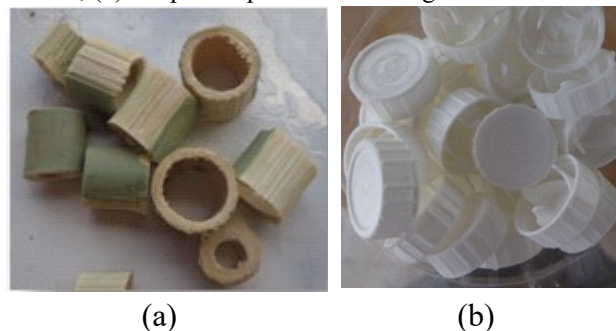
O presente trabalho apresenta uma alternativa para o tratamento de esgoto doméstico de residências de ocupação irregulares como favelas, tendo como base: simplicidade de implantação e operação, bem como baixo custo. Para tanto foi realizado o estudo de um filtro biológico anaeróbio, como tecnologia de tratamento de esgoto bruto, utilizando dois diferentes meios suportes

(tampas de embalagem longa vida e anéis de bambu).

Metodologia

Foi projetado, construído e testado um sistema anaeróbio de tratamento de efluentes em escala laboratorial a partir de materiais descartáveis e de baixo custo (Figura 1).

Figura 1 – Exemplo de materiais utilizados: (a) anéis de bambu; (b) tampinhas plásticas embalagem PEAD.



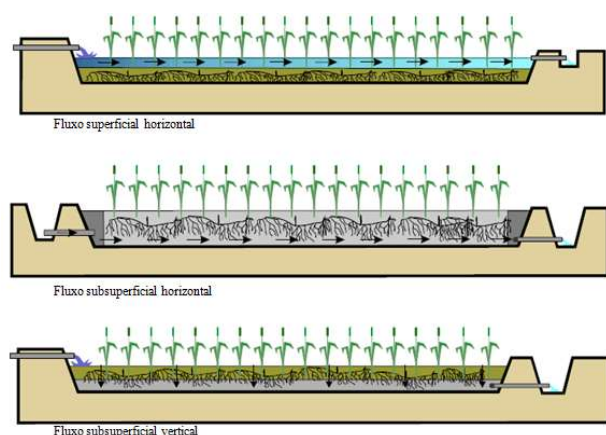
Foi também proposto um dimensionamento em escala real, bem como uma alternativa para os efluentes gerados pelo filtro, seguindo ainda a linha de simplicidade operacional e baixo custo.

O filtro anaeróbio proposto foi construído e testado em relação aos Sólidos Totais Fixos (STF) e Orgânicos (STV) e quanto a Demanda

05 a 07 de julho de 2023
 Ouro Branco, Minas Gerais, Brasil

Química de Oxigênio (DQO), foi também extrapolado para a escala real de uso individual, de modo que sua construção e operação possam ser efetuadas pelos próprios moradores das comunidades. Como alternativa para o efluente do uso dos filtros em escala real foi proposto a construção do sistema de *Wentlands* (Figura 2).

Figura 2 – Esquema representando Fluxo Superficial Horizontal de um *Wetland* (SALATI; SALATI FILHO e SALATI ENEIDA, 2003)



Resultados e Discussão

Os resultados foram analisados em função dos parâmetros Demanda Química de Oxigênio (DQO), Sólidos Totais Fixos (STF) e Sólidos Totais Orgânicos (STV), segundo suas concentrações médias finais.

A possibilidade de uso do filtro de bambu foi rejeitada uma vez que houve aumento da DQO e dos sólidos em virtude da degradação do meio, já o filtro de tampas de PEAD apresentou ótima eficiência com redução de cerca 70% de DQO e 60% de sólidos voláteis.

As Figuras 3, 4 e 5 ilustram os resultados obtidos.

Figura 3 – Amostras utilizadas para as análises

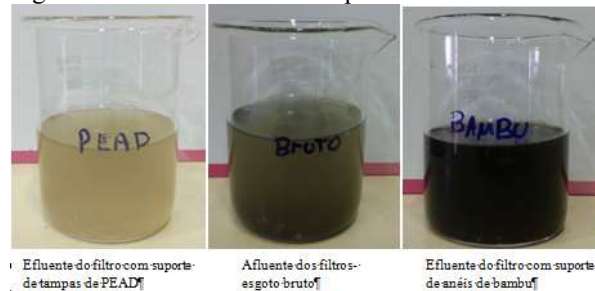


Figura 4 – Sistema reservatório filtro anaeróbico: (a) antes e (b) após o preenchimento.



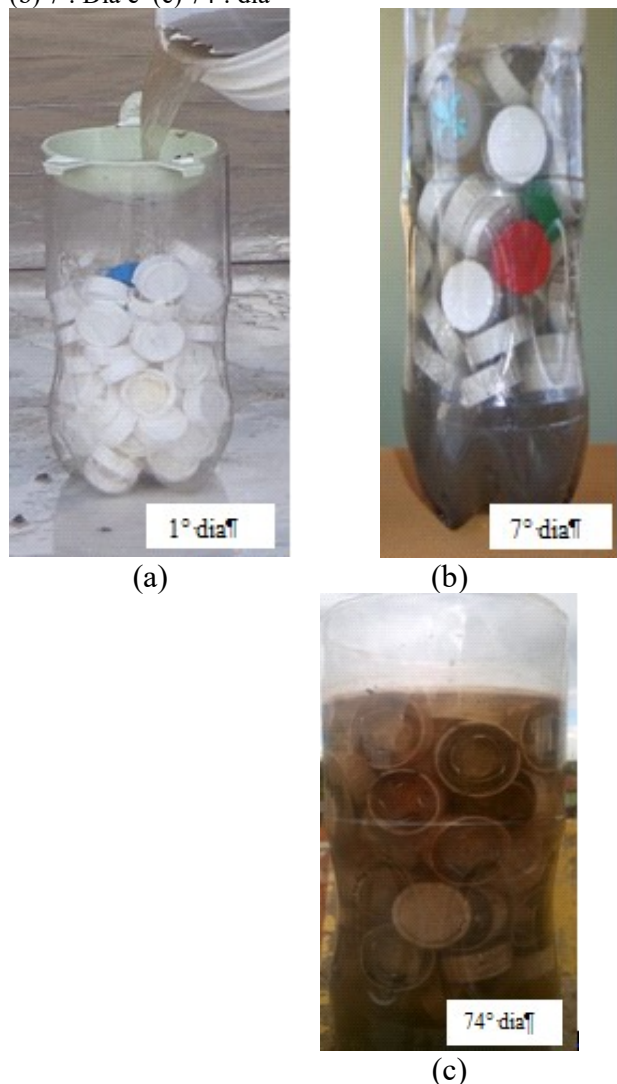
(a)



(b)

Os resultados dos valores de DQO (mg/L) foram: Esgoto Bruto com 983,53 e pH 7.55; Filtro recheio bambu com 1272,09 e pH 8.16 e Filtro recheio tampas de PEAD com 306,22 e pH 7.59.

Figura 5 – Evolução do crescimento do biofilme: (a) 1º. Dia; (b) 7º. Dia e (c) 74º. dia



simplificado de baixo custo de implantação para o tratamento de esgoto de residências urbanas sem acesso a rede coletora de esgotos, tendo wetlands como complemento para finalizar a remoção de poluentes.

Referências

SALATI, Eneas; SALATI FILHO, Eneas; SALATI, Eneida. Utilização de sistemas de wetlands construídas para tratamento de águas. **Biológico, São Paulo**, v. 65, n. 1/2, p. 113-116, 2003.

SNIS; Sistema Nacional de Informações de Saneamento. Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos – 2014. Ministério Nacional de Saneamento Ambiental.

TUCCI, Carlos EM. Águas urbanas. **Estudos avançados**, v. 22, n. 63, p. 97-112, 2008.

Conclusão

Verificou-se a redução de DQO (70%) e a redução de sólidos voláteis (60%) onde foi descartado o uso do filtro com anéis de bambu como meio suporte, uma vez que devido à degradação do material houve aumento da DQO e dos sólidos. A eficiência obtida no filtro com tampas de PEAD comprova a possibilidade do uso deste filtro em um sistema

TRATAMENTO QUÍMICO DO CARVÃO DE OSSO BOVINO COMO MATERIAL DE ANODO EM CÉLULAS DE ENERGIA MICROBIANA

Ana C. B. Nascimento (IC),¹ Wilquer C. Laurindo (IC),^{2*} Isabel C. B. Rodrigues (PQ).³

¹ Universidade Federal de São João del-Rei, Curso de Engenharia Química

² Universidade Federal de São João del-Rei, Curso de Engenharia de Bioprocessos,

³ Universidade Federal de São João del-Rei, Departamento de Química, Biotecnologia e Engenharia de Bioprocessos.

*e-mail: acarolinabraga@aluno.ufsj.edu.br

Palavras-Chave: *Sistemas bioeletroquímicos, Bactérias redutoras de sulfato, Demanda química de oxigênio*

Introdução

Uma tecnologia emergente e promissora, que permite tratar efluentes paralelamente à geração de energia elétrica, são os sistemas bioeletroquímicos, mais especificamente as Células de Energia Microbianas (CEM). Uma CEM típica é um biorreator constituído por duas câmaras separadas por uma membrana semipermeável, nos quais culturas microbianas doam elétrons gerados no metabolismo a anodos, estes elétrons são transferidos para um catodo em outra câmara, via circuito externo. Para isso é necessário um biofilme exoeletrogênico, formado por microrganismos capazes de transferir os elétrons gerados pela oxidação anaeróbica diretamente para um eletrodo sólido (LOGAN, 2009).

Recentemente, foi sugerido que bactérias redutoras de sulfato (BRS) têm natureza eletroativa, característica que permite que essas bactérias sejam utilizadas em células de energia microbiana (ZHOU et al., 2013).

Um fator que limita a prática das CEM ainda é a baixa produção de energia elétrica. O material do anodo tem papel importante neste processo, uma vez que pode afetar tanto a formação do biofilme bacteriano, como também o fluxo de elétrons. Os materiais mais utilizados para anodos de CEM são o carbono grafite e carvões ativados. O carvão de ossos bovinos composto por fosfato de cálcio e carbono tem pode ser uma boa alternativa como

material de anodo devido a elevada área superficial e também poder atuar como leito para formação de biofilme (HINDATU et al., 2017).

Este trabalho procurou avaliar a geração de potencial e a remoção de matéria orgânica utilizando carvão de ossos bovinos tratados com sulfatos (ácido sulfúrico, sulfato de sódio e sulfato ferroso) como material de anodo, as células foram inoculadas com culturas enriquecidas em BRS.

Procedimento Experimental

1. Montagem e operação dos reatores

As CEM foram montadas utilizando cilindros PVC soldáveis de 40 mm de diâmetro, possuindo orifícios (septos) na parte superior para permitir a adição de nutrientes, saída de gases e instalação dos eletrodos. Os septos foram vedados utilizando borracha butílica e os eletrodos fixados utilizando resina epóxi. As câmaras foram separadas com auxílio de uma luva de PVC e no interior da luva foi fixada uma membrana de nitrocelulose para microfiltração de 0,22 µm de poro.

O catodo e o anodo foram construídos de barras de grafite cilíndricas, retiradas de pilhas do tipo D, com 60 mm de altura e 5 mm de diâmetro. Além disso, a câmara anódica foi preenchida com carvão de osso com e sem tratamento com ácido sulfúrico ou sais contendo o íon sulfato (Na₂SO₄ ou FeSO₄.7H₂O). O circuito foi fechado utilizando

fios de cobre e um resistor de 10.000 Ω . O reator foi preenchido com meio de cultura e inoculado com 20 mL de cultura enriquecida em BRS.

As CEM foram operadas em batelada por 25 dias e não foi adicionado sulfato ao meio de cultura, uma vez que o carvão foi tratado com reagentes sulfatados. Foram utilizados dois experimentos controle, um utilizando o carvão não tratado e outro sendo uma célula sem carvão na câmara anódica, para estes dois controles foi adicionado sulfato ao meio de cultura para não prejudicar o crescimento das BRS. o final dos ensaios as CEM foram abertas e o efluente recolhido para determinação do pH final, do potencial redox do meio (Eh), da DQO e da concentração residual de sulfato. O potencial das CEM foi medido diariamente utilizando um multímetro digital.

2. Tratamento do carvão de ossos

Foi realizado tratamento do carvão de osso (Bonechar®) com soluções de ácido sulfúrico 0,2 mol L⁻¹, sulfato de sódio 0,2 mol L⁻¹ e sulfato ferroso 0,2 mol L⁻¹. Para cada grama de carvão foram utilizados 20 mL de solução, esta suspensão foi mantida em agitação (110 min⁻¹) por 2 h. Após cada batelada, os carvões tratados foram recuperados por filtração, lavando-se os mesmos até pH próximo da neutralidade (tratamento com ácido sulfúrico) ou lavados 6 vezes (tratamentos com sais neutros). Posteriormente, procedeu-se a secagem em estufa a 100°C por 24 horas.

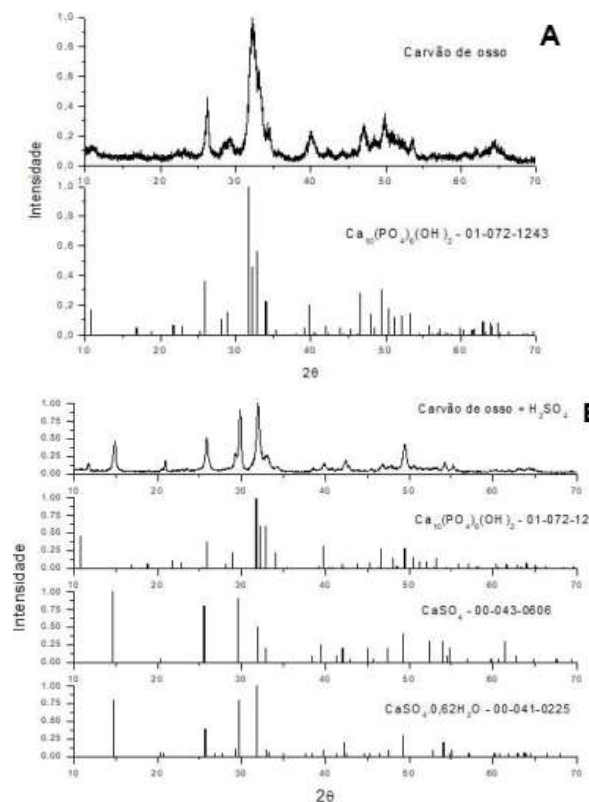
3. Caracterização do carvão de osso

O carvão de osso e os carvões modificados foram caracterizados por difração de raios X (DRX), microscopia eletrônica de varredura e espectroscopia de energia dispersiva (MEV-EDS). Também foi determinado o pH do carvão após tratamento, a condutividade de uma suspensão aquosa dos carvões tratados e o ponto de carga zero (PCZ).

