

COLEÇÃO
DESAFIOS
DAS
ENGENHARIAS:

ENGENHARIA QUÍMICA 2



CLEISEANO EMANUEL DA SILVA PANIAGUA
(ORGANIZADOR)

Atena
Editora
Ano 2021

COLEÇÃO
DESAFIOS
DAS
ENGENHARIAS:

ENGENHARIA QUÍMICA 2



CLEISEANO EMANUEL DA SILVA PANIAGUA
(ORGANIZADOR)

Atena
Editora
Ano 2021

Editora chefe

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Editora executiva

Natalia Oliveira

Assistente editorial

Flávia Roberta Barão

Bibliotecária

Janaina Ramos

Projeto gráfico

Camila Alves de Cremo

Daphynny Pamplona

Luiza Alves Batista

Maria Alice Pinheiro

Natália Sandrini de Azevedo

Imagens da capa

iStock

Edição de arte

Luiza Alves Batista

2021 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do texto © 2021 Os autores

Copyright da edição © 2021 Atena Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.

Open access publication by Atena Editora



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição *Creative Commons*. Atribuição-Não-Comercial-NãoDerivativos 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores, inclusive não representam necessariamente a posição oficial da Atena Editora. Permitido o *download* da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

Todos os manuscritos foram previamente submetidos à avaliação cega pelos pares, membros do Conselho Editorial desta Editora, tendo sido aprovados para a publicação com base em critérios de neutralidade e imparcialidade acadêmica.

A Atena Editora é comprometida em garantir a integridade editorial em todas as etapas do processo de publicação, evitando plágio, dados ou resultados fraudulentos e impedindo que interesses financeiros comprometam os padrões éticos da publicação. Situações suspeitas de má conduta científica serão investigadas sob o mais alto padrão de rigor acadêmico e ético.

Conselho Editorial

Ciências Exatas e da Terra e Engenharias

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto

Profª Drª Ana Grasielle Dionísio Corrêa – Universidade Presbiteriana Mackenzie

Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás

Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná

Prof. Dr. Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás

Prof. Dr. Douglas Gonçalves da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Profª Drª Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Profª Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá
Prof. Dr. Marco Aurélio Kistemann Junior – Universidade Federal de Juiz de Fora
Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Sidney Gonçalo de Lima – Universidade Federal do Piauí
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

Diagramação: Camila Alves de Cremo
Correção: Mariane Aparecida Freitas
Indexação: Gabriel Motomu Teshima
Revisão: Os autores
Organizador: Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

C691 Coleção desafios das engenharias: engenharia química 2 /
Organizador Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua. –
Ponta Grossa - PR: Atena, 2021.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-5983-536-2

DOI: <https://doi.org/10.22533/at.ed.362212610>

1. Engenharia química. I. Paniagua, Cleiseano Emanuel
da Silva (Organizador). II. Título.

CDD 660

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

Atena Editora

Ponta Grossa – Paraná – Brasil
Telefone: +55 (42) 3323-5493

www.atenaeditora.com.br

contato@atenaeditora.com.br

DECLARAÇÃO DOS AUTORES

Os autores desta obra: 1. Atestam não possuir qualquer interesse comercial que constitua um conflito de interesses em relação ao artigo científico publicado; 2. Declaram que participaram ativamente da construção dos respectivos manuscritos, preferencialmente na: a) Concepção do estudo, e/ou aquisição de dados, e/ou análise e interpretação de dados; b) Elaboração do artigo ou revisão com vistas a tornar o material intelectualmente relevante; c) Aprovação final do manuscrito para submissão.; 3. Certificam que os artigos científicos publicados estão completamente isentos de dados e/ou resultados fraudulentos; 4. Confirmam a citação e a referência correta de todos os dados e de interpretações de dados de outras pesquisas; 5. Reconhecem terem informado todas as fontes de financiamento recebidas para a consecução da pesquisa; 6. Autorizam a edição da obra, que incluem os registros de ficha catalográfica, ISBN, DOI e demais indexadores, projeto visual e criação de capa, diagramação de miolo, assim como lançamento e divulgação da mesma conforme critérios da Atena Editora.

DECLARAÇÃO DA EDITORA

A Atena Editora declara, para os devidos fins de direito, que: 1. A presente publicação constitui apenas transferência temporária dos direitos autorais, direito sobre a publicação, inclusive não constitui responsabilidade solidária na criação dos manuscritos publicados, nos termos previstos na Lei sobre direitos autorais (Lei 9610/98), no art. 184 do Código Penal e no art. 927 do Código Civil; 2. Autoriza e incentiva os autores a assinarem contratos com repositórios institucionais, com fins exclusivos de divulgação da obra, desde que com o devido reconhecimento de autoria e edição e sem qualquer finalidade comercial; 3. Todos os e-book são *open access*, desta forma não os comercializa em seu site, sites parceiros, plataformas de *e-commerce*, ou qualquer outro meio virtual ou físico, portanto, está isenta de repasses de direitos autorais aos autores; 4. Todos os membros do conselho editorial são doutores e vinculados a instituições de ensino superior públicas, conforme recomendação da CAPES para obtenção do Qualis livro; 5. Não cede, comercializa ou autoriza a utilização dos nomes e e-mails dos autores, bem como nenhum outro dado dos mesmos, para qualquer finalidade que não o escopo da divulgação desta obra.

APRESENTAÇÃO

O e-book intitulado: “Coleção Desafios das Engenharias: Engenharia Química 2” é constituído por dezoito capítulos de livros que foram organizados em quatro áreas temáticas: *i)* utilização de adsorventes para remoção de Contaminantes de Interesse Emergente (CIE) em diferentes matrizes aquosas; *ii)* produção de biodiesel e bio-óleo a partir de biomassa ou reutilização de óleo de fritura; *iii)* análise de recuperação avançada de petróleo por injeção de gás carbônico ou polímeros e práticas de gestão para exploração de petróleo e gás natural e *iv)* aplicações diversas.

O primeiro tema é composto por 50% dos capítulos de livros presente no e-book, apresentando trabalhos utilizando biomassas de origem vegetal para remoção da turbidez presente em efluentes oleosos e metais em águas residuárias e industriais; remoção de nitrogênio amoniacal e o fármaco ivermectina utilizando o carvão ativado, respectivamente, *in natura* e funcionalizado com grafeno; aplicação de surfactantes não-iônicos para reduzir a dissolução de carbonatos e a redução do consumo de água em processo de bradagem; a apresentação de um método analítico para quantificar a presença de Bisfenol A em águas superficiais, um estudo de revisão da literatura que mostra a qualidade dos recursos hídricos em vários países e a presença da diversidade e quantidade dos CIEs nas matrizes aquosas e a caracterização físico-química da farinha de Inhame obtida pelo processo de atomização. A segunda temática apresenta dois estudos que investigaram a produção de biodiesel e bio-óleo a partir, respectivamente, do aproveitamento do óleo de soja/fritura e da pirólise proveniente de biomassa.

Os capítulos de 12 a 14 apresentam trabalhos que buscaram avaliar a eficiência da injeção de gás carbônico ou solução de polímero para avaliar a recuperação avançada do petróleo. Além disso, apresenta um estudo de práticas de gestão operacional de exploração e produção de petróleo e gás natural exigido para atender normas da ABNT e certificações ISO e regulamentos técnicos estabelecidos pela Agência Nacional do Petróleo (ANP). Já os trabalhos presentes nos capítulos de 15 a 18 tratam de temas que variam da utilização da garrafa PET como dispositivo para determinar a densidade aparente de materiais em forma de pó; análise da geometria, diluição e qualidade de revestimentos de aço AISI 317L aplicado pelo processo de GTAW; estudo teórico visando aumentar a eficiência de uma coluna cromatográfica utilizando sílica na forma de nanopartículas e; apresenta uma aplicação na indústria de alimentos que utilizou a mistura de bebida fermentada de camomila com o cogumelo da espécie *Agaricus Brasiliensis*.

Diante desta variedade de estudos, provenientes de pesquisadores (as) de diferentes partes do Brasil, a Atena Editora selecionou e reuniu estes trabalhos neste e-book que depois de publicado, estará acessível de forma gratuita em seu *site* e em outras plataformas digitais, contribuindo para a divulgação do conhecimento científico gerado nas

instituições de ensino de todo o país. Assim, a Atena Editora vem trabalhando, buscando, estimulando e incentivando cada vez mais os pesquisadores do Brasil e de outros países a publicarem seus trabalhos com garantia de qualidade e excelência em forma de livros ou capítulos de livros.

Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1..... 1

ESTUDO DA EFICIÊNCIA DA CASCA DE MARACUJÁ NA REMOÇÃO DE TURBIDEZ DE EFLUENTE OLEOSO

Cinthia Silva Almeida
Antonia Vitória Grangeiro Diógenes
Macilene Maria Monteiro Maia
Daianni Ariane da Costa Ferreira
Francisco Wilton Miranda da Silva
Zilvam Melo dos Santos
Manoel Reginaldo Fernandes
Regina Celia de Oliveira Brasil Delgado

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.3622126101>

CAPÍTULO 2..... 9

AMMONIA NITROGEN REMOVAL FROM FISH PROCESSING WASTEWATER BY ADSORPTION USING ACTIVATED CARBON

Davi Vieira Gomes
Maria Alice Prado Cechinel

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.3622126102>

CAPÍTULO 3..... 18

CINÉTICA DE ADSORÇÃO DE IVERMECTINA EM CARVÃO ATIVADO FUNCIONALIZADO COM GRAFENO

Eduardo Possebon
Marcelo Fernandes Vieira

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.3622126103>

CAPÍTULO 4..... 34

APLICAÇÃO DE SURFATANTES NÃO IÔNICOS NO CONTROLE DA TAXA DE DISSOLUÇÃO DE CARBONATOS NA ACIDIFICAÇÃO DE MATRIZ

Alcides de Oliveira Wanderley Neto
Guilherme Mentges Arruda
Dennys Correia da Silva
Luiz Felipe da Hora
Jefferson David Coutinho de Araújo
Marcos Allyson Felipe Rodrigues

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.3622126104>

CAPÍTULO 5..... 45

UM ESTUDO PARA OTIMIZAÇÃO DO CONSUMO DE ÁGUA E REDUÇÃO DA PEGADA DE CARBONO EM PROCESSO DE BRASAGEM

Caline Nunes de Carvalho
Tereza Neuma de Castro Dantas
Afonso Avelino Dantas Neto
Herbert Senzano Lopes

Andréa Oliveira Nunes

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.3622126105>

CAPÍTULO 6..... 57

PROPOSTA DE MÉTODO ANALÍTICO PARA QUANTIFICAÇÃO DE BISFENOL A EM ÁGUAS SUPERFICIAIS

Cristiano Gonçalves Alano
Paula Roberta Perondi Furtado
Marcia Luciane Lange Silveira
Jamile Rosa Rampinelli
Elisabeth Wisbeck
Mariane Bonatti Chaves
Sandra Aparecida Furlan