Resultados e Discussão

A análise de difração de raios-X demonstrou a presença majoritária de hidroxiapatita ($\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$) no carvão de osso, não sendo encontradas outras fases por esta técnica (Figura 1 - A). Os tratamentos com Na_2SO_4 e FeSO_4 não alteraram a composição majoritária do carvão de osso. O ácido sulfúrico reagiu com o fosfato de cálcio produzindo sulfato de cálcio (Figura 1 - B). As imagens de MEV-EDS confirmaram as observações da difratometria de raios X (não mostrado).

Figura 1 - Difração de raios-X para o carvão de ossos bovinos (Bonechar®)



De acordo com a tabela 1 observa-se que ocorreu a diminuição do PCZ ao tratar o carvão, mas apenas a superfície do carvão tratado com

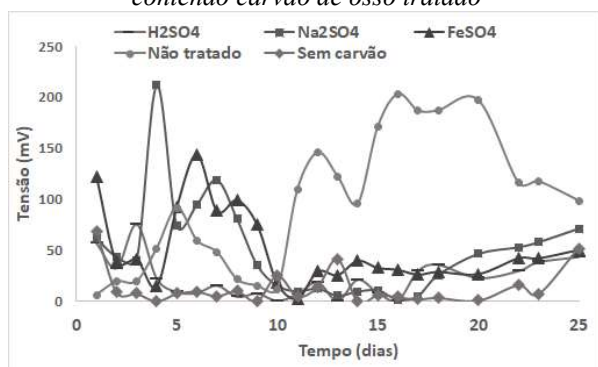
H₂SO₄ ficou positiva, uma vez que o pH de meio < pH(PCZ) (ARAÚJO, 2018).

Tabela 1 - PCZ e pH em meio aquoso do carvão de osso sem tratamento e tratado

Carvão	pH(PCZ)	pH do carvão
Não tratado	7,72 ± 0,14	8,95 ± 0,006
Ácido sulfúrico	6,21 ± 0,09	4,48 ± 0,006
Sulfato ferroso	6,45 ± 0,13	6,66 ± 0,020
Sulfato de sódio	7,31 ± 0,07	8,46 ± 0,020

A figura 2 mostra a evolução da diferença de potencial com o tempo das CEM construídas com carvões tratados e dos controles.

Figura 2: Diferença de potencial gerada pelas CEM contendo carvão de osso tratado



Observa-se que a utilização de carvão de osso como material de anodo, independente do tratamento, foi fundamental para aumentar a produção de energia, uma vez que a CEM sem carvão de osso no anodo não produziu diferença de potencial considerável. A CEM com carvão de osso sem tratamento mostra elevação considerável na produção de energia, chegando a um potencial máximo de 204 mV e mantendo potencial mais elevado que as demais até o final dos experimentos. O tratamento com sais contendo sulfato pode ter alterado a superfície do carvão de forma que a formação do biofilme eletrogênico foi prejudicada.

A tabela 2 mostra os valores obtidos de redução da DQO, após 25 dias de experimento. Observa-se percentuais de remoção acima de 85%, indicando melhor desempenho das CEM

em relação aos reatores anaeróbios convencionais, nos quais valores máximos de remoção de DQO estão em torno de 70% (SANTOS, et al., 2017). Apesar do desempenho inferior na produção de energia, os maiores valores de remoção de DQO foram as células contendo carvão tratado com sulfato ferroso e ácido sulfúrico (96%), demonstrando que a remoção de DQO não foi relacionada à produção de energia. Fato este que pode ser explicado pela competição entre arqueias metanogênicas e microrganismos com capacidade eletrogênica, como as BRS. As primeiras consomem a matéria orgânica, mas não são capazes de transferir elétrons para um eletrodo sólido e, dessa forma, fazem com que a produção de energia nestes sistemas seja significativamente reduzida (ISOSAARI e SILLANPÄÄ, 2017).

Tabela 2: Remoção de DQO para CEM utilizando carvão de osso tratado

Célula	Remoção de DQO (%)
1) Ácido sulfúrico	96 ± 1
2) Sulfato de sódio	93 ± 1
3) Sulfato ferroso	96 ± 1
4) Não tratado	90 ± 4
5) Sem carvão	86 ± 3

A tabela 3 mostra os valores do pH e Eh (potencial redox) do efluente das CEM ao final do experimento e, ainda, para facilitar a discussão, retoma os valores do PCZ dos carvões, bem como o pH dos mesmos em água.

De acordo com os dados apresentados na tabela 3, o carvão de osso tem características alcalinas (pH 8,95), que não foram alteradas pelo tratamento com sulfato de sódio (pH 8,46). Por outro lado, o tratamento com sulfato ferroso reduziu o pH do carvão até um valor mais próximo da neutralidade (pH 6,66) e o

tratamento com ácido sulfúrico reduziu ainda mais este valor (pH 4,48). Após inoculação das CEM com culturas enriquecidas em BRS e operação por 25 dias, houve tendência de manutenção da neutralidade do meio, fato justificado pelo próprio metabolismo das culturas anaeróbias mistas contendo BRS que geram alcalinidade nos sistemas (BERTOLINO et al., 2012). Apenas a CEM cujo carvão foi tratado com H_2SO_4 apresentou pH do efluente final ácido (5,38) indicando que a redução do pH do carvão pode ter influenciado negativamente no crescimento das BRS e, consequentemente, reduzindo o desempenho na produção de energia. Por outro lado, a remoção de DQO nestes reatores foi alta, justificada pelo fato de bactérias fermentativas serem capazes de se desenvolver em pH entre 4,5 e 5 e a atividade metanogênica, apesar de reduzida em 50%, não ser completamente inibida como ocorre com BRS nestes valores de pH, fato também evidenciado pelo valor positivo do Eh nestas células (BARBOSA, 2009).

Tabela 3 - pH e Eh final do efluente das CEM; PCZ e pH (em água) dos carvões utilizados como material de anodo nas CEM.

Célula	Eh (mV)	pH final	pH do carvão (em água)	pH(PCZ)
1) Ácido sulfúrico	194	5,38	4,48	6,21 ± 0,09
2) Sulfato de sódio	-255	7,63	8,46	7,31 ± 0,07
3) Sulfato ferroso	-97	6,68	6,66	6,45 ± 0,13
4) Não tratado	-177	7,59	8,95	7,72 ± 0,14
5) Sem carvão	-124	7,69	-	

Conclusão

Em relação ao tratamento do carvão, observou-se que não favoreceu ao aumento da geração de energia elétrica. Além disso, a adição de carvão na câmara anódica melhorou o desempenho se comparado à célula sem carvão. Os tratamentos com Na_2SO_4 e $FeSO_4$ tornaram a superfície do carvão carregada negativamente, no meio de cultura estudado, o

que não favorece a formação de biofilme que também possui características de carga superficial negativa. O carvão tratado com H_2SO_4 e o sem tratamento apresentou carga superficial positiva, no meio de cultura utilizado, favorecendo a formação de biofilme.

Observou-se que a remoção de DQO é melhorada nas CEM, quando comparado a sistemas anaeróbios convencionais, uma vez que as CEM mostraram remoção superior ou igual a 90%, exceto para a célula sem carvão que chegou a 86%.

Referências

- ARAÚJO, G. X. de et al. Aplicação de ferro zero valente imobilizado em carvão ativado para o tratamento de água residuária com cromo hexavalente remanescente. 2018. 98f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2018.
- BARBOSA, L. de P. Cultivo de bactérias redutoras de sulfato (BRS) e sua aplicação na bioremediação de efluentes ácidos contendo metais. 2009. 115 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2009.
- BERTOLINO, S. M. et al. Implications of volatile fatty acid profile on the metabolic pathway during continuous sulfate reduction. *Journal of Environmental Management*, v.103, p.15-23, 2012.
- CHERNICHARO, C. A. L. Reatores Anaeróbios. Princípios de Tratamento Biológico de Águas Residuárias. Belo Horizonte - MG: Editora da UFMG. p.246, 1997.
- HINDATU Y., ANNUA, M. S. M., GUMEL, A. M. Mini review: Anode modification for improved performance of microbial fuel cell. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. v.73, p.236-248, 2017.
- ISOSAARI, P. e SILLANPÄÄ, M. Use of Sulfate-Reducing and Bioelectrochemical Reactors for Metal Recovery from Mine Water. *Separation & Purification Reviews*, v.46, n.1, p.1-20. 2017.
- LOGAN, B. E. Exoelectrogenic bacteria that power microbial fuel cells. *Nature Reviews Microbiology*, v.7, p.375. 2009.
- SANTOS, N. A. V. et al. Rejeitos de Biomassas Oriundas da Cadeia de Biocombustíveis no Brasil: Produção de Bio-óleo e Sub-produtos. *Revista Virtual de Química*, v. 9, n. 1, p 52-72, 2017.
- ZHOU, M., WANG, H., HASSETT, D. J. e GU, T. Recent advances in microbial fuel cells (MFCs) and microbial electrolysis cells (MECs) for wastewater treatment, bioenergy and bioproducts. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, v.88, n.4, p.508-518, 2013.

REMOÇÃO DE BORO EM EFLUENTES AQUOSOS UTILIZANDO BIOCARVÃO PRODUZIDO COM BAGAÇO DA CERVEJA ARTESANAL

Roberto G.C. Filho (IC),^{1*} Ana P.F.M. Urzedo (PQ),¹ Jéssica C.V. Azevedo (PG),² Fabiano L. Naves (PQ)².

¹ Universidade Federal de São João del-Rei, DQBIO/Engenharia de Bioprocessos, ² Universidade Federal de São João del-Rei, DEQUI/Engenharia Química.

*e-mail: betolga.cunha@hotmail.com

Palavras-Chave: *Biocarvão, Boro, Tratamento de água, Remoção, Bagaço de cerveja.*

Introdução

O boro é um elemento naturalmente presente no meio ambiente nas formas de ácido bórico (H_3BO_3) ou sais boratos, como o tetraborato de sódio (bórax) $[Na_2B_4O_5(OH)_4 \cdot 8H_2O]$ [4]. É amplamente utilizado na indústria, tendo aplicações principais na produção de vidros, cosméticos, detergentes, antissépticos, conservantes de alimentos, inseticidas, fertilizantes e corantes [4,6]. No entanto, o boro possui uma linha tênue entre níveis normais e tóxicos [5]. Concentrações elevadas desse elemento são tóxicas para os seres humanos, causando sintomas como náuseas, vômitos, diarreia, dermatites e letargia [2]. Em animais, a exposição excessiva ao boro tem sido associada ao retardo no crescimento, danos ao sistema nervoso central e danos ao sistema reprodutor masculino [4].

Portanto, é necessário que as indústrias realizem tratamentos prévios para evitar o despejo direto dessa substância química no meio ambiente, a fim de evitar a elevação da concentração de boro para níveis tóxicos tanto para a sociedade quanto para o meio ambiente. Esses tratamentos visam manter os níveis de boro dentro de limites aceitáveis para serem lançados na forma de efluentes. A Organização Mundial de Saúde (OMS) estabeleceu um limite máximo de $0,30 \text{ mg L}^{-1}$ de boro para água

potável e água de irrigação [7]. Já o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), por meio da resolução 430/11, estabelece limites máximos de $0,50 \text{ mg L}^{-1}$ de boro para água potável e água de irrigação, e $5,00 \text{ mg L}^{-1}$ de boro para o lançamento de efluentes [1].

Existem várias técnicas químicas, físicas e eletroquímicas para remoção de boro de meio aquoso. Dentre as técnicas físico-químicas, a utilização de carvões ativados como adsorventes tem sido empregada há milhares de anos, obtendo muitas vezes resultados significantes e suas modificações podendo aumentar a eficiência de remoção [3].

Neste projeto, o objetivo é produzir biocarvão a partir dos resíduos da fabricação de cerveja artesanal, ativá-lo com cloreto de cálcio para aumentar seu potencial de adsorção e utilizá-lo para remover boro de um efluente sintético. Isso demonstrará uma maneira eficiente de reaproveitar o bagaço cervejeiro, agregando valor a esse resíduo.

Procedimento Experimental

1. Materiais e métodos

1.1. Produção do biocarvão

Para dar início ao experimento, foi necessário receber matéria-prima para fazer o biocarvão. Pegou-se então bagaço na Cervejaria Montagna, TECDEF, empresa

incubada da Universidade Federal de São João del-Rei, no Campus Alto Paraopeba.

Posteriormente o bagaço foi seco a 100°C por dois dias. Separou-se o bagaço seco enchendo uma cápsula para ser levada à mufla. O restante do bagaço foi armazenado. A cápsula ficou na mufla em 600°C por 1h em atmosfera inerte. Após a etapa anterior, o bagaço levado à mufla a 600°C transformou-se em biocarvão e em seguida foi macerado com o auxílio de gral e pistilo e, logo, foi armazenado.

1.2. Impregnação do biocarvão com cloreto de cálcio

Preparou-se uma solução aquosa de CaCl_2 (cloreto de cálcio) na concentração de 4g.L^{-1} .

A ativação com cloreto de cálcio foi feita para o carvão e o bagaço seco, sendo feita em duplicata.

Para o preparo do carvão ativado (amostra 1), em um béquer colocou-se 250mL de solução de CaCl_2 e adicionou-se 1g do biocarvão, agitando-se constantemente por 20min (pH 6, 19°C). Posteriormente, filtrou-se a vácuo esta solução, levando-se o filtrado à estufa a 100°C por 24h. O produto foi macerado com auxílio de um pistilo e gral.

O preparo do bagaço seco ativado (amostra 2), foi feito de forma similar ao do carvão ativado.

1.3. Tentativa de adsorção do boro no biocarvão

Foram colocados 1000mg das amostras sob agitação com 20 mL da solução de bórax na concentração de 30mg.L^{-1} no período de 30 minutos. Ao fim da agitação foi feita a filtração da mistura e, em seguida, a quantificação do boro remanescente no efluente.

1.4. Quantificação do boro

A leitura de boro remanescente em solução foi feita por espectrometria de absorção molecular, utilizando-se o método do ácido carmínico. Este método é indicado para a determinação da concentração de boro na faixa

de 1 a 10mg.L^{-1} . O alcance desse método pode ser estendido por diluição ou concentração da amostra.

As soluções padrões de boro e de ácido carmínico tiveram que ser preparadas, sendo feitas como descrito abaixo:

Preparo da solução de boro:

Primeiramente, pesou-se, a massa de 0,05748 g de bórax para que se tenha a solução na concentração de 100 mg/L de boro. Colocou-se a quantidade já pesada em um béquer de 50 mL e a dissolveu em água destilada, usando um bastão de vidro para facilitar a dissolução. Com auxílio de um funil simples, transferiu-se quantitativamente a mistura para um balão volumétrico de 100,00 mL. Então, foi completado o volume da solução com água destilada até a marca de aferição do balão, tampou-se e agitou-se o balão para a completa homogeneização. A solução foi armazenada em um tubo falcon e mantida refrigerada.

Preparo da solução de ácido carmínico:

Para o preparo da solução de ácido carmínico dissolveu-se 920 mg de ácido carmínico em 1 litro de H_2SO_4 concentrado.

Após o preparo das amostras, foi iniciado o preparo para quantificar o boro, realizando-se os seguintes passos:

Primeiramente, prepararam-se as soluções padrões de boro (100, 250, 500, 750 e 1000 μg) em 100 mL com água destilada. Essas soluções foram feitas na concentração de 1,0; 2,5; 5,0; 7,5; e 10,0 mg/L. Para o preparo da curva de calibração pipetou-se 0 (branco); 1,0; 2,5; 5,0; 7,5 e 10 mL em balões volumétricos de 100 mL.

Posteriormente, pipetou-se 1 mL de cada solução padrão para um tubo de ensaio de 15 mL. Logo após, adicionou-se 1 gota (0,05 mL) de ácido clorídrico concentrado em cada tubo de ensaio. Em seguida, adicionaram-se cuidadosamente 5,0 mL de ácido sulfúrico concentrado em cada tubo, misturando e deixando esfriar à temperatura ambiente.

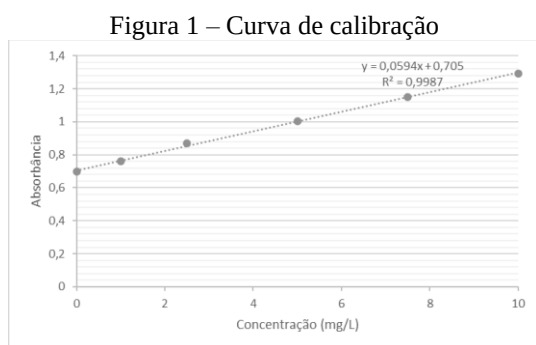
Adicionaram-se 5,0 mL reagente de carmim, misturando-se bem, e após 45 a 60 minutos mediu-se a absorbância a 585 nm.

As amostras foram tratadas da mesma forma que as soluções de calibração, seguindo os mesmos passos descritos anteriormente.

Resultados e Discussão

A quantificação do boro nos adsorventes foi dividida em duas etapas. Na primeira etapa foi calculada a quantificação do boro apenas para o carvão de malte e para o bagaço de malte sem ativação, enquanto a segunda etapa foi calculada a quantificação do boro no carvão de malte ativado e no bagaço ativado com cálcio.

Para o cálculo da concentração de boro no efluente, foi feita uma curva de calibração que expressa a média de absorbância pela concentração do boro, como pode ser vista na Figura 1.



Através do gráfico apresentado na figura 1 pode-se obter a equação da reta, bem como os valores de A, B e R² sendo esses respectivamente 0,0594, 0,705 e 0,9987.

Esses valores, A e B, foram usados na equação 1 para o cálculo de concentração.

$$(Abs - B) / A = \text{Concentração} \quad (1)$$

No caso, “Abs” na equação 1 refere-se à absorbância encontrada para as amostras analisadas. Os valores de absorbância encontrados para estas amostras podem ser vistos na tabela 1.

Tabela 1- Absorbância das amostras de bórax após os processos de adsorção.

Amostra	Descrição	Abs
1	Bórax (branco 1)	1,156
2	Bórax + Carvão de malte	1,149
3	Bórax + Bagaço de malte	1,151
4	Bórax (branco 2)	1,267
5	Bórax + Carvão de malte tratado	1,264
6	Bórax + Bagaço de malte tratado	1,266

Substituindo-se a absorbância na equação 1, é possível encontrar a concentração de boro presente em cada amostra e a porcentagem de remoção de boro, apresentado na tabela 2.

Tabela 2- Concentração de bórax e porcentagem de remoção em cada amostra analisada.

Amostra	Concentração diluída (mg/L)	Concentração real (mg/L)	Taxa de remoção (%)
1	7,59	37,95	-
2	7,47	37,35	1,55
3	7,50	37,50	1,11
4	6,55	32,75	-
5	6,50	32,49	0,81
6	6,53	32,66	0,27

Observando-se os valores encontrados, pode-se verificar que os adsorventes analisados mostraram remoções insignificantes de boro nas soluções. Tanto o bagaço de malte, quanto o biocarvão formado, sejam eles ativados ou não por CaCl₂ não conseguiram promover a retirada de boro das soluções. A natureza do adsorvente e as condições de operação podem afetar a eficiência da adsorção. Estudos mostram eficácia do carvão ativado de ossos bovinos na remoção parcial de boro. Assim,

ajustes no planejamento experimental podem melhorar a remoção deste contaminante utilizando o bagaço de malte como adsorvente.

Conclusão

Com base no experimento feito, foi possível concluir que o material preparado à base de bagaço de malte não apresentou boa eficiência para a remoção do boro. Entretanto, novos ajustes podem ser feitos para melhorar seu potencial adsorativo.

De qualquer forma, novos estudos devem ser realizados para sua utilização em outros efluentes, uma vez que o carvão ativado possui boas propriedades adsorativas..

Referências

- 1) BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Conselho Nacional do Meio Ambiente CONAMA. RESOLUÇÃO** No 430/11, 2011. p.89.
- 2) KARTIKANINGSH, D.; SHIH, Y.; HUANG, Y. **Boron removal from boric acid wastewater by electrocoagulation using aluminum as sacrificial anode.** Sust. Env. Res., Taiwan, v.26, 2016. p.151-154.
- 3) KLUCZKA, J.; PUDŁO, W.; KRUKIEWICZ, K. **Boron adsorption removal by commercial and modified activated carbons.** Chemical Engineering Research and Design, v.147, 2019. p.30–42.
- 4) KU, W. W.; CHAPIN, R. E.; MOSEMAN, R. F.; BRINK, R. E.; PIERCE, K. D.; ADAMS, K. Y. **Tissue disposition of boron in male fischer rats.** Toxicol. and app. Pharm., North Carolina, v.111, 1991. p.146.
- 5) MISSAOUI, K.; BOUGUERRA, W.; HANNACHI, C.; HAMROUNI, B. **Boron**

Removal by Electrocoagulation Using Full Factorial Design. J. of Wat. Res. and Prot., Tunisie, v.5, 2013. p.868-873.

- 6) VASUDEVAN, S.; SHEELA, S. M.; LAKSHMI, J.; SOZHAN, G. **Optimization of the process parameters for the removal of boron from drinking water by electrocoagulation: a clean technology.** Wiley Intersci., India, v. 85, 2010. p. 926-933.
- 7) WORLD HEALTH ORGANIZATION - WHO. **Guidelines for drinking-water quality.** Geneva, 2nd ed, v.2, 1998.

GESTÃO DE RESÍDUOS DE AULAS EXPERIMENTAIS DO LABORATÓRIO DE QUÍMICA ORGÂNICA E ANALÍTICA DA UFSJ

Área: **y) Meio Ambiente**

Rebeca Rocha Batista (IC),¹ Rafael Mafra de Paula Dias (PQ)¹ *

¹ Universidade Federal de São João Del Rei (UFSJ), Departamento de Química, Biotecnologia e Engenharia de Bioprocessos (DQBIO).

*e-mail: rafaelmafra@ufsj.edu.br

Palavras-Chave: *gestão de resíduos químicos, destilação, recuperação de solvente*

Resumo

A gestão de resíduos de laboratórios de Química destinados a atividades de ensino e pesquisa em Universidades tem se mostrado um grande desafio para as instituições em razão do volume produzido, alta complexidade de seus constituintes, e necessidade do descarte adequado devido a presença de compostos que aumentam o grau de contaminação ambiental (SCHWARZ, 2017). Uma solução consiste no mapeamento, tratamento e recuperação de constituintes presentes em misturas binárias e pouco complexas (MARTINS, 2017). O presente trabalho realizou um levantamento dos resíduos gerados durante um semestre em aulas experimentais de Química Orgânica ministradas no LQOA, e trouxe alternativas para a gestão e tratamento de misturas residuais. O LQOA gera em média 15 litros de resíduos por semestre, e com o planejamento adequado de descarte, 75% deste quantitativo consistia em misturas binárias passíveis de recuperação. Ao analisar os dados, três misturas residuais (1) etanol/ureia; 2) éter etílico/ácido benzóico; e 3) cânfora/água/etanol/hexano) foram economicamente viáveis para realizar a recuperação dos componentes individuais com uma economia de 27%, 52% e 40% (respectivamente) frente a incineração. A recuperação das substâncias ocorreu pelas técnicas de redução do solvente seguida de filtração (1), destilação simples (2) e destilação fracionada seguida de filtração (3), obtendo até 80% de recuperação dos componentes individuais em cada mistura. A análise do ponto de vista ambiental empregando o *software* ECOSOLVENT foi inconclusiva. Quanto aos reagentes recuperados, os sólidos foram caracterizados por ponto de fusão e cromatografia em camada delgada e os líquidos por densidade e ponto de ebulição, e ambos puderam ser reinseridos nas práticas do laboratório. Os fluxogramas e diagramas de gestão de resíduos produzidos podem ser aplicados em outros laboratórios da Instituição, permitindo a padronização, minimização de descarte além da economia de recursos.

Agradecimentos

Agradeço ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico Tecnológico (CNPq-UFSJ) pela bolsa concedida para o projeto “É sustentável recuperar solventes de laboratório? Uma análise técnica, ambiental e econômica de misturas binárias do Laboratório de Química Orgânica e Analítica da UFSJ.

Referências

SCHWARZ, F. W., Recuperação de Solventes Orgânicos de Laboratório - Uma Alternativa Econômica e Ecologicamente Adequada, Dissertação de Mestrado, *Programa De Pós-Graduação em Química*, UFRGS, 2017.

MARTINS, C. R. et al., Avaliação Dos Impactos Ambientais Dos Tratamentos De Resíduos De Solventes No Instituto De Química Da Universidade De São Paulo, *Química Nova*, v. 40 (2), p. 214, 2017.

AVALIAÇÃO DAS CONDIÇÕES ÓTIMAS DE EXTRAÇÃO DE PECTINA POR VIA ÁCIDA DO FRUTO DA MACAÚBA (*Acrocomia aculeata*)

Mariana A. E. da Silva(IC),¹ Carlos H. S. R. Campos (IC),¹ Guilherme A. Silva (IC),² Ana M. de Oliveira (PQ),¹ Enio N. de Oliveira Júnior(PQ),¹ Alessandra C. Vilaça (PQ)^{1*}.

¹ Universidade Federal de São João del-Rei, Departamento de Química, Biotecnologia e Engenharia de Bioprocessos,² Universidade Federal de São João del-Rei, Departamento de Engenharia Química.

*e-mail: aguidamariana23@gmail.com

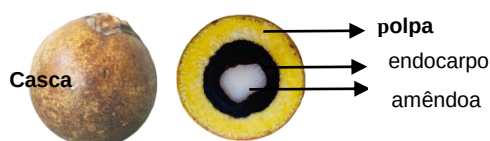
Palavras-Chave: (Rendimento, Torta da polpa, ácido cítrico)

Introdução

A palmeira *Acrocomia aculeata*, conhecida como Macaúba, tem grande abrangência no cerrado brasileiro. O fruto da Macaúba é constituído por quatro partes: epicarpo (casca), mesocarpo (polpa), endocarpo e amêndoa (VILAÇA, A. C., 2022).

As partes são apresentadas na Figura 1.

Figura 1 - Partes do fruto da Macaúba.



Fonte: VILAÇA, A. C., 2022.

Da polpa e da amêndoa retira-se óleos de alto valor agregado que se destacam por serem utilizados em diversos setores como o farmacêutico, cosmetologia e o de biocombustíveis. Ao retirar o óleo da polpa ou da amêndoa, obtém-se coprodutos que denominam-se torta. Neste trabalho a matéria-

prima utilizada foi a torta da polpa. Essa torta residual foi obtida através da extração mecânica do óleo da polpa utilizando e uma prensa contínua do tipo *expeller*. Na torta da polpa foi realizada uma extração via ácida para a obtenção de pectina.

A pectina é um complexo de polissacarídeos e está localizada na parede celular de vegetais entre as lamelas médias. Tem vasta aplicação na indústria de alimentos por apresentar propriedades como estabilizante, texturizante e/ou espessante. É encontrada em sucos, geleias e sorvetes (FOOD INGREDIENTES BRASIL, 2014).

Utilizou-se a torta da polpa do fruto da Macaúba como fonte alternativa de pectina com o objetivo de avaliar o maior rendimento para condições ótimas de temperatura e pH. Realizou a extração via ácida utilizando ácido cítrico.

Procedimento Experimental

A torta da polpa do fruto da Macaúba foi obtida dos experimentos de doutorado

realizados por VILACA, A. C., (2022). A metodologia utilizada para a extração de pectina foi proposta por CALLIARI et al, (2016), e ZANELLA e TARANTO (2015) com adaptações.

As variáveis analisadas para a obtenção da condição otimizada para alcançar o melhor rendimento foram o pH e a temperatura.

Construiu-se um planejamento fatorial 2^2 com triplicata nos pontos centrais, totalizando 7 experimentos. Avaliou-se o pH para os valores iguais a 2, 3, e 4 e temperaturas iguais a 70°C, 80°C e 90°C.

A Tabela 1 apresenta a especificação dos níveis das variáveis estudadas para o planejamento fatorial proposto. Onde PC é o ponto central.

Tabela 1- Níveis das variáveis do planejamento fatorial.

Experimentos	pH	Temperatura °C
1	+	-
2	-	+
3	+	+
4	-	-
5	PC	PC
6	PC	PC
7	PC	PC

Para cada experimento pesou-se 6 g da torta macerada da polpa do fruto da Macaúba. Adicionou-se ácido cítrico, sob agitação magnética com respectivo pH e temperatura controlada conforme as condições preditas no planejamento fatorial. Em seguida, as amostras foram submetidas ao processo de centrifugação à temperatura de 25°C, com rotação de 4800 x g, por 10 minutos.

Adicionou-se aos sobrenadantes, etanol 95% com razão de 2:1 para a realização da segunda centrifugação. Reservou-se o precipitado e

designou-se ao processo de liofilização por 24 horas. As amostras de pectina foram armazenadas a temperatura ambiente e posteriormente foram pesadas para a realização do cálculo de rendimento, conforme a Equação (1).

$$Rendimento = \frac{Massa\ de\ pectina\ (g)}{Massa\ amostra\ (g)} \times 100 \quad (1)$$

Com o auxílio do *software* STATISTICA 7, realizou-se a confiabilidade do trabalho a 90% de confiança. Os resultados foram avaliados através da análise de variância ANOVA. Realizou-se a análise de efeito para as variáveis estudadas e da superfície de resposta obtida do planejamento fatorial experimental.

Resultados e Discussão

Os resultados de rendimento (%) da pectina extraída para os tratamentos, são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2- Massa e rendimento da pectina por meio de extração com ácido cítrico.

Experimentos	Massa de pectina (g)	Rendimento (%)
1	0,4823	8,03
2	0,6931	11,55
3	0,5286	8,81
4	0,2858	4,76
5	0,5416	9,03
6	0,4616	7,69
7	0,6182	10,3

Analizando a Tabela 2 certifica-se que o experimento que obteve o melhor rendimento foi o experimento 2, em condições de pH igual

a 2 e temperatura de 90°C. VILAÇA, A. C. (2022) extraiu pectina da torta da polpa de Macaúba com ácido cítrico nas mesmas condições obtendo rendimento de 11,61%. Sendo assim, os resultados do presente trabalho tiveram resultados semelhantes aos resultados encontrados na literatura.