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.3622126106>

CAPÍTULO 7..... 74

CONTAMINANTES DE INTERESSE EMERGENTE PRESENTES EM DIFERENTES MATRIZES AQUOSAS: O QUE VOCÊ NÃO VÊ, MAS AFETA E COMPROMETE A QUALIDADE DOS DIFERENTES ECOSSISTEMAS E A SAÚDE DE TODOS OS ORGANISMOS VIVOS

Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua
Valdinei de Oliveira Santos

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.3622126107>

CAPÍTULO 8..... 87

CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA E TECNOLÓGICA DE FARINHA DE INHAME OBTIDA POR ATOMIZAÇÃO

Edison Paulo de Ros Triboli
Letícia Giuliani Yashiki

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.3622126108>

CAPÍTULO 9..... 93

PRODUÇÃO DE BIODIESEL UTILIZANDO ÓLEO DE FRITURA E ÓLEO DE SOJA

Rafael Melo dos Santos Costa
Juan Medeiros Sousa
Dyenny Ellen Lima Lhamas

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.3622126109>

CAPÍTULO 10..... 101

PRODUÇÃO DO BIO-ÓLEO A PARTIR DA PIRÓLISE RÁPIDA DA BIOMASSA

Janaína Santos Matos
Leila Maria Aguilera Campos
Maria Luiza Andrade da Silva

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.36221261010>

CAPÍTULO 11..... 114

UMA REVISÃO SOBRE A OBTENÇÃO DE BIOCOMBUSTÍVEIS A PARTIR DE EFLUENTES DO PROCESSAMENTO DA MANDIOCA GERADOS NO BRASIL

Renata Carvalho Costa

Márcio Daniel Nicodemos Ramos

André Aguiar

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.36221261011>

CAPÍTULO 12..... 126

ANÁLISE DE RECUPERAÇÃO AVANÇADA DE PETRÓLEO ATRAVÉS DA INJEÇÃO MISCÍVEIS DE CO₂ POR MEIO DE SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL DO CASO UNISIM-II-H

Ana Paula Pereira Santos

Paulo Couto

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.36221261012>

CAPÍTULO 13..... 145

INJEÇÃO DE POLÍMEROS ACIMA DA PRESSÃO DE FRATURA DA FORMAÇÃO COMO MÉTODO DE RECUPERAÇÃO AVANÇADA DE PETRÓLEO

Maria do Socorro Bezerra da Silva

Edney Rafael Viana Pinheiro Galvão

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.36221261013>

CAPÍTULO 14..... 157

PRÁTICAS DE GESTÃO OPERACIONAL NA EXPLORAÇÃO E PRODUÇÃO (E&P) DE PETRÓLEO E GÁS NATURAL NO BRASIL, PARA ATENDER REQUISITOS DE NORMAS ABNT NBR ISO DE SGI E DE REGULAMENTOS TÉCNICOS DA AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO (ANP)

Raymundo Jorge de Sousa Mançú

Luís Borges Gouveia

Silvério dos Santos Brunhoso Cordeiro

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.36221261014>

CAPÍTULO 15..... 196

MELHORIA DA DETERMINAÇÃO DE DENSIDADE APARENTE DE PÓS COM AUXÍLIO DE DISPOSITIVO FEITO COM GARRAFA DE REFRIGERANTE

Edison Paulo de Ros Triboli

Marina Piasentini Oliva

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.36221261015>

CAPÍTULO 16..... 202

ANÁLISES DA GEOMETRIA, DILUIÇÃO E QUALIDADE DE REVESTIMENTOS DE AÇO AISI 317L APLICADOS PELO PROCESSO GTAW COM ADIÇÃO DE ARAME FRIO

Rafael Barbosa Carneiro dos Santos

João Pedro Inácio Varela

Mathews Lima dos Santos

Marcos Mesquita da Silva

Renato Alexandre Costa de Santana

Raimundo Nonato Calazans Duarte

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.36221261016>

CAPÍTULO 17.....215

**ESTUDO TEÓRICO: AUMENTO DA EFICIÊNCIA DE COLUNAS CROMATOGRÁFICAS
POR APLICAÇÃO DE NANOPARTÍCULAS**

Afonso Poli Neto

Herbert Duchatsch Johansen

Marcelo Telascrêa

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.36221261017>

CAPÍTULO 18.....229

BEBIDA FERMENTADA DE CAMOMILA COM COGUMELO *AGARICUS BRASILIENSIS*

Joseane Martins de Oliveira

Édipo Gulogurski Ribeiro

Meakaythacher Massayumi Takayanagui

Ana Carolina Dobrychtop

Camila Kaminski

Herta Stutz

Sueli Pércio Quináia

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.36221261018>

SOBRE O ORGANIZADOR.....238

ÍNDICE REMISSIVO.....239

UMA REVISÃO SOBRE A OBTENÇÃO DE BIOCOMBUSTÍVEIS A PARTIR DE EFLUENTES DO PROCESSAMENTO DA MANDIOCA GERADOS NO BRASIL

Data de aceite: 27/09/2021

Renata Carvalho Costa

Universidade Federal de Alfenas, Programa de Pós-graduação em Biotecnologia
Alfenas – Minas Gerais
<https://orcid.org/0000-0002-5640-0682>

Márcio Daniel Nicodemos Ramos

Universidade Federal de Itajubá, Instituto de Recursos Naturais
Itajubá – Minas Gerais
<https://orcid.org/0000-0001-5005-2384>