Os resultados obtidos através da análise de variância, mostram que a temperatura é a variável de significância. Os resultados são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 - Dados estatísticos da tabela ANOVA.

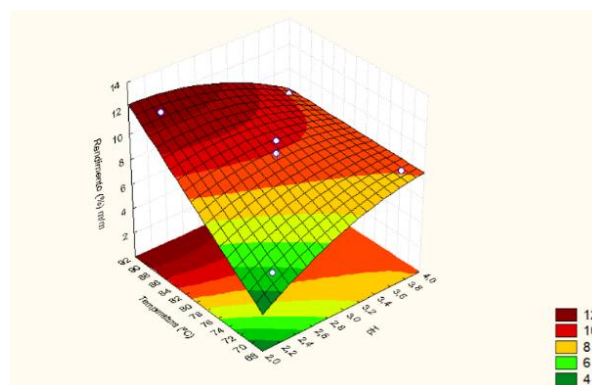
	SQ	GL	SQM	Fcal	Ftab
Regressão	24,12	2	12,06	201	4,32
Resíduo	2,75	4	0,06		
Total	26,86	6			

Com os resultados, calculou-se o Fcal e certificou-se que era maior que o Ftab, concluindo que a temperatura possui 90% de confiabilidade, conforme a análise da Tabela 3.

O cálculo da análise de efeito mostra que a temperatura tem efeito positivo, possuindo um valor de 3,785 para 90% de confiança. O que se pode afirmar a obtenção de um melhor rendimento à temperatura de 90°C. Para a mesma análise, o pH resultou em um efeito negativo com valor igual a -1,28544. Que indica o melhor rendimento para um pH igual a 2.

Na Figura 1, pode-se observar os parâmetros ótimos, para uma condição otimizada de operação, ao analisar a superfície de resposta.

Figura 2- Superfície de resposta.



Conclusão

Para a extração via ácida de pectina da torta da polpa do fruto da Macaúba o melhor rendimento foi igual a 11,55%. Através das análises estatísticas verifica-se que a condição otimizada para este resultado foi para um pH igual a 2 a uma temperatura de 90°C.

Agradecimentos

A Universidade Federal de São João del-Rei e Fapemig e PIBIC/UFSJ pelo apoio financeiro.

Referências

CALLIARI, C. M.; et al. Métodos alternativos de extração de pectina de subproduto agroindustrial. In: XXV CBCTA - Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia de Alimentos, 2016, Gramado-RS. **Anais do XXV Congresso Brasileiro de Ciência e**



III SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE BIOPROCESSOS E BIOTECNOLOGIA



05 a 07 de julho de 2023
Ouro Branco, Minas Gerais, Brasil

Tecnologia de Alimentos. Porto Alegre-RS:
SBCTA, 2016. v. 1. p. 1-1. O
FOOD INGREDIENTS BRASIL Nº 29 - 2014.
PECTINAS PROPRIEDADES E APLICAÇÕES.
2014.

VILAÇA, A.C. **Obtenção da torta da polpa do coco Macaúba (*Acrocomia aculeata*) para uso como adjunto para a produção de cerveja especial e fonte de extração de pectina.** 124p. Tese de Doutorado em Engenharia Química. Programa de Pós-graduação em Engenharia Química da Universidade Federal Minas Gerais. Belo Horizonte, 2022.

ZANELLA, K.; TARANTO, O. P. Influence of the drying operating conditions on the chemical characteristics of the citric acid extracted pectins from -perá sweet orange (*Citrus sinensis* L. Osbeck) albedo and flavedo. **Journal of Food Engineering**, v. 166, p. 111-118, 2015.

EXTRAÇÃO DE PECTINA DA POLPA DE MACAÚBA (*Acrocomia aculeata*) POR MEIO DE ÁCIDO ACÉTICO

Guilherme Araújo Silva (IC),^{1*} Vinícius Emanuel Reis Caitité (IC),¹ Carlos Henrique Sousa Ribeiro Campos (IC),² Mariana Aguida Eustáquio da Silva (IC),² Ana Maria de Oliveira (PQ),³ Alessandra Costa Vilaça (PQ),³ Ênio N. de O. Junior (PQ).³

¹ Universidade Federal de São João del-Rei, Curso de Engenharia Química, ² Universidade Federal de São João del-Rei, Curso de Engenharia de Bioprocessos, ³ Universidade Federal de São João del-Rei, Departamento de Química, Biotecnologia e Engenharia de Bioprocessos.

*e-mail: guilhermearaujo200800@gmail.com

Palavras-Chave: (Pectina, Ácido galacturônico, Macaúba, Extração)

Introdução

A Pectina, produto natural composto por cadeias de ácido galacturônico e de ácido galacturônico metoxilado, possui diversas aplicabilidades na fabricação de diferentes produtos de alto valor agregado, a exemplo, seu uso no processo de geleificação de alimentos consumidos no cotidiano humano, como as geleias e alguns produtos de origem láctea (SAHA, 2010).

A pectina pode ser encontrada na parede celular dos vegetais e grande parte de sua extração ocorre como uma atividade secundária nas indústrias, como é o caso de empresas produtoras de suco de frutas. A extração mais clássica e antiga de pectina ocorre em empresas cujo trabalho envolvia o bagaço de maçã. Atualmente, sabe-se que tal composto pode ser retirado de muitas fontes diferentes, como: cascas de laranja, maracujá, batata, banana, entre outros (CANTERI *et al.*, 2012). Apesar da obtenção do composto possuir muitas fontes diferentes, é interessante que novos projetos de obtenção de pectinas sejam desenvolvidos e registrados.

Neste contexto, o objetivo deste trabalho foi extrair a pectina a partir da torta do coco de

macaúba utilizando-se ácido acético em diferentes temperaturas e pH e calcular o rendimento.

Procedimento Experimental

A torta da polpa do coco de macaúba, cedida gentilmente pela professora Alessandra Costa Vilaça, foi armazenada a temperatura de -18°C.

Foram preparadas as soluções utilizando o ácido acético em condições convenientes para o experimento: 500 ml de solução ácida com pH 2,5; 500 ml de solução ácida com pH 3,5; 1000 ml de solução ácida com pH 3. A solução de pH 3 foi preparada em maior quantidade, uma vez que foi planejado uma triplicada no ponto central.

As bateladas foram elaboradas de forma a agitar e aquecer a mistura contendo 6% (m/v) em solução ácida. As variáveis independentes do experimento são o pH e a temperatura, o que tornou possível, ao final do experimento, a análise de rendimento (variável resposta) da produção de pectina a partir das condições estabelecidas. Ao total, realizaram-se sete ensaios nas placas de agitação e aquecimento, conforme exposto na Tabela 1.

Tabela 1 – Planejamento, dados experimentais dos ensaios e variáveis

Ensaio	pH	Temperatura (°C)
1	2,5	70
2	2,5	90
3	3,5	70
4	3,5	90
5	3	80
6	3	80
7	3	80

Fonte: autoria própria (2023)

Após o processo de extração as amostras foram centrifugadas a 4800×g durante 10 minutos. Os pellets foram descartados e os sobrenadantes foram coletados e a estes foram adicionados etanol na proporção de 2:1 (álcool:sobrenadante). As amostras de pectina precipitadas após a adição do álcool foram novamente centrifugadas a 4800×g durante 10 minutos. Os pellets constituíram as amostras de pectinas extraídas e, em seguida, foram congeladas -20°C e liofilizadas até a massa constante.

Após tal etapa, as amostras de pectinas foram pesadas e o rendimento foi calculado pela equação (1):

$$R = m \times 100/M \quad (1)$$

No qual:

R: Rendimento da pectina extraída (%);

m: Massa de pectina extraída (g);

M: Massa da torta (g).

A análise das variáveis independentes e sua relação com o rendimento obtido foi feita a partir do software STATISTICA 5.0. A

superfície de resposta foi gerada e utilizada para analisar a influência das variáveis sobre o rendimento de extração da pectina.

Resultados e Discussão

Os resultados das massas produzidas de pectina e o rendimento calculado para cada ensaio estão descritos na Tabela 2.

Tabela 2 – Resultados de massa de pectina obtida e rendimento

Ensaio	Rendimento (%)
1	0
2	9,40
3	6,75
4	5,44
5	6,99
6	6,63
7	5,79

Fonte: autoria própria (2023)

A Tabela 3 descreve a ANOVA (Análise de variância) e objetivo de sua apresentação é avaliar se modelo matemático é estatisticamente significativo e preditivo.

Tabela 3 – Análise de Variância (ANOVA) resumida, evidenciando a Soma dos Quadrados (SQ), Grau de Liberdade (GL), Quadrado Médio (QM) e o fator F

Fator	SQ	GL	QM	F
Regressão	47,11	3	15,70	17,29
Resíduo	2,72	3	0,90	
Total	49,83	6		

Fonte: Autoria própria (2023).

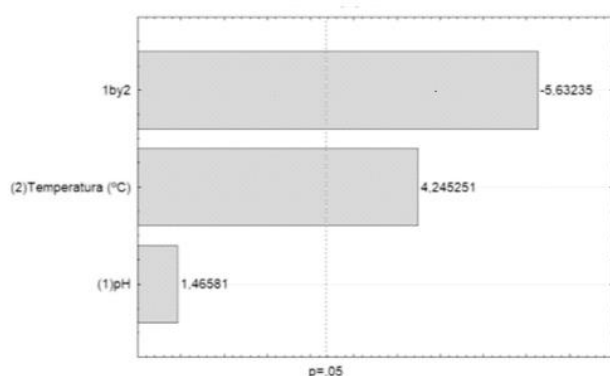
De acordo com MONTGOMERY (2000), o valor de F a 5% de erro é dado por: $F_{0,05} = 9,28$

A Tabela 3 indica que: $F_{\text{calculado}} = 17,29$.

Observa-se que $F_{\text{calculado}} > F_{0,05}$. Levando em conta que $R^2 = 0,95$ segundo o software STATISTICA, fica claro que o modelo descrito é estatisticamente significativo e preditivo.

A Figura 1 apresenta o Diagrama de Pareto. Tal diagrama indica quais foram os efeitos estatisticamente significativos no rendimento da extração de pectina.

Figura 1 – Diagrama de Pareto

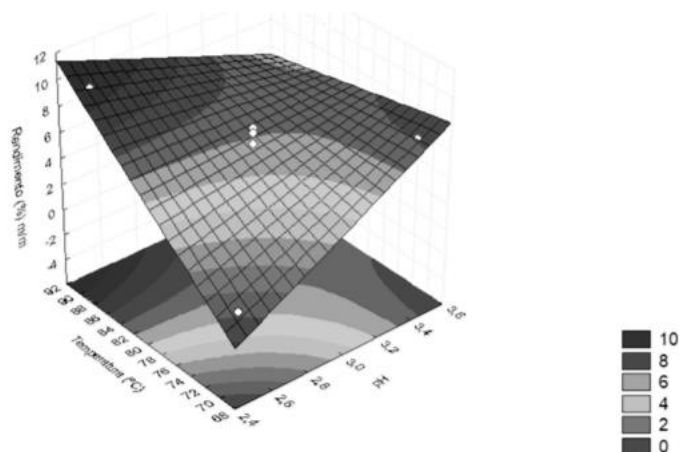


Fonte: Autoria própria (2023).

De acordo com Diagrama de Pareto, os efeitos estatisticamente significativos foram a temperatura e a combinação entre temperatura e pH (1by2) uma vez que tais variáveis ultrapassaram a linha de significância ($p = 0,05$).

Curiosamente, observando a Tabela 2 e a Figura 2, nota-se que o maior rendimento de pectina foi obtido no ensaio 2 e o menor rendimento foi obtido no ensaio 1.

Figura 2 – Superfície de resposta das variáveis Rendimento (%) em função da Temperatura (°C) e pH.



Fonte: autoria própria (2023).

Este fato evidencia ainda mais que, neste trabalho, o fator que mais influente foi a temperatura, uma vez que os ensaios 1 e 2 foram realizados no mesmo pH. Ademais, foi notado que os resultados do rendimento no ponto central foram relativamente parecidos, obtendo uma média de rendimento equivalente a 6,47%.

Sobre isso, Vilaça (2022), em sua tese de doutorado, utilizou três ácidos diferentes para a remoção de pectina a partir da torta da poupa do coco de macaúba. Em seu trabalho, o ácido acético foi o ácido que obteve o melhor rendimento, entretanto, ela abordou apenas um conjunto de variáveis independentes: pH = 2 e 80°C. O rendimento totalizou 18% na obtenção de pectina, utilizando o mesmo procedimento experimental. A diferença entre os resultados obtidos neste estudo e os resultados obtidos por

Vilaça (2022) podem ser explicados, talvez, pelas combinações diferentes entre pH e temperatura entre as pesquisas.

Conclusão

Diante do estudo exposto, conclui-se que, no processo de extração de pectina, as condições de pH e temperatura são capazes de interferir na variável resposta, sendo que a temperatura e a combinação entre pH e temperatura foram as variáveis mais influentes. O trabalho reforça que é possível retirar a pectina da torta do coco de macaúba, o que representa uma vantagem, uma vez que a macaúba pode ser considerada uma fonte alternativa para a obtenção do composto. Ademais, pode-se considerar que ácido acético é um bom ácido a ser utilizado no processo de extração. Em estudos futuros poderá ser avaliada a possibilidade de aumento no rendimento de obtenção de pectina por meio da variação e combinação das variáveis independentes e por meio da repetição do processo com as mesmas variáveis. Posteriormente, será realizada a análise de pureza das pectinas extraídas neste estudo.

Agradecimentos



Referências

CANTERI, MARIA H. G.; LIRIAN MORENO, GILVAN WOSIACKI; SCHEER, AGNES DE P. **"Pectina: Da Matéria-prima Ao Produto Final."** *Polímeros* 22.2 (2012): 149-57.

MONTGOMERY, D. C.; RUNGER, G. C.; CALADO, V. **Estatística Aplicada E Probabilidade Para Engenheiros.** Grupo Gen-LTC, 2000.

SAHA, DIPJYOTI; BHATTACHARYA, SUYENDU S. **"Hydrocolloids as Thickening and Gelling Agents in Food: A Critical Review."** *Journal of Food Science and Technology* 47.6 (2010): 587-97.

VILAÇA, A. C. **Obtenção da torta da polpa do coco macaúba (Acrocomia aculeata) para uso como adjunto para a produção de cerveja especial e fonte de extração de pectina.** 2022. 124 (Doutorado). Engenharia Química, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG.

Obtenção de açúcares redutores a partir de um *blend* de resíduos agroindustriais

Kátia dos Santos Moraes (PG)¹, Ederson Paulo Xavier Guilherme (PG)², Marcus Bruno Soares Forte (PQ)², Patrícia Lopes Leal (PQ)³, Elizama Aguiar-Oliveira (PQ)^{1, *}

¹ Programa de Pós-Graduação em Biologia e Biotecnologia de Microrganismos (PPGBM), Universidade Estadual de Santa Cruz (UESC), Ilhéus, Bahia, Brasil

² Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos (PPGEA), Faculdade de Engenharia de Alimentos (FEA), Departamento de Engenharia de Alimentos (DEA), Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), Campinas, São Paulo, Brasil

³ Programa de Pós-Graduação em Biociências (PPGB), Universidade Federal da Bahia (UFBA), Instituto Multidisciplinar em Saúde (IMS), campus Anísio Teixeira, Vitória da Conquista, Bahia, Brasil.