André Aguiar

Universidade Federal de Itajubá, Instituto de Recursos Naturais
Itajubá – Minas Gerais
<https://orcid.org/0000-0001-6068-5337>

RESUMO: O processamento da mandioca gera elevado volume de efluentes, sendo que seu descarte indevido pode acarretar graves problemas ambientais. Com isso, tem-se buscado alternativas para usá-lo como matéria-prima para obter produtos de valor agregado ao invés de apenas tratá-lo para disposição no meio ambiente. Nesse sentido, o presente trabalho consistiu em um levantamento a respeito da produção de biocombustíveis a partir de efluentes de processamento da mandioca (EPM) gerados no Brasil. Foi possível constatar que o EPM tem elevada concentração de carboidratos, além de nutrientes. Alguns estudos dos últimos 10 anos reportaram produção de etanol, mas inferior ao que é obtido com o caldo de cana-

de-açúcar. A maioria das pesquisas tem focado na produção de biogás, o qual já vem sendo utilizado como substituto (parcial) da lenha usada em caldeiras da própria indústria, acarretando ganho econômico e ambiental. O EPM também pode ser convertido em bio-hidrogênio, tendo sido estudados diferentes reatores para otimizar sua produção.

PALAVRAS-CHAVE: Efluente de processamento da mandioca, manipueira, etanol, biogás, bio-hidrogênio.

A REVIEW ON OBTAINING BIOFUELS FROM CASSAVA PROCESSING WASTEWATERS GENERATED IN BRAZIL

ABSTRACT: Cassava processing generates a high volume of effluents, and its improper disposal can cause serious environmental problems. Thus, alternatives have been sought to use it as a raw material to obtain value-added products instead of just treating it for disposal in the environment. In this sense, the present work consisted of a survey on the production of biofuels from cassava processing wastewaters (CPWW) generated in Brazil. It was possible to verify that CPWW has a high concentration of carbohydrates, in addition to nutrients. Studies published in the last 10 years obtained ethanol production, but still lower than that with sugarcane juice. Most research has focused on the production of biogas, which is already being used as a (partial) substitute fuel for firewood used in boilers of the own industry, resulting in economic and environmental gains. CPWW can also be converted into biohydrogen, and different reactors are being studied to optimize its production.

KEYWORDS: Cassava processing wastewater, manipueira, ethanol, biogas, biohydrogen.

1 | INTRODUÇÃO

A mandioca (*Manihot esculenta* Crantz), também conhecida no país como aipim ou macaxeira, é um arbusto lenhoso perene da família Euphorbiaceae (MOMBO et al., 2017; SILVA et al., 2018). É uma raiz tuberosa que pode ser cultivada em ambientes secos e pobres em nutrientes, dispensando uma manutenção substancial para o seu cultivo (MOMBO et al., 2017; ZHANG et al., 2016). O Brasil se destaca na sua produção, tendo colhido 18,9 milhões de toneladas em 2019, que corresponde a um valor bruto de produção de R\$ 9,23 bilhões (COÊLHO e XIMENES, 2020).

A parte da planta de maior interesse comercial é a raiz, a qual contém de 85 a 88% de amido em base seca, além de outros constituintes como proteínas e sais minerais (OLIVEIRA et al., 2007). A mandioca é uma excelente fonte de energia para alimentação humana e animal, servindo de matéria-prima para diversos produtos, principalmente dois deles. Sua farinha é produzida a partir de raízes trituradas e depois torradas, enquanto a fécula é extraída após trituração, adição de água e centrifugação, seguida de secagem (SILVA et al., 2018; ZHANG et al., 2016).

O Efluente do Processamento da Mandioca (EPM) é o resíduo líquido proveniente da mandioca para a produção tanto de farinha de mesa quanto da fécula (ZHANG et al., 2016). Ao ser proveniente da produção de farinha, o EPM é chamado comumente no Brasil de manipueira. O EPM é tóxico por possuir substâncias cianogênicas e tem elevada demanda bioquímica de oxigênio (DBO) (CONCEIÇÃO et al., 2013; ARAÚJO et al., 2014; SILVA et al., 2018), uma forma de mensurar a concentração de matéria orgânica biodegradável. A quantidade de efluente varia conforme a indústria. Por exemplo, casas de farinha no Nordeste podem gerar de 280 a 400 L de manipueira a partir de uma tonelada de mandioca (ARAÚJO et al., 2014; SOUZA et al., 2015). Para o efluente de fecularia, o volume por tonelada de mandioca processada é esperado ser maior devido à adição de água para extrair o amido. Os EPMS podem também conter uma parcela de águas residuárias das etapas iniciais de lavagem das raízes (ARAÚJO et al., 2014; LEITE et al., 2016).

Atualmente, esse efluente é disposto majoritariamente em lagoas de estabilização, porque é barato, além de não necessitar de mão-de-obra especializada. Todavia, esse tratamento possibilita a indevida infiltração do líquido no solo, podendo contaminar lençóis freáticos e aquíferos. Adicionalmente, gera odor desagradável e problemas de saúde por atrair insetos vetores de patogenicidades (CONCEIÇÃO et al., 2013).

Ao invés de dispor o EPM em lagoas, sua composição permite sua conversão em combustíveis, como etanol, biogás e bio-hidrogênio por meio de rotas biotecnológicas. Estudos para a produção de biocombustíveis a partir desse efluente têm aumentado, pois a procura por fontes renováveis de energia é uma abordagem atual e necessária,

principalmente aquelas provenientes de biomassas residuais, como é o caso do EPM (CONCEIÇÃO et al., 2013; ZHANG et al., 2016).