* eaoliveira@uesc.br

Palavras-Chave: Celulases comerciais, Líquido iônico, Placket-Burman, Pré-tratamento ácido, Resíduos agroindustriais.

Introdução

No Brasil, a agroindústria é responsável pela produção de uma grande variedade de resíduos sólidos agroindustriais (RSAI), ou biomassa vegetal, que podem ser oriundos de diversas atividades e cujo descarte incorreto é um problema ambiental e, propor novas alternativas para promover a gestão adequada dos RSAI é um dos principais desafios enfrentados (TUNES, 2017), especialmente em regiões de forte atividade agroindustrial como o Nordeste do Brasil.

Apesar de ter constituição recalcitrante, o que dificulta sua degradação no meio ambiente, os RSAI são constituídos em grande parte por carboidratos estruturais que podem ser hidrolisados a açúcares redutores e estes, podem ser direcionados a diferentes bioprocessos (MONTROYA-ROSALES et al., 2020; SILVA et al., 2022; VALLADARES-DIESTRA et al., 2022).

Sendo assim, o objetivo desse trabalho foi investigar as condições de pré-tratamento termo-ácido e da hidrólise enzimática de um *blend* de RSAI: casca de café (*Coffea arabica*), vagem de feijão-caupi (*Vigna unguiculata*) e casca de cacau (*Theobroma cacao*) que serão posteriormente destinados à produção de celulose bacteriana por *Komagataeibacter hansenii* ATTC 23769. O estudo foi conduzido com a aplicação da ferramenta estatística de planejamento de experimentos (DOE).

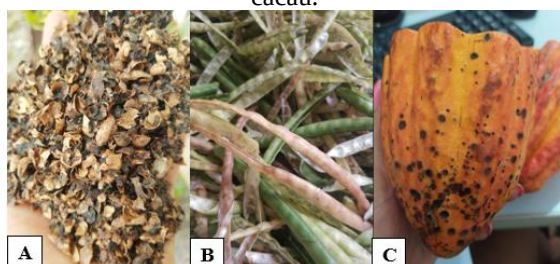
Procedimento Experimental

1. Resíduos Sólidos Agroindustriais (RSAI) e Coquetel Enzimático

Os resíduos (Fig. 1), casca de café (CF), casca de feijão caupi (BE) e cascas de cacau (CA) foram adquiridas de produtores locais das regiões de Vitória da Conquista (BA) e Ilhéus e Itabuna (Sul da Bahia). Cada resíduo (Fig. 1.a, 1.b e 1.c) foi peneirado para remoção de sujidades maiores e, seco (70 °C) em estufa até peso constante. Em seguida, foram

individualmente moídos para o ajuste da granulometria com peneiramento entre 16 e 24 Mesh. Esta etapa foi realizada no Laboratório 14 – IMS/UFBA, Vitória da Conquista.

Figura 1. Resíduos agroindustriais utilizados no estudo: **A)** casca de café, **B)**, casca de feijão e **C)** casca de cacau.



Fonte: Autores

O coquetel enzimático Cellic® CTec3 foi doado pela empresa Novozymes (Araucária, PR) e apresentou atividade de 497,8 FPU/mL.

2. Etapas de pré-tratamento e hidrólise do blend de RSAI

Esta etapa do estudo foi realizada no Laboratório LEMeB – FEA/UNICAMP (Campinas, SP). Diferentes composições de mistura (*blend*) (g/100mL) entre os resíduos casca de café (CF), vagem de feijão-caupi (FC) e casca de cacau (CA) foram adicionados a 100 mL de solução de ácido sulfúrico diluído com concentração definida (*SUL*, mL/100mL) – a concentração de sólidos totais (*SOL₁*, g/100mL) é definida indiretamente pela soma dos 3 RSAI. Os frascos foram levados a um forno micro-ondas caseiro (potência máxima) por 1 min, seguido de um 1 min de repouso e agitação suave; este processo repetiu-se por mais duas vezes, totalizando três ciclos. Os frascos foram autoclavados por tempo definido (*t*, min) e mantidos em repouso por 1 h. A massa de sólidos foi separada por filtração e lavada com água destilada até pH próximo à neutralidade. Em seguida, os sólidos pré-tratados foram secos em estufa e seguiram para a etapa seguinte, a hidrólise enzimática, que foi realizada com

concentração de sólidos definidas (*SOL₂*, g/100mL), em tampão fosfato de sódio (0,1 M) com pH definido (*pH*) e a reação aconteceu em temperatura (*T*, °C) definida com carga enzimática de 10 FPU/g e tempo de reação de 60 min. Por fim, o meio hidrolisado final foi filtrado e teve determinada a concentração de açúcares redutores (AR, µmol/g).

2.1 Estudo das condições de pré-tratamento termo-ácido e hidrólise enzimática

Para o estudo das melhores condições de processo foi aplicada uma matriz do tipo Plackett-Burman (PB16) e as faixas de cada fator avaliado foram: as composições individuais de CF, FC e CA variaram de 2 a 8 g/100mL (*SOL₁* de 6 a 18 g/100mL), *SUL* de 0,25 a 1,25 mL/100mL, *t* de 15 a 35 min, concentração de sólidos totais (*SOL₂*) de 5 a 20 g/100mL, agitação (*rpm*) de 100 a 300 rpm, pH (*pH*) de 4,5 a 5,5 e temperatura (*T*) de 45 a 55 °C. A resposta avaliada foi AR e os valores obtidos foram empregados na Análise de Efeitos com 90 % de confiabilidade (RODRIGUES & IEMMA, 2015).

3. Determinação de açúcares redutores (AR)

A determinação dos açúcares redutores (AR, µmol/g), expressos como glicose por massa de sólidos totais, foi feita pelo método do DNS (ácido dinitro-salicílico) conforme protocolo descrito por (VASCONCELOS; PINTO; ARAGÃO, 2013).

Resultados e Discussão

Os resultados obtidos com a execução da matriz PB16 são apresentados na Tabela 1. De acordo com os resultados obtidos com a execução da matriz PB16 (Tab. 1), as duas maiores respostas foram obtidas com os ensaios 9 (6,239 µmol/g) e 13 (6,985 µmol/g). O valor médio obtido com os pontos centrais foi de $4,106 \pm 0,163$ µmol/g, demonstrando boa variabilidade.

Em relação a perda de massa total do processo (dados não apresentados), observa-se que a redução dos sólidos totais foi menor que o desejado (52 %), o que de certa forma se reflete nos valores de *AR* obtidos. Isso é um

reflexo das condições mais brandas aplicadas. No entanto, soluções ácidas concentradas podem danificar os equipamentos e gerar inibidores como o furfural (SINGH; SUHAG; DHAKA, 2015).

Tabela 1: Matriz codificada Plackett-Burman (PB16) para os fatores: composições (g/100g) da casca de café (*CF*), vagem de feijão caupi (*FC*) e casca de cacau (*CA*), concentração de ácido sulfúrico (*SUL*, mL/100mL), tempo de autoclavagem (*t*, min), concentração total de sólidos (*SOL*₂, g/100mL), agitação (*rpm*), pH (*pH*) e temperatura (*T*, °C). As respostas analisadas foram a concentração de açúcares redutores (*AR*, μmol/g) e a perda de massa de sólidos totais (*R*_{tot}, %). Os valores reais dos fatores são apresentados entre parênteses.

Exp	Fatores									Respostas	
	<i>CF</i> (g/100mL)	<i>FC</i> (g/100mL)	<i>CA</i> (g/100mL)	<i>SUL</i> (mL/100mL)	<i>t</i> (min)	<i>SOL</i> ₂ (g/100mL)	<i>rpm</i>	<i>pH</i>	<i>T</i> (°C)	<i>AR</i> (μmol/g)	<i>R</i> _{tot} (%)
1	+1 (8)	-1 (2)	-1 (2)	-1 (0,25)	+1 (35)	-1 (5)	-1 (100)	+1 (5,5)	+1 (55)	3,069	23,76
2	+1 (8)	+1 (8)	-1 (2)	-1 (0,25)	-1 (15)	+1 (10)	-1 (100)	-1 (4,5)	+1 (55)	4,459	38,72
3	+1 (8)	+1 (8)	+1 (8)	-1 (0,25)	-1 (15)	-1 (5)	+1 (300)	-1 (4,5)	-1 (45)	3,203	29,38
4	+1 (8)	+1 (8)	+1 (8)	+1 (1,25)	-1 (15)	-1 (5)	-1 (100)	+1 (5,5)	-1 (45)	4,078	32,32
5	-1 (2)	+1 (8)	+1 (8)	+1 (1,25)	+1 (35)	-1 (5)	-1 (100)	-1 (4,5)	+1 (55)	1,938	48,40
6	+1 (8)	-1 (2)	+1 (8)	+1 (1,25)	+1 (35)	+1 (10)	-1 (100)	-1 (4,5)	-1 (45)	4,649	39,20
7	-1 (2)	+1 (8)	-1 (2)	+1 (1,25)	+1 (35)	+1 (10)	+1 (300)	-1 (4,5)	-1 (45)	5,193	51,20
8	+1 (8)	-1 (2)	+1 (8)	-1 (0,25)	+1 (35)	+1 (10)	+1 (300)	+1 (5,5)	-1 (45)	5,478	26,50
9	+1 (8)	+1 (8)	-1 (2)	+1 (1,25)	-1 (15)	+1 (10)	+1 (300)	+1 (5,5)	+1 (55)	6,239	31,60
10	-1 (2)	+1 (8)	+1 (8)	-1 (0,25)	+1 (35)	-1 (5)	+1 (300)	+1 (5,5)	+1 (55)	4,160	33,51
11	-1 (2)	-1 (2)	+1 (8)	+1 (1,25)	-1 (15)	+1 (10)	-1 (100)	+1 (5,5)	+1 (55)	5,876	41,28
12	+1 (8)	-1 (2)	-1 (2)	+1 (1,25)	+1 (35)	-1 (5)	+1 (300)	-1 (4,5)	+1 (55)	1,448	37,48
13	-1 (2)	+1 (8)	-1 (2)	-1 (0,25)	+1 (35)	+1 (10)	-1 (100)	+1 (5,5)	-1 (45)	6,985	34,54
14	-1 (2)	-1 (2)	+1 (8)	-1 (0,25)	-1 (15)	+1 (10)	+1 (300)	-1 (4,5)	+1 (55)	2,885	32,60
15	-1 (2)	-1 (2)	-1 (2)	+1 (1,25)	-1 (15)	-1 (5)	+1 (300)	+1 (5,5)	-1 (45)	3,257	40,63
16	-1 (2)	-1 (2)	-1 (2)	-1 (0,25)	-1 (15)	-1 (5)	-1 (100)	-1 (4,5)	-1 (45)	2,967	35,20
17	0 (5)	0 (5)	0 (5)	0 (0,75)	0 (25)	0 (7,5)	0 (200)	0 (5,0)	0 (50)	4,095	37,51
18	0 (5)	0 (5)	0 (5)	0 (0,75)	0 (25)	0 (7,5)	0 (200)	0 (5,0)	0 (50)	4,273	37,15
19	0 (5)	0 (5)	0 (5)	0 (0,75)	0 (25)	0 (7,5)	0 (200)	0 (5,0)	0 (50)	3,949	37,40

A Análise dos Efeitos, é apresentada na Tabela 2. Conforme os resultados obtidos para os efeitos estatisticamente significativos ($p < 0,05$) foi possível definir as melhores condições como: *CF* = 2,0 g/100mL, *FC* = 8,0 g/100mL, *CA* = 2,0 g/100mL (*SOL*₁ = 12 g/100mL), *SUL* = 0,25 mL/100mL, *t* = 15 min, *SOL*₂ = 10,0 g/100mL, *rpm* = 100, *pH* = 5,5 e *T* = 45 °C. Estas condições diferem do experimento 13 apenas no valor do tempo de autoclavagem (35 min), porém, devido ao melhor desempenho do ensaio 13 foram selecionadas as condições deste ensaio em sua totalidade como as melhores condições do processo analisado.

Para comparação, foram obtidas concentrações de açúcares redutores 38,20 e 37,05 mg.g⁻¹ no pré-tratamento de casca de cacau (VALLADARES-DIESTRA et al., 2022).

Os sólidos totais obtidos ao final do tratamento sob as condições do ensaio 13 foram analisados quanto a sua composição química conformes protocolos definidos pelo NRLE (*National Renewable Energy Laboratory*). Foram definidas as composições: 59,97 ± 0,73 g/100g de celulose, 34,04 ± 1,03 g/100g de hemicelulose, 9,55 ± 2,1 g/100g de lignina. Esses valores de composição indicam que os sólidos totais submetidos ao pré-tratamento e

hidrólise enzimática nas condições do ensaio 13 ainda apresentam altas concentrações de carboidratos que podem ser hidrolisados para aumentar o rendimento do processo.

Tabela 2: Análise dos Efeitos para a matriz PB16.

Termo	Efeito	Erro Padrão	t calculado	p-valor
Média	4.12	0.14	30.34	< 0.001*
Curvatura	-0.02	0.68	-0.03	0.9730
CF	-0.08	0.27	-0.29	0.7764
FC	0.83	0.27	3.05	0.0158*
CA	-0.17	0.27	-0.62	0.5518
SUL	-0.07	0.27	-0.24	0.8143
t	-0.01	0.27	-0.02	0.9854
SOL2	2.21	0.27	8.13	<0.001*
rpm	-0.27	0.27	-0.99	0.3496
pH	1.55	0.27	5.71	0.0004*
T	-0.72	0.27	-2.64	0.0296*

Conclusão

Este trabalho se propôs a investigar a hidrólise termo-ácida e enzimática de um *blend* (mistura) de três RSAI, ao invés de realizar o processo com apenas um resíduo, como normalmente é estudado. Ao se propor o pré-tratamento de uma mistura de resíduos pode-se estimular ainda mais a utilização dos resíduos disponíveis em certas regiões e assim otimizar a proposta de valorização dos resíduos frente aos conceitos de economia circular. Este estudo continua sendo conduzido pois busca-se aplicar os açúcares redutores obtidos na produção de biocelulose. Com os resultados obtidos, observa-se que ainda há possibilidade de se aumentar a eficiência do pré-tratamento.

Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio financeiro da CAPES.

Referências

MONTROYA-ROSALES, J. J. et al. A broad overview comparing a fungal, thermal and acid

pre-treatment of bean straw in terms of substrate and anaerobic digestion effect. *Biomass and Bioenergy*, v. 142, n. September, p. 1–8, 2020.

RODRIGUES, M. I.; LEMMA, A. F. Experimental Design and Process Optimization. 1st Ed. CRC Press: Boca Raton, FL. 2015.

SILVA, N. C. S. et al. Pretreatment and enzymatic hydrolysis of coffee husk for the production of potentially fermentable sugars. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, v. 97, n. 3, p. 676–688, 2022.

SINGH, J.; SUHAG, M.; DHAKA, A. Augmented digestion of lignocellulose by steam explosion, acid and alkaline pretreatment methods: A review. *Carbohydrate Polymers*, v. 117, p. 624–631, 2015.

TUNES, C. R. Produção de biogás a partir da digestão anaeróbica de efluentes orgânicos em reator uasb. *Universidade Federal do Tocantins*, 2017.

VALLADARES-DIESTRA, K. K. et al. Citric acid assisted hydrothermal pretreatment for the extraction of pectin and xylooligosaccharides production from cocoa pod husks. *Bioresource Technology*, v. 343, n. October 2021, 2022.

VASCONCELOS, N. M.; PINTO, G. A. S.; ARAGÃO, F. A. de S. Determinação de Açúcares Redutores pelo Ácido 3,5-Dinitrosalicílico: Histórico do Desenvolvimento do Método e Estabelecimento de um Protocolo para o Laboratório de Bioprocessos. *Boletim de Pesquisa Número 9 - Embrapa*, p. 1–16, 2013.

OBTENÇÃO DA PECTINA DA TORTA DE MACAÚBA *Acrocomia aculeata* POR VIA ÁCIDA, UTILIZANDO ÁCIDO CLORÍDRICO

Carlos H. S. R. Campos (IC)¹, Mariana A. E. da Silva (IC)¹, Guilherme A. Silva (IC)², Enio N. de Oliveira Júnior (PQ)¹, Alessandra C. Vilaça (PQ)¹, Ana M. de Oliveira (PQ)^{1*}.

¹ Departamento de Química, Biotecnologia e Engenharia de Bioprocessos, Universidade Federal de São João del-Rei, ² Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal de São João del-Rei.

*e-mail: amaria@ufsj.edu.br

Palavras-Chave: Macaúba, Coproduto, Planejamento experimental.

Introdução

A macaubeira é uma palmeira perenifolia da família *Arecaceae*, nativa das Américas, encontrada no Brasil desde a região norte à região sul, com concentração em Minas Gerais, Goiás, Mato Grosso e Mato Grosso do Sul (CHAGAS *et al.*, 2019).

Segundo XAVIER e COSTA (2020), a macaubeira é uma planta que frutifica durante o ano todo, mas os frutos amadurecem principalmente entre os meses de setembro a janeiro. Os frutos são formados por exocarpo, mesocarpo, endocarpo e amêndoas ricos em glicerídeos, ácidos graxos, proteínas e fibras.

Segundo NOBRE e colaboradores (2014), a macaúba pode ser utilizada para a produção de óleo a partir da polpa e da amêndoa do fruto com alto rendimento. Estes óleos podem ser aplicados nas indústrias de cosméticos, biodiesel, alimentícia e farmacêutica.

Quando se processa o fruto é gerado como coproduto a torta forrageira, que apresenta altos teores de fibras, proteínas, minerais e lipídeos. Atualmente, ela é utilizada como ração animal e em produtos alimentícios (GRANDE e CREN, 2016). Contudo, VILAÇA (2022) mostrou ser possível utilizar esse coproduto como fonte alternativa de pectina.

A pectina é um polissacarídeo complexo, formado por unidades de ácido galacturônico, que está presente na parede celular das plantas terrestres (PENNA, 2002). Comercialmente, ela é obtida a partir de cascas de frutas cítricas e bagaço de maçã (CANTERI *et al.*, 2012). Entretanto, outras matérias-primas como a casca de melão e a casca de manga vêm sendo estudadas como fontes alternativas para a obtenção desse produto (SOUSA *et al.*, 2017). Este grande interesse pela pectina se dá em função das diversas aplicações deste composto na indústria de alimentos e farmacêutica como gelificante, estabilizante e espessante, devido a suas características reológicas (CANTERI *et al.*, 2012).

Dessa forma, o objetivo desse trabalho foi otimizar o processo de extração da pectina da torta de macaúba via hidrólise ácida, com ácido clorídrico.

Procedimento Experimental

A torta da polpa do coco de macaúba utilizada como matéria-prima neste trabalho foi obtida por meio da prensagem mecânica da polpa do fruto e armazenada a -18°C até seu uso.

Para a extração da pectina por via ácida foi utilizado um planejamento experimental ² com três pontos centrais. Avaliou-se a influência das variáveis pH da extração (2,0;

3,0 e 4,0), ajustado com solução de ácido clorídrico 0,02 mol L⁻¹, e temperatura da reação (70, 80 e 90°C). Para a extração foram usados 6 g da torta da polpa misturada com 100 mL de solução de ácido clorídrico e pH e temperatura conforme descrito na Tabela 1. As extrações aconteceram sob agitação magnética por 40 minutos.

Tabela 1 – Planejamento experimental da extração ácida de pectina

Experimento	pH	Temperatura (°C)
1	4,0	90
2	4,0	70
3	2,0	90
4	2,0	70
5	3,0	80
6	3,0	80
7	3,0	80

Fonte: Autor Próprio, 2023.

Após a hidrólise ácida, a amostra foi centrifugada a 4.800 rpm por 10 minutos e o sobrenadante foi separado da parte sólida. Ao sobrenadante adicionou-se etanol 95% na razão de 2:1 (álcool:extrato) para precipitação da pectina. Então centrifugou-se novamente a amostra a 4.800 rpm por 10 minutos. Após a separação da pectina sólida do sobrenadante, as amostras foram liofilizadas por 24 horas e o rendimento calculado conforme a Equação (1).

$$\text{Rendimento (\%)} = \frac{\text{massa pectina}}{\text{massa amostra}} * 100 \quad (1)$$

Os dados obtidos foram tratados utilizando o software Statistica 5.0, a um intervalo de confiança de 95%.

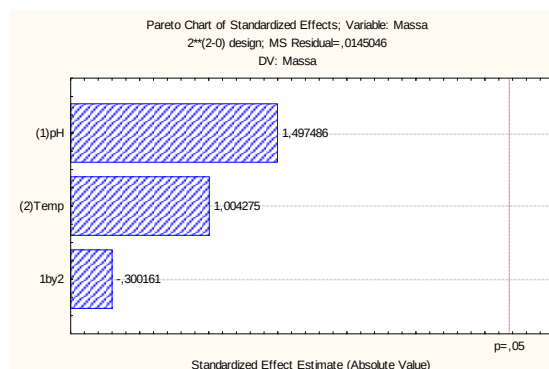
Resultados e Discussão

Por se tratar de uma espécie amplamente encontrada em território mineiro, o Governo do Estado de Minas Gerais, regulamentou o Pró-Macaúba através da Lei Nº 19.485/2011, cujo objetivo é integrar extrativistas, agricultores familiares e agronegócio mineiro à indústria de transformação, promovendo o desenvolvimento sustentável do Estado e contribuindo para o setor agroenergético mineiro (MINAS GERAIS, 2011).

Como na indústria a pectina, geralmente, é produzida a partir da hidrólise ácida do bagaço de laranja fez-se necessário otimizar o processo de extração dessa nova matriz. Como ponto de partida utilizou-se o ácido clorídrico, que já vem sendo amplamente utilizado na indústria (IGLESIAS e LOZANO, 2004).

Os primeiros parâmetros avaliados no processo de extração foram a temperatura e o pH do sistema. Após tratamento dos dados do planejamento experimental obteve-se o gráfico de Pareto apresentado na Figura 1.

Figura 1 – Gráfico de Pareto indicando quais parâmetros e suas correlações são significativas na hidrólise ácida da torta de macaúba com ácido clorídrico



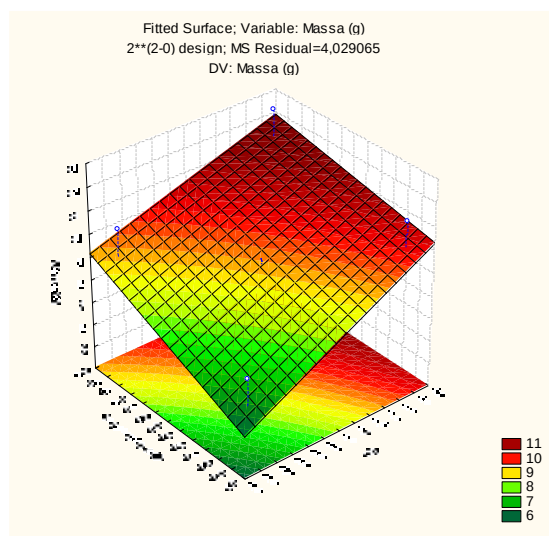
Observando o gráfico de Pareto verificou-se que nenhum dos parâmetros

05 a 07 de julho de 2023
Ouro Branco, Minas Gerais, Brasil

estudados (pH e temperatura) foram significativos na hidrólise ácida de macaúba, no nível de confiança de 95%, dentro do intervalo usado para cada um dos parâmetros (Figura 1). Este fato foi confirmado por meio da superfície de resposta (Figura 2).

Salienta-se que foram utilizadas neste experimento as condições industriais de extração da pectina, pH na faixa de 1,5 a 3,0 e temperatura na faixa de 60 a 100°C (CANTERI *et al.*, 2012; SIQUEIRA *et al.*, 2012).

Figura 2 – Superfície de resposta obtida na otimização da hidrólise ácida da torta de macaúba com ácido clorídrico



Apesar de não haver significância dos fatores estudados, os melhores rendimentos, em massa, foram obtidos em pH e temperatura altos (4,0 e 90°C, respectivamente). Entretanto, como o ácido clorídrico é um ácido forte não é possível aumentar ainda mais o pH do meio, devido à baixa concentração de ácido necessária para atingir pHs mais altos e a grande susceptibilidade de interferência de qualquer espécie básica nos experimentos. Em relação à temperatura, não é viável o seu aumento também, pois necessitaria de utilização de sistemas sob pressão, como a

autoclave, e isto aumentaria o custo do processo.

BATISTA e colaboradores (2009), realizaram a extração da pectina de polpa cítrica peletizada à 80°C utilizando água, solução de ácido clorídrico (pH 1,5) e solução de oxalato de amônio (pH 4,6) e observaram que ao trabalhar com solução de ácido clorídrico em pH baixo, o rendimento não foi alto, o mesmo observado neste trabalho.

PINEDA (2003) realizou a extração da pectina de polpa cítrica de laranja Valência à 100°C utilizando soluções de ácido sulfúrico, nítrico e clorídrico com pH variando entre 1,5 e 3,0. Foi observado que o rendimento não foi alto para nenhuma das soluções ácidas em pH baixo, o mesmo observado neste trabalho.

É preciso deixar claro que o rendimento em massa é apenas um parâmetro inicial de avaliação do processo de extração. Para verificar a qualidade da pectina está sendo avaliado também o teor de ácido galacturônico, que indica o tamanho da cadeia da pectina e a massa molar do produto obtido.

Conclusão

A partir dos resultados conclui-se que o pH e a temperatura não foram significativos no rendimento mássico da hidrólise ácida, nos intervalos estudados. Como o tempo de reação não foi avaliado neste trabalho, ele será incorporado ao processo de otimização. Um fator que deve ter contribuído para estes resultados são a força do ácido e também os intervalos estudados.

Referências

BATISTA, W. P.; VIEIRA, I. G. P.; MENDES, F. N. P.; CRAVEIRO, A. A.; SILVA, A. N. L. Extração e caracterização de pectinas cítricas da

polpa cítrica peletizada. In: **10º Congresso Brasileiro de Polímeros**. 2009, Foz do Iguaçu, v. 10, p. 115, 2009.

CANTERI, M. H. G.; WOSIACKI, L. M. G.; SCHEER, A. P. Pectina: da matéria-prima ao produto final. **Revista Polímeros**. v. 22 (2), p. 149 – 157, 2012.

CHAGAS, K. P. T.; CARVALHO, B. L. B.; GUERRA, C. A. G.; SILVA, R. A. R.; VIEIRA, F. A. Fenologia do dendezeiro e correlações com variáveis climáticas. **Ciência Florestal**. v. 29 (4), p. 1701–1711, 2019.

GRANDE, S. C.; CREN, E. C. Demanda de proteínas vegetais: potencialidades e o diferencial dos farelos de macaúba. **Journal of Chemical Engineering and Chemistry**. v. 2 (3), p. 190-214, 2016.

IGLESIAS, M. T.; LOZANO, J. E. Extraction and characterization of sunflower pectin. **Journal of Food Engineering**. v. 62, p. 215-223, 2014.

MINAS GERAIS. Lei nº 19.485, de 13 de janeiro de 2011. Dispõe sobre a política de incentivo ao cultivo, à extração, à comercialização, ao consumo e à transformação da macaúba e das demais palmeiras oleaginosas – Pró-Macaúba. Minas Gerais, Belo Horizonte, 22 jan 2011. **Diário do Executivo**.

NOBRE, D. A. C.; TROGELLO, E.; BORGHETTI, R. A.; DAVID, A. M. S. S. Macaúba: Palmeira de extração sustentável para biocombustível. **Colloquium Agrariae**. v. 10 (2), p. 92 – 105, 2014.

PENNA, A. L. B. Hidrocolóides: usos em alimentos. **Food Ingredients**. v. 17, p. 58-64, 2002.

PINEDA, J. E. D. Proceso para producir pectinas cítricas. **Universidad EAFIT**. v. 2, 2003.

SIQUEIRA, B. S.; ALVES, L. D.; VASCONCELOS, P. N.; DAMIANI, C.; SOARES JÚNIOR, M. S. Pectina de casca de pequi e aplicação em geleia light de manga. **Revista Brasileira de Fruticultura**. v. 34 (2), p. 560 – 567, 2012.

SOUSA, A. L. N.; RIBEIRO, A. C. B.; SANTOS, D. G.; RICARDO, N. M. D. S.; RIBEIRO, M. E. N. P.; CAVALCANTI, E. S. B.; CUNHA, A. P.; RICARDO, N. M. D. S. Modificação química da pectina do melão caipira (*Cucumis melo* VAR. ACIDULUS). **Química Nova**. v. 40 (5), p. 554 – 560, 2017.

XAVIER, E. V. A.; COSTA, A. A. Aplicações da Macaúba: um estudo prospectivo. **Cadernos de Prospecção**, v. 13 (4), p. 1147, 2020.

VILAÇA, A. C. **Obtenção da torta da polpa do coco macaúba (*Acrocomia aculeata*) para uso como adjunto para a produção de cerveja especial e fonte alternativa de pectina**. 124f. Tese (Doutorado em Engenharia Química) – Universidade Federal de Minas Gerais, 2022.

Agradecimentos



OTIMIZAÇÃO DA HIDRÓLISE ÁCIDA DO AMIDO EXTRAÍDO DA FRUTA-DE-LOBO

Gustavo dos Remédios da Silva Paula (IC)¹, Enio Nazaré de Oliveira Júnior (PQ)², Ana Maria de Oliveira (PQ)^{2*}.