O presente trabalho teve como propósito levantar as características desse efluente agroindustrial gerado no Brasil, e principalmente os dados a respeito do seu uso como matéria-prima para a produção de biocombustíveis. Para isso, foi feita uma consulta à literatura a partir de artigos científicos, monografias e trabalhos de congresso sobre a utilização de EPM para produzir biocombustíveis.

2 | LEVANTAMENTO SOBRE A PRODUÇÃO DE BIOCOMBUSTÍVEIS A PARTIR DE EPM

Na Tabela 1 consta a composição em carboidratos além de outros parâmetros relevantes do EPM. As concentrações variam, pois os efluentes são gerados em diferentes empresas (de diferentes portes) que geram produtos variados (por exemplo, farinha ou fécula) e com distintas operações unitárias envolvidas. Apesar disso, constata-se que o EPM possui elevada concentração de carboidratos, matéria orgânica (reportada como demanda química de oxigênio – DQO), além de quantidades significativas de nitrogênio e fósforo. Seu pH é geralmente abaixo de 7 devido à presença de ácidos orgânicos (AMORIM, 2012; BATISTA, 2014; MAÑUNGA et al., 2019).

Origem do resíduo	Açúcar total (g.L ⁻¹)	pH	DQO (g.L ⁻¹)	Nitrogênio (g.L ⁻¹)	Fósforo (g.L ⁻¹)	Referência
Taquarana – AL	37,5	5,5	66,2	1,26	-	AMORIM (2012)
Toledo – PR	11,8	4,1-5,3	11,8	0,28 (NKT)	-	ANDREANI (2012)*
não informado	6,4	4,1-6,1	11,8	-	-	ANDREANI et al. (2019)*
não informado	-	4,4- 6,4	10,3	0,25 (NKT)	-	ARAÚJO et al. (2018)*
Maceió – AL	25,6	4,3	5,6	2,62	0,05	BATISTA (2014)
não informado	5,1	-	-	-	-	BATISTA et al. (2018)*
Araras – SP	20	5,2	95,3	-	-	CHOGI et al. (2020)
Toledo – PR	3,1	-	9,1	0,15	0,03	CORBARI et al. (2019)*
Cascavel – PR	-	4,4	15,7	-	-	KUCZMAN et al. (2011)
PR	7,6 (AM)	5,9	-	-	-	KUPSKI (2018)
não informado	0,5	3,7	2,7	0,02 (NAM)	-	MAÑUNGA et al. (2019)
Sapé – PB	8,1 (AR)	3,9	101,4	3,14%	-	MONTEIRO (2015)
Feira Nova – PE	-	3,8	-	-	-	SANTANA et al. (2017)
Stá. Maria da Serra - SP	1,96%; 6,3% (AM)	5,6	-	-	-	SUMAN et al. (2011)

PR	4,2	-	6,8	0,001 (NKT)	-	TONELLO et al. (2018)*
Toledo – PR	2,1	3,9-4,8	8,15	0,21	0,03	TORRES et al. (2017)*

*Média das amostras; AM: Amido; AR: açúcar redutor; NKT: Nitrogênio Kjeldahl Total; NAM: Nitrogênio amoniacal.

Tabela 1 – Dados de composição do EPM.

Devido à sua composição, estudos recentes têm avaliado o EPM como matéria-prima para a produção de biocombustíveis. Na Tabela 2 estão relatados os principais resultados de pesquisas que objetivaram a produção biotecnológica de etanol, butanol, biogás e bio-hidrogênio a partir de EPM.

Biocatalisador	Resultados	Referência
Etanol		
CB	• 2647,9 mg.L ⁻¹ .	CHOGI et al. (2020)
Sc	• 4 g.L ⁻¹	KUPSKI (2018)
Sc	• 417,6 L.d ⁻¹ de álcool 70%.	SANTANA et al. (2017)
Sc	• 3,14 a 4,08% (v/v).	SUMAN et al. (2011)
LRA	• 0,097 a 0,924 g.L ⁻¹ .	TORRES et al. (2017)
Butanol		
LRA	• 134,3 a 1529,2 mg.L ⁻¹ .	TORRES et al. (2017)
CB	• 1131,7 mg.L ⁻¹ .	CHOGI et al. (2020)
Biogás		
LRA	• 0,03 a 0,31 L.g ⁻¹ DQO consumida. • 0,03 a 0,22 L CH ₄ .g ⁻¹ DQO consumida.	ARAÚJO et al. (2018)
RS	• 0,005 a 0,012 L CH ₄ .L ⁻¹ .h ⁻¹ .	BATISTA et al. (2018)
LLA	• 0,41 a 0,65 L.L ⁻¹ .d ⁻¹ .	KUCZMAN et al. (2011)
LLA	• 0,131 a 0,430 L.L ⁻¹ .d ⁻¹ . • 0,368 a 0,907 L.g ⁻¹ DQO consumida.	KUCZMAN et al. (2014)
LP; LS	• 1,41% mol.mol ⁻¹ de metano.	MONTEIRO (2015)
LLA	• 1446,034 m ³ .d ⁻¹ .	VENTURIN (2017)
Bio-H ₂		
LRA	• 2,2 e 2,9 L H ₂ .d ⁻¹ . • 0,6 e 0,8 L H ₂ .g ⁻¹ Carb.	ANDREANI (2012)
FN; LRA	• 0,3 a 1,5 mol H ₂ .kg ⁻¹ Carb. • 0,3 a 0,7 L H ₂ .L ⁻¹ .d ⁻¹ .	ANDREANI et al. (2019)
LLA	• 0,005 a 0,012 L CH ₄ .L ⁻¹ .h ⁻¹ .	BATISTA (2014)
LLA	• 0,13 a 1,91 mol H ₂ .mol ⁻¹ glicose. • 0,20 a 2,04 L.h ⁻¹ .L ⁻¹ .	AMORIM (2012)
RS	• 0,14 a 1,13 mol H ₂ .mol ⁻¹ glicose.	BATISTA et al. (2018)
FN; LRA	• 0,2 a 0,3 mol H ₂ .mol ⁻¹ Carb. • 0,23 a 0,55 L H ₂ .L ⁻¹ .d ⁻¹ .	CORBARI et al. (2019)