¹ Universidade Federal de São João del-Rei, Engenharia Química, ² Universidade Federal de São João del-Rei, Departamento de Química, Biotecnologia e Engenharia de Bioprocessos

*e-mail: amaria@ufsj.edu.br

Palavras-Chave: Hidrólise Ácida, Fruta-de-Lobo, Amido, Ácido Sulfúrico.

Introdução

Os amidos são polímeros naturais formados por moléculas de glicose, que atuam como reserva de carboidratos em muitas espécies de plantas. Seus grânulos são formados por duas macromoléculas, sendo uma ramificada (amilopectina) e outra sem ramificações (amiloze). Os amidos estão presentes em cereais, sementes, tubérculos, raízes e em diversos outros grupos vegetais. São compostos de grande importância econômica, haja vista que o amido é utilizado em várias indústrias como alimentos, cosméticos, química, farmacêutica, petroquímica e etc^{1,2,3,4}.

Apesar de ser muito empregado industrialmente, o amido não costuma ser utilizado em sua forma nativa, visto que assim ele possui um número muito limitado de propriedades. Logo, é comum que ele seja submetido a processos físicos, químicos ou enzimáticos que visam modificar sua estrutura e lhe conferir propriedades funcionais como, resistência térmica e viscosidade^{4,5}.

Entre os processos de modificação do amido podem-se citar as hidrólises ácida e enzimática. Essas reações visam promover a quebra do amido liberando os monômeros de glicose presentes na amiloze e na amilopectina⁶. O produto da hidrólise pode então ser direcionado

para diferentes processos, como por exemplo a produção de bioetanol.

Muitas espécies vegetais têm sido estudadas como fontes de amido. Dentre elas, a lobeira (*Solanum lycocarpum* St. Hill), que é uma planta típica do Cerrado e se destaca por seus atributos como resistência a condições ambientais adversas, facilidade de cultivo, propriedades medicinais, sensoriais e alto valor nutritivo de seus frutos⁷.

Neste sentido, o presente trabalho teve como objetivo otimizar a hidrólise ácida do amido da fruta-de-lobo utilizando ácido sulfúrico, com vista à produção de bioetanol.

Procedimento Experimental

1. Obtenção da amostra

Os frutos da espécie vegetal *Solanum lycocarpum* St. Hill foram colhidos de plantas nativas encontradas em pastagens no município de Ouro Branco, Minas Gerais. Os frutos foram higienizados com água destilada, descascados e suas polpas foram picadas e moídas em um multiprocessador doméstico. Uma solução de metabisulfito de sódio 5 g L⁻¹ foi previamente preparada e utilizada em uma proporção de 0,5 kg de matéria-prima L⁻¹ de solução, para prevenir o escurecimento da polpa do fruto. O amido foi extraído da polpa da fruta-de-lobo utilizando o método de decantação⁸.

2. Hidrólise ácida do amido

Para a hidrólise foi feita uma suspensão do amido em pó em água destilada 5% (m/v). As hidrólises foram realizadas utilizando uma solução de ácido sulfúrico 50% (v/v). Para a otimização do processo foi feito um planejamento fatorial 2^3 com três pontos centrais. As variáveis estudadas foram concentração do ácido (medida como pH do meio reacional), tempo e temperatura de reação. Os valores reais e codificados de cada variável estão dispostos na Tabela 1.

Tabela 1 - Variáveis independentes e seus respectivos níveis codificados e reais

Variável	-1	0	+1
pH	0,5	1,0	1,5
Tempo (minutos)	30	60	90
Temperatura (°C)	63	80	97

Ao final das hidrólises, as soluções foram estabilizadas a pH 5,0-6,0 adicionado aos hidrolisados soluções de NaOH 4 mol L⁻¹ e 0,05 mol L⁻¹. As amostras foram então centrifugadas a 4800 rcf por 10 minutos e o sobrenadante foi recolhido.

A concentração de açúcares fermentescíveis obtidos no processo de hidrólise ácida foi determinada utilizando o método do ácido 3,5-dinitrosalicílico por espectrofotometria de absorção molecular no UV-VIS⁹. Para isto, em cada um dos tubos de ensaio, foram adicionados 0,2 mL de amostra e 0,2 mL de DNS (1 g de ácido 3,5-dinitrosalicílico, 20 mL de solução de NaOH 2 mol L⁻¹, 30 g de tartarato de sódio e potássio e água destilada para completar o volume de 100 mL). O branco utilizado foi uma solução de 0,2 mL de água destilada com 0,2 mL de DNS. Os tubos foram colocados em água fervente a 97°C, simultaneamente, durante 5 minutos e, posteriormente, resfriados à temperatura ambiente. Após o resfriamento, adicionou-se 1,6 mL de água destilada. A concentração de açúcar resultante em cada

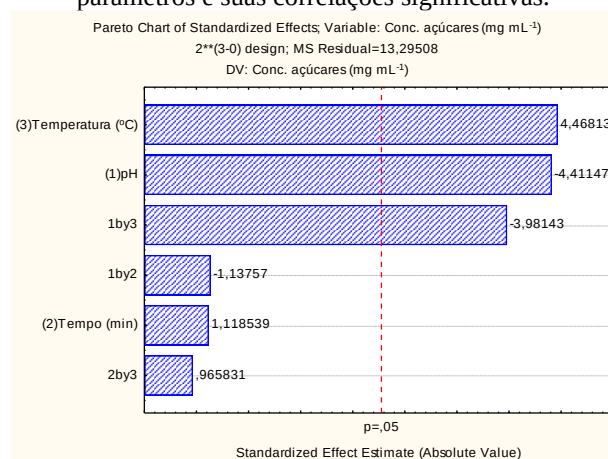
experimento foi determinada por espectrofotometria de absorção molecular no UV-VIS utilizando-se o comprimento de onda de 520 nm.

Os dados obtidos foram tratados utilizando o software Statistica 5.0, com um intervalo de confiança de 95%.

Resultados e Discussão

Os resultados do planejamento experimental mostraram que as variáveis temperatura, pH e a associação entre ambas, exerceram grande influência sobre as concentrações de açúcares. Nota-se, pelo gráfico de Pareto (Figura 1), que todas as três foram significativas a um intervalo de confiança de 95%.

Figura 1 – Gráfico de Pareto indicando os parâmetros e suas correlações significativas.



A análise de variância (ANOVA) dos dados obtidos encontra-se na Tabela 2.

Tabela 2 – ANOVA

Fonte de variação	SQ	GL	QM	Fcalc
Regressão	781,15	6	130,19	9,79
Resíduos	53,18	4	13,29	
Total	834,33	10		

F_{tab} 0,05 = 6,16; F_{calc} = 9,79

Observa-se pelos dados da ANOVA que o F calculado é 1,59 vezes maior que o F tabelado, o que indica que o modelo matemático é estatisticamente significativo, mas não preditivo, visto que para um modelo ser considerado preditivo o valor de F calculado necessita ser de 4 a 5 vezes maior que o F tabelado¹⁰. Como o resultado mostrou que o modelo é significativo foram construídos os gráficos de contorno obtidos no planejamento (Figura 2).

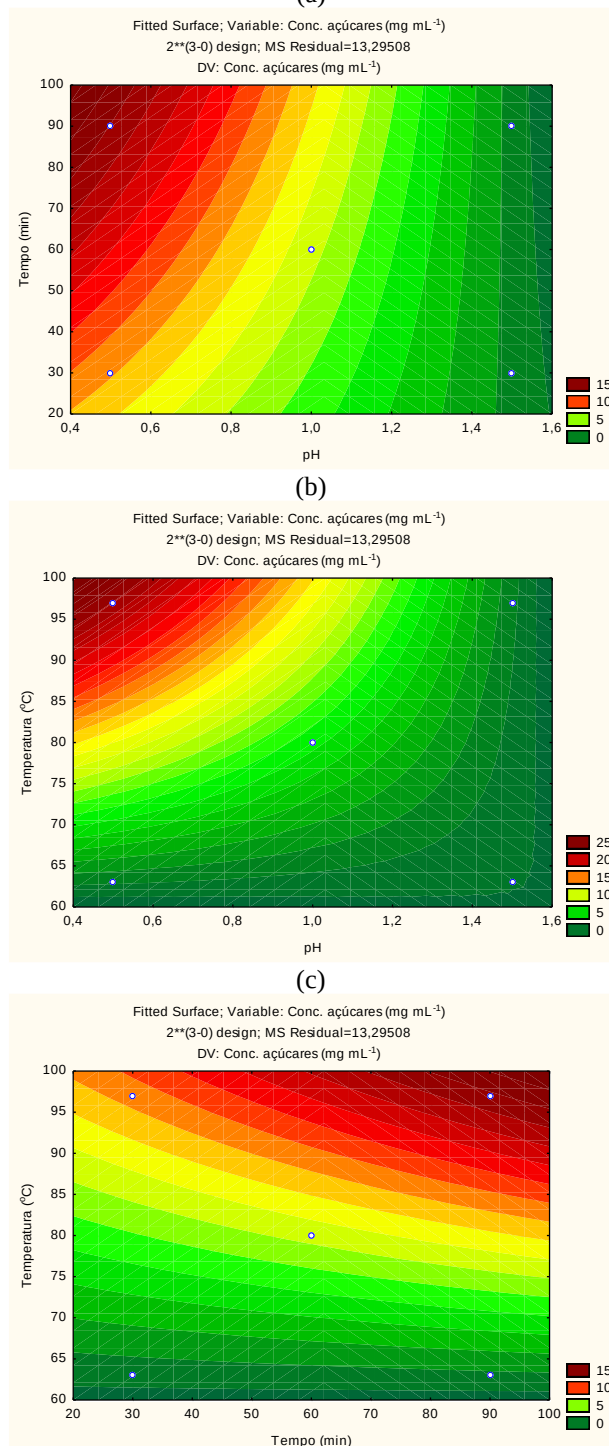
A maior concentração de açúcares (28,53g L⁻¹) foi obtida no ensaio realizado com pH 0,5, tempo 90 minutos e temperatura 97°C. Bej *et al.* (2008)¹¹ chegaram a uma conclusão semelhante ao avaliar os efeitos da hidrólise ácida de amido de trigo e concluíram que a maior conversão desse amido em açúcares se deu a uma temperatura de 95°C.

Por outro lado, Gräf *et al.* (2018)¹² estudando a eficiência da hidrólise ácida na determinação do teor de amido em alimentos, concluíram que as condições ótimas para hidrólise com H₂SO₄ seriam tempo de 60 minutos e temperatura de 110°C em autoclave. Isto se justifica pelo fato de ensaios em autoclave serem realizados sob pressão e portanto poderem ser trabalhados em temperaturas mais altas que a temperatura de ebulição da água, reduzindo assim o tempo de hidrólise.

Vale destacar que a fonte vegetal da qual se extraiu o amido também influencia nos resultados da hidrólise, como observado por Pinto *et al.* (2021)². Em seu estudo, foram realizadas hidrólises ácidas com H₂SO₄ e observou-se que, nas mesmas condições, a cinética da hidrólise foi maior para o amido de feijão do que para o amido de pinhão.

Em termos gerais, no presente trabalho verificou-se que as maiores concentrações de açúcares são obtidas em tempos de reação mais altos, temperaturas elevadas e pH baixo.

Figura 2 – Gráficos de contorno obtidos na otimização da hidrólise ácida, onde: (a) tempo x pH, (b) temperatura x pH e (c) tempo x temperatura



Conclusão

A partir dos resultados observados na hidrólise ácida do amido da fruta-de-lobo com ácido sulfúrico concluiu-se que a influência da temperatura e do pH foram significativas ($p > 0,05$) na formação de açúcares fermentescíveis, bem como a interação entre estas duas variáveis. Através das análises com DNS, constatou-se que a maior concentração de açúcares ($28,53 \text{ g L}^{-1}$) foi obtida quando se trabalhou com pH 0,5, tempo 90 minutos e temperatura 97°C .

Agradecimentos



Referências

- 1 COSTA, F.; BRAGA, R. C.; BASTOS, M. S. R.; SANTOS, D. N.; FROTA, M. M. Revestimentos comestíveis à base de fécula de mandioca (*Manihot esculenta*) em produtos vegetais: uma revisão. **Research, Society and Development**. v. 11, p. e54511427428, 2022.
- 2 PINTO, V. Z.; ALVES, V.; AMORIN, S. G.; SANTOS, G. H. F.; DEON, V. G. Pré-hidrólise enzimática na produção de amido modificado. **Revista Brasileira de Agrotecnologia**. v. 11, p. 1033-1042, 2021.
- 3 CASTANHA, N.; VILLAR, J.; MATTA JÚNIOR, M. D. M.; ANJOS, C. B. P.; AUGUSTO, P. E. D. Structure and properties of starches from Arracacha (*Arracacia xanthorrhiza*) roots. **International Journal of Biological Macromolecules**. v. 117, p. 1029-1038, 2018.
- 4 KLEIN, B.; PINTO, V. Z.; VANIER, N. L.; ZAVAREZE, E. R.; COLUSSI, R.; ENVANGELHO, J. A.; GUTKOSKI, L. C.; DIAS, A. R. G. Effect of single and dual heat-moisture

treatments on properties of rice, cassava and pinhao starches. **Carbohydrates Polymers**. v. 98, p. 1578-1584, 2013.

5 PFISTER, B.; ZEEMAN, S. C.; RUGEN, M. D.; FIELD, R. A.; EBENHÖH, O.; RAGUIN, A. Theoretical and experimental approaches to understand the biosynthesis of starch granules in a physiological context. **Photosynthesis Research**. v. 145, p. 55-70, 2020.

6 HUA, X.; YANG, R. Enzymes in Starch Processing. In: CHANDRASSEKARAN, M. **Enzymes in Food and Beverage Processing**. Boca Raton, FL, EUA: CRC Press, 2016. p. 139-169.

7 PALARETTI, L. F.; FAVARO, C. G.; DARLI, A. B. Efeito de nitrogênio e disponibilidade de água na emergência e desenvolvimento de lobeira (*Solanum lycocarpum* St. Hill). In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, XLII., 2014, Campo Grande - MS, 2014.

8 ROCHA, D. A.; ABREU, C. M. P.; CARDOSO, M. G.; CORRÊA, A. D.; CONTADO, E. W. N. F. Obtenção e caracterização físico-química e química do polvilho da fruta-de-lobo (*Solanum lycocarpum* A. St-Hil). **Scientia Plena**, v. 8, n. 9, p. 1-12, 2012.

9 MILLER, G. L. Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar. **Analytical Chemistry**. v. 31 (3), p. 426-428, 1959.

10 CABRAL, S. B. **Desenvolvimento de tecnologia para produção de bioetanol a partir da semente de jaca (*Artocarpus heterophyllus* L.)**. Tese – Doutorado em Engenharia de Processos – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Ciências e Tecnologia, Campina Grande, 2014.

11 BEJ, B.; BASU, R. K.; ASH, S. N. Kinetic studies on acid catalysed hydrolysis of starch. **Journal of Scientific & Industrial Research**. v. 67, p. 295-298, 2008.

12 GRÄF, W. M.; FRIEDEIN, J. F.; SENGEL, C. C. D.; MARTINS, G. L.; ZIZEMER, V. A. S.; KOZLOSKI, G. V. Determinação do teor de amido em alimentos por hidrólise ácida. In: Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia, 55, 2018, Goiânia - GO. **Anais eletrônicos...** Goiânia: PUC-GO, 2018.

USO DE NANOCELULOSE BACTERIANA PARA ADSORÇÃO DE Co (II) PROVENIENTE DE EFLUENTES DE MINERAÇÃO

Gabriela M. Paiva (PG)¹, Letícia F. Melo (IC)², Fernanda Palladino Pedroso (PQ)³, Patrícia da Luz Mesquita (PQ)¹, Igor J. B. Santos (PQ)¹.

¹ Universidade Federal de São João del-Rei, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, ² Universidade Federal de São João del-Rei, DQBIO/Engenharia de Bioprocessos, ³ Universidade Federal de Minas Gerais, Departamento de Microbiologia/Instituto de Ciências Biológicas.

*e-mail: igorboggione@ufsj.edu.br

Palavras-Chave: Cinética, planejamento de experimentos, otimização, Freundlich, Elovich.

Introdução

O Brasil é destaque mundial na produção de minério, liderado pelo Estado de Minas Gerais. No entanto, o modelo de negócios da mineração adotado atualmente é o “take & waste”, no qual materiais e subprodutos que não são usados se depositam em resíduos e são descartados em barragens. Esse modelo não é ambiental ou ecologicamente viável, tendo em vista que coloca a integridade ambiental e até mesmo a social em risco e, além disso, rejeita metais que poderiam ter outras aplicações industriais. Assim, um modelo de negócios sustentável seria a economia circular, o que permitiria a ciclagem de metais e sais solúveis da água do processo para manter seu valor e minimizar a geração de resíduos (VENÄLÄINEN *et al.*, 2017).

Portanto, a remoção dos metais pesados da água contaminada promoveria o benefício ambiental, pela diminuição dos riscos de contaminação, e econômico, pela reutilização de metais em várias aplicações industriais.

Os métodos comumente empregados para a remoção de metais pesados de efluentes industriais incluem precipitação química, floculação, separação por membranas, troca iônica, evaporação e eletrólise. No entanto, a maioria desses métodos são onerosos e/ou

ineficientes (GURGEL *et al.*, 2008). A adsorção é uma operação unitária já consolidada e eficiente para a remoção de metais pesados de soluções aquosas. O adsorvente mais utilizado e estudado atualmente é o carvão ativo, porém apresenta altos custos operacionais, baixa seletividade e complexos requisitos de regeneração térmica (HOKKANEN *et al.*, 2013), abrindo espaço para o estudo de novos materiais adsorventes, como a nanocelulose.

A nanocelulose bacteriana, BNC, consiste em um carboidrato estrutural arranjado em cadeia de nanofibras com uma largura menor que 100 nm (KUMBHAR *et al.*, 2015) e é biosintetizada extracelularmente a partir de bactérias pertencentes aos gêneros *Glucanoacetobacter*, *Agrobacterium*, *Alcaligenes*, *Pseudomonas*, *Rhizobium* ou *Sarcina* (ULLAH *et al.*, 2019). Apesar de possuir fórmula e estrutura semelhante à celulose vegetal, a BNC possui elevado módulo de elasticidade, alto grau de polimerização, alta permeabilidade, alta porosidade, excelente resistência mecânica e elevada área superficial o que, aliada à sua porosidade, favorece, sua aplicação como material adsorvente (DUARTE *et al.*, 2019).

Diante do exposto, o presente trabalho teve como objetivo aplicar a BNC, natural, como

adsorvente para remoção de Co (II) presente em efluentes monocomponentes simulados.

Procedimento Experimental

1.1. Adsorção

A adsorção de Co (II) em BNC natural foi avaliada em batelada, via isotermas de adsorção e modelos cinéticos de adsorção.

A seleção das melhores condições para a adsorção de metais pesados em BNC natural foi realizada via planejamento experimental por Box-Behnken composto de 15 ensaios em triplicata no ponto central. As variáveis avaliadas foram pH, concentração inicial de metal e massa de adsorvente. A Tabela 1 mostra as variáveis decodificadas separadamente do planejamento experimental via Box-Behnken da adsorção do metal em BNC natural.

Tabela 1: Planejamento experimental Box-Behnken da adsorção de Co (II) em BNC natural variando pH, concentração inicial do metal e massa do adsorvente BNC.

Ensaio	pH	[<i>i</i>] Co (II) (mg·mL ⁻¹)	M _i adsorvente (mg)
1	2,0	0,5	5,5
2	5,0	0,5	5,5
3	2,0	10,0	5,5
4	5,0	10,0	5,5
5	2,0	5,25	1,0
6	5,0	5,25	1,0
7	2,0	5,25	10,0
8	5,0	5,25	10,0
9	3,5	0,5	1,0
10	3,5	10,0	1,0
11	3,5	0,5	10,0
12	3,5	10,0	10,0
13	3,5	5,25	5,5
14	3,5	5,25	5,5
15	3,5	5,25	5,5

Os experimentos de adsorção foram realizados com concentrações conhecidas de Co (II), utilizando massa predeterminada de BNC e pH determinados pelo planejamento experimental. O pH da solução foi ajustado por NaOH a 1,0 mol·L⁻¹ e H₂SO₄ a 1,0 mol·L⁻¹. Os ensaios para avaliação do equilíbrio foram realizados em *shaker* (Orbital Eppendorff I-26), a 140 rpm e a 25 °C, por 24h. Após esse tempo de contato, a amostra foi centrifugada a 13751 g por 5 min e a concentração de metal no sobrenadante analisada por absorção atômica (55 A Atomic Absorption, Agilent), no laboratório de Controle de Qualidade da empresa Carandaí Agro, sediada na cidade de Carandaí. O comprimento de onda utilizado foi de 347,40 nm.

As variáveis-resposta avaliadas no planejamento experimental foram a remoção percentual do metal (R), representado pela Equação 1, e a capacidade de adsorção da BNC (q_e), representada pela Equação 2.

$$R (\%) = 1 - \left(\frac{C_e}{C_0} \right) \times 100 \quad (1)$$

onde *C_e* e *C₀* são concentração de equilíbrio do metal no tempo *t* (mg·L⁻¹) e concentração inicial do metal (mg·mL⁻¹), respectivamente.

$$Q = \frac{(C_0 - C_e) \cdot V}{m} \quad (2)$$

sendo *C₀* a concentração inicial do adsorvato (mg·g⁻¹); *V*, o volume da solução (l) e *m*, a massa do adsorvente (g).

A termodinâmica de adsorção foi avaliada com a aplicação de modelos termodinâmicos não lineares de Langmuir, Freundlich, Dubinin-Radushkevich e Temkin. Os modelos foram avaliados pelo coeficiente de determinação (R²) e pelo erro padrão.

As isotermas de adsorção foram obtidas em triplicata mantendo a massa de adsorvente e o pH na melhor condição.

Resultados e Discussão

A adsorção dos metais pesados foi avaliada em sua melhor condição em relação ao pH e à massa de BNC – adsorvente e, para a construção da isotermas, foram utilizadas as concentrações 0, 2, 4, 8, 16, 32 e 64 mg·mL⁻¹.

Para avaliar a condição de remoção máxima, foi realizado o planejamento experimental Box-Behnken, utilizando três níveis para cada fator a fim de modelar as superfícies de resposta para cada metal. A Tabela 02 apresenta as melhores condições encontradas para o Co (II) via planejamento experimental, bem como a capacidade adsorviva e o percentual de remoção atingidos.

Tabela 2: Melhores condições via planejamento Box-Behnken para a adsorção de Co (II) em BNC.

Metal	Massa de BNC (mg)	pH	Q _e (mg·g ⁻¹)	Remoção (%)
Co (II)	5,5	2,0	0,074	62,56

Para a conclusão do estudo da adsorção dos metais em BNC, isotermas de adsorção foram traçadas e os modelos de Langmuir, Freundlich, Temkin e Dubinin-Radushkevich foram ajustados aos dados obtidos.

A adsorção estabelecida entre Co (II) e a BNC é do tipo não favorável, ou seja, apresenta interações menos significantes entre adsorvente e adsorvato, havendo necessidade de elevadas concentrações de adsorvato para que haja interação efetiva com o sólido e, assim, aumento da adsorção efetiva.

O modelo que melhor se ajusta ao sistema estudado é o modelo de Freundlich. Os demais

modelos foram descartados, uma vez que não se adequaram aos dados obtidos através da análise do sistema.

Portanto, a adsorção é não ideal em superfícies heterogêneas em multicamada. Analisando o parâmetro 1/n, que versa sobre a adsorção ser ou não favorável, é possível chegar ao valor de n: n=0,553. Como o valor de n não está compreendido na faixa de 2 a 10 para nenhum dos sistemas, pode-se concluir que todos eles são considerados não favoráveis.

As adsorções do Co (II) em BNC também foram analisadas estatisticamente e, para isso, foram traçados o gráfico de Pareto e a superfícies de resposta gerada pela interação entre os três fatores analisados para o sistema estudado.

Por meio da análise do F_{Tabelado} de Rodrigues e Iemma (2009), é possível afirmar por meio do Teste F, que os resultados foram estatisticamente significativos.

O efeito do pH foi negativo para o processo, ou seja, quanto menor o pH do sistema, maior o rendimento a ser obtido. O mesmo pode ser observado para a massa de adsorvente – BNC – utilizada. O efeito da concentração inicial do metal a ser adsorvido também é negativo. No entanto, a concentração foi variada a fim de construir a isoterma que representa o processo de adsorção entre BNC e o Co (II).

A região de rendimento máximo para o processo de adsorção BNC-Co está inserida quando o pH está em seu valor mínimo, a massa de adsorvente em seu valor central e a concentração de metal em seus valores de máximo e mínimo.

Conclusão

Quando empregado como adsorvente, a BNC foi capaz de remover 62,56% de Co(II) e

obteve uma capacidade adsorptiva de 0,074, mg·g⁻¹. O modelo de adsorção que melhor descreve o equilíbrio de adsorção do Co(II) e BNC é o modelo de Freundlich, ou seja, a adsorção é não ideal em superfícies heterogêneas em multicamada.

Assim, a BNC foi capaz de adsorver o metal em questão ainda que não fora realizada nenhuma modificação estrutural.

Agradecimentos

À CarandaíAgro, ao TECDEF, ao Laboratório multiusuário CiPharma da UFOP pelas medidas em NanoZeta Sizer e ao projeto —Asymmetric Flow Field Flow Fractionation (FAPEMIG CDS – APQ 01510-14), à FAPEMIG, à CAPES e à UFSJ.

Referências

DUARTE, E. B.; ANDRADE, F. K.; LIMA, H. L. S.; NASCIMENTO, E. S.; CARNEIRO, M. J. M.; BORGES, M. F.; LUZ, E. P. C. G.; CHAGAS, B. S.; ROSA, M. F. Celulose Bacteriana: Propriedades, Meios Fermentativos e Aplicações. EMBRAPA, 1ª ed., 2019.

GURGEL, L. V. A.; JÚNIOR, O. K.; GIL, R. P. F.; GIL, L. F. Adsorption of Cu(II), Cd(II) and Pb(II) from aqueous single metal solutions by cellulose and mercerized cellulose chemically modified with succinic anhydride. Bioresource Technology, v.99, p. 3077-3083. 2008.

HOKKANEN, S.; REPO, E.; SILLANPÄÄ, M. Removal of heavy metals from aqueous solutions by succinic anhydride modified

mercerized nanocellulose. Chemical Engineering Journal, v. 223, p. 40-47. 2013.

KUMBHAR, J. V.; RAJWADE, J. M.; PAKNIKAR, K. M. Fruit peels support higher yield and superior quality bacterial cellulose production. Applied Microbiology and Biotechnology, v. 99, n 16, p. 6677-6691. 2015.

ULLAH, M. W.; MANAN, S.; KIPRONO, S. J.; UI-ISLAM, M.; YANG, G. 4- Synthesis, Structure and Properties of Bacterial Cellulose. In: Nanocellulose: From Fundamentals to Advanced Materials. 1 ed. China: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2019, p. 81-113.

VENÄLÄINEN, S.H.; HARTIKAINEN, H. Retention of metal and sulphate ions from acidic mining water by anionic nanofibrillated cellulose. Science of the Total Environment, v. 599- 600, p.1608-1613. 2017.

05 a 07 de julho de 2023
Ouro Branco, Minas Gerais, Brasil

PRODUÇÃO DE ETANOL POR *SACCHAROMYCES CEREVISIAE* A PARTIR DE SEMENTE DE ARATICUM (*ANNONA CRASSIFLORA*)

Área: Indústria e Processos industriais

Héctor Z. A. Malta (IC),¹ Jefferson S. Guimarães (IC),¹ Armando G. Rodriguez (PQ)*.¹

¹ Universidade Federal de Goiás, Departamento de Bioquímica e Biologia Molecular

armandogr@ufg.br

Palavras-Chave: *Resíduos agroindustriais, Fermentação alcoólica, Etanol, Saccharomyces cerevisiae*

Toxinas naturais

Resumo

Os frutos do cerrado vêm ganhando uma grande importância comercial e cultural, devido ao seu consumo cada vez maior a nível nacional. Dentre os frutos típicos do cerrado, podemos citar o araticum (*Annona crassiflora*). Além de sua polpa ser consumida *in natura*, são fabricados subprodutos, como picolé, doces e sucos, gerando resíduos (cascas e sementes), que podem ser aproveitados para fermentação alcoólica na produção de biocombustíveis (1). Tendo isso em vista, foi realizada a fermentação alcoólica visando a produção de etanol a partir da levedura *Saccharomyces cerevisiae* cepa S-05, utilizando as sementes do fruto como substrato. Assim, para um delineamento fatorial 3² em escala laboratorial, foi realizada a determinação do crescimento de biomassa, do consumo de substrato e da produção de etanol nos tempos de 24, 48 e 72 horas a partir do momento da inoculação da levedura para as concentrações de 1, 5 e 9% (grama/volume) de substrato, apresentando rendimento máximo de 4,8% para a síntese de etanol. Os rendimentos apresentados não dependeram de adição enzimática ao meio fermentativo. Além disso, a presença de acetogeninas tóxicas nas sementes, a qual é descrita em literatura para a família Annonaceae (2), aparentemente não interfere na produção alcoólica. Estes resultados indicam que a semente de araticum possui potencial como matéria-prima na produção de etanol via fermentativa.

Agradecimentos

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Goiás (FAPEG) pelo fornecimento de materiais que foram essenciais para o desenvolvimento da pesquisa que possibilitou a realização deste trabalho.

Referências

- (1) VILPOUX, O. (1998) Amidos adaptados ao uso nas indústrias de alimentos. Fax/Jornal CERAT/UNESP, Botucatu, n.70, p.1-2.
- (2) Lima LARS, Lopes MTP, Cunha MM, Pimenta LPS, Boaventura MAD. Avaliação da atividade citotóxica das sementes de *Annona cornifolia* A. St.-Hil. (Annonaceae). Rev bras plantas med [Internet]. 2012;14(4):629-34. <https://doi.org/10.1590/S1516-05722012000400009>