LUASB	• 1,25 mol H ₂ .mol ⁻¹ Carb.	MAÑUNGA et al. (2019)
LLA	• 0,0005 a 0,27 L H ₂ .L ⁻¹ .h ⁻¹ .	NUNES e NETTO (2016)
LUASB	• 0,01 a 2,0 mmol H ₂ .g ⁻¹ DQO. • 0,03 a 2,1 L H ₂ .L ⁻¹ .d ⁻¹ .	ROSA et al. (2016)
LRA	• 0,20 a 0,86 mmol H ₂ .mol ⁻¹ Carb. • 0,14 a 0,25 L H ₂ .L ⁻¹ .d ⁻¹ .	TORRES et al. (2017)
LRA	• 0,46 a 3,25 mol H ₂ .kg ⁻¹ Carb.	TONELLO et al. (2018)

CB: *Clostridium beijerinckii*; RS: Resíduo de suinocultura; LUASB: Lodo de reator anaeróbio de fluxo ascendente de alta eficiência; EB: Esterco bovino; Sc: *Saccharomyces cerevisiae*; LRA: Lodo de reator anaeróbio; LLA: Lodo de lagoa anaeróbia; LP: Lodo primário; LS: Lodo secundário; RS: Resíduo de suinocultura; FN: Inóculo obtido da fermentação natural do efluente; LBI: Lodo de biodigestor do tipo indiano;

Tabela 2 – Principais resultados da produção de biocombustíveis a partir de EPM.

Para a obtenção de etanol por fermentação alcoólica, o EPM deve passar por dois processos biológicos sequenciais: primeiramente o enzimático e depois o microbiano (fermentação), conforme mostra a Figura 1. A utilização de enzimas exógenas é requerida, como a α -amilase (EC 3.2.1.1) e a glicoamilase (EC 3.2.1.3), pois a levedura *S. cerevisiae* não assimila diretamente o amido, somente açúcares fermentescíveis de baixa massa molecular são convertidos por ela em etanol (SAEED et al., 2018). Kupski (2018) estudou a hidrólise enzimática a 60°C em pH 4,5, fixando a concentração de α -amilase (0,5 ml.L⁻¹) e variando a concentração de glicoamilase (1, 1,5 e 2 mL.L⁻¹). A maior concentração do segundo biocatalisador gerou maior produção de glicose (9,6 g.L⁻¹), sendo utilizada na fermentação alcoólica. Suman et al. (2011), por sua vez, hidrolisaram enzimática com a α -amilase Termamyl 120 L em pH 6,28, seguido pela adição da glicoamilase AMG 300 L em pH 4,5. Ao analisar a etapa de fermentação alcoólica, eles verificaram que porcentagens menores de levedura e temperaturas mais brandas (3% de levedura a 19 °C) interferiram positivamente no processo. A hidrólise ácida do EPM também tem sido avaliada, mas em outros estudos, utilizando o ácido sulfúrico como catalisador (SANTANA et al., 2017; CHOGI et al., 2020).

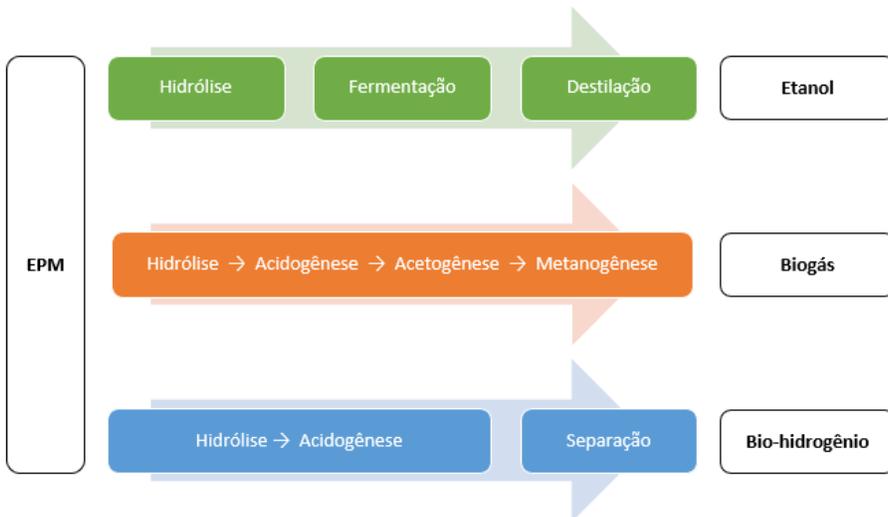


Figura 1 – Principais etapas de produção do etanol, biogás e bio-hidrogênio a partir do EPM.

Etanol também foi produzido como produto secundário da fermentação acetobutanólica de EPM. Chogi et al. (2020), por exemplo, ao comparar um isolado de *Clostridium beijerinckii* e três consórcios microbianos (efluente de suinocultura, lodo UASB da estação de tratamento de esgoto e esterco bovino), o primeiro foi o que apresentou maior produção de etanol e butanol. Reatores de leito fixo com diferentes materiais também foram avaliados (leito empacotado de polietileno reciclado de baixa densidade, leito ordenado de cilindros reciclados de polietileno de baixa densidade e hastes de bambu em disposição vertical). O reator com hastes de bambu foi o que possibilitou maior produção de ambos os combustíveis por fermentação acetobutanólica (TORRES et al., 2017).

É sabido que um estudo econômico é necessário para possibilitar a produção de biocombustíveis em larga escala. Santana et al. (2017) simularam a produção de etanol via fermentação alcoólica numa casa de farinha, a qual processa 20 ton de mandioca por dia. Os autores verificaram que é possível produzir $417,6 \text{ L} \cdot \text{d}^{-1}$ de álcool 70% a partir de 6000 L de efluente. Nesse processo, o custo com energia elétrica utilizada no refervedor seria de R\$ 246,71 por dia e a receita adquirida com o álcool 70% produzido seria de R\$ 19.293,12 por dia.

A produção do biogás consiste em diferentes etapas biológicas num único biorreator, conforme mostra a Figura 1. Na etapa de hidrólise, as enzimas são liberadas pelas próprias bactérias do consórcio microbiano, transformando compostos orgânicos mais complexos em moléculas simples. Na acidogênese, os produtos de hidrólise são convertidos em ácidos graxos voláteis, ácido láctico e álcoois. Em seguida, na fase de acetogênese, ocorre a oxidação dos ácidos orgânicos em substratos apropriados para os microrganismos metanogênicos como acetato. A metanogênese, por sua vez, é a etapa final no processo

de degradação anaeróbia (HORVÁTH et al., 2016).

Como a biodigestão anaeróbia do EPM pode gerar biogás (Tabela 2), diferentes parâmetros têm sido estudados a fim de maximizar sua produção. Embora não tenha sido possível fazer uma comparação entre os resultados aqui revisados, pois cada fonte quantifica os biocombustíveis e reporta os dados de maneira distinta, foi possível analisar a interferência dos parâmetros de processo. Monteiro (2015) avaliou a digestão anaeróbia do EPM por lodo secundário de uma estação de tratamento, variando a razão efluente/inóculo. Ao utilizar 80% de efluente, obteve-se maior eficiência do que utilizar concentrações menores, pois acarretou maior produtividade em menor tempo de retenção hidráulico (TRH). A fim de aumentar a produção de biogás, a adição de um complexo enzimático não detalhado durante a biodigestão anaeróbia também foi estudada. Percebeu-se que os biocatalisadores reduziram o TRH, fazendo com que os sistemas atingissem mais rapidamente seu auge produtivo de metano, embora nem sempre melhoraram o rendimento da biodigestão (Monteiro, 2015). Kuczman et al. (2011), por sua vez, perceberam que quanto menor o TRH, maior foi a produtividade de biogás. Consequentemente, com a diminuição do TRH, requer um reator de menor volume, o qual é interessante economicamente. Em um outro trabalho do mesmo grupo, utilizou-se um reator anaeróbio tubular horizontal com pedaços de bambu como suporte, obtendo-se remoções de DQO entre 67% e 88%, além da produção de biogás (KUCZMAN et al., 2014). Ao estudar um reator anaeróbio de leito fixo e fluxo contínuo, Araújo et al. (2018) produziram biogás com porcentagem de metano acima de 80% e conseguiram remover carga orgânica em mais de 90%.

Como o biogás de EPM possui elevada concentração de metano, alguns autores estudaram a economia gerada com a produção desse combustível. Venturin (2017) observou que uma farinheira que consumia 24 m³ de lenha por dia na caldeira, ao utilizar o biogás gerado pela mesma diminuiu sua demanda para 10 m³.d⁻¹ de madeira. Prado (2018) fez uma análise econômica da produção de biogás e percebeu que em sete meses após a implantação de um biodigestor já seria possível obter lucro. Percebe-se assim que a queima desse combustível acarreta ganhos econômicos, além de ambiental, pois a biodigestão anaeróbia também é uma forma de tratamento do resíduo. O estudo de Chaves et al. (2019) analisou a viabilidade econômica da utilização de biogás de EPM em um sistema de co-geração. Esse sistema era composto de microturbinas e tinha como finalidade a recuperação de energia elétrica e térmica, obtendo um custo de produção de eletricidade de US\$ 0,16 / kWh e de energia térmica de US\$ 0,04.kWh⁻¹ com prazo de amortização de 1,3 anos.

O bio-hidrogênio, por sua vez, é um combustível produzido na fase acidogênica da biodigestão anaeróbia (Figura 1), sendo necessário inibir a metanogênese, pois essa última converte o H₂ em metano. Tal inibição pode ser induzida em valores de pH entre 5,5 e 6 (MONA et al., 2020). Como mostra a Tabela 1, poucos efluentes têm valor próximo a esse intervalo, sendo necessária uma correção de pH para a maioria deles. Outra maneira

de reduzir a conversão do bio-hidrogênio é eliminar as bactérias consumidoras do mesmo. Isso pode ser feito por meio de um pré-tratamento do inóculo. Todos os trabalhos aqui reportados, exceto Batista et al. (2018), trataram termicamente seus inóculos (geralmente amostras de lodo) com essa finalidade. Por meio de um planejamento fatorial misto, o efeito do pH e do pré-tratamento sob a produção de H_2 foram estudados por Mañunga et al. (2019). As maiores produções foram obtidas por meio de um pré-tratamento químico em pH 5,4 e com pré-tratamento térmico em pH 5,0.

Diferentes tipos de reatores têm sido avaliados para a produção de bio-hidrogênio a partir de EPM (Figura 2). Reator anaeróbico de leito fixo tem se destacado, no qual a biomassa se encontra aderida a um material suporte que fica empacotado no interior do equipamento, como pode ser visualizado na região hachurada da Figura 2a. Andreani (2012), por exemplo, utilizou esse reator, avaliando o efeito de TRH e material suporte (hastes de bambu ou aparas de polietileno de baixa densidade). A produtividade máxima foi de $2,9 \text{ L } H_2 \cdot d^{-1}$ em TRH de 4 h e com suporte de bambu. Em outro estudo, a taxa de carga orgânica foi avaliada simultaneamente às estratégias de inoculação (lodo anaeróbico tratado termicamente e água residuária fermentada naturalmente). O aumento da carga melhorou a produção volumétrica (de $0,23$ para $0,55 \text{ L } H_2 \cdot L^{-1} \cdot d^{-1}$) e o rendimento de H_2 (de $0,2$ a $0,3 \text{ mol } H_2 \cdot \text{mol}^{-1} \text{ Carb}$), pois aumentou-se a concentração de substrato. Ao comparar os consórcios microbianos, ambos foram eficientes, sendo o inóculo obtido da fermentação natural mais interessante por ser uma alternativa simples e econômica (CORBARI et al., 2019). Nos experimentos de Nunes e Netto (2016), o material suporte avaliado por eles foi argila expandida. A taxa de carregamento orgânico foi aumentada progressivamente de 12 a $96 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{dia}^{-1}$, mantendo a DQO do efluente em $4000 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ e variando o TRH. O rendimento máximo de biocombustível foi de $1,66 \text{ mol } H_2 \cdot \text{mol}^{-1}$ glicose no TRH de 2 h. Reator de leito fluidizado (Figura 2b) também tem sido testados, o qual consiste da mobilidade da biomassa imobilizada devido ao fluxo do efluente (COSTA et al., 2012). Estudos observaram que maiores rendimentos de H_2 foram obtidos em menor TRH, sendo que em 1 e 2 h foram produzidos $2,04 \text{ L} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ (AMORIM, 2012) e $1,91 \text{ mol } H_2 \cdot \text{mol}^{-1}$ de glicose (AMORIM et al., 2014), respectivamente. Tal observação é uma das características positivas desse tipo de reator, pois opera em baixos TRH, além de demandar pequenas áreas e volumes (COSTA et al., 2012). Bio-hidrogênio foi também produzido utilizando um reator anaeróbico em regime bateladas sequenciais com biomassa imobilizada (Figura 2c). Os melhores resultados foram obtidos com taxas baixas e intermediárias de carga orgânica (12 e $14 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$) e TRH mais longos (4 h) (ANDREANI et al., 2019).

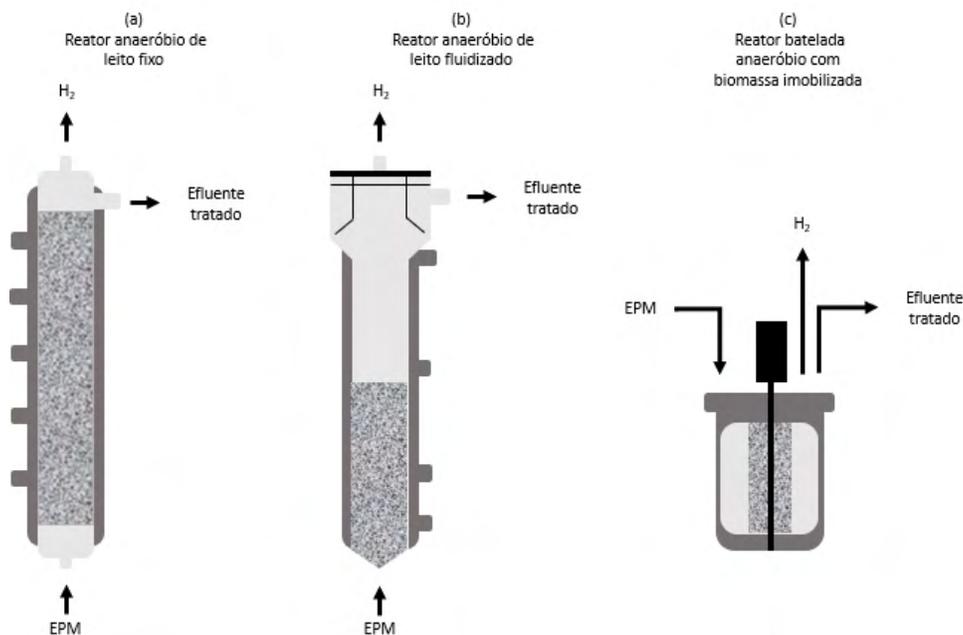


Figura 2 – Reatores utilizados para a produção em escala de bancada de bio-hidrogênio a partir de EPM.

Alguns trabalhos têm avaliado o EPM misturado a outros resíduos agroindustriais para que ambos fossem convertidos em biocombustíveis. Batista (2014), por exemplo, obtiveram a produção do bio-hidrogênio e metano utilizando um efluente de suinocultura suplementando com EPM cuja maior produtividade foi de $12,11 \text{ mL CH}_4 \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ em 24 h. Quanto maior foi o percentual de EPM, maior a concentração de carboidratos e, conseqüentemente, mais alta foi a produção de biocombustíveis. Os mesmos produtos foram gerados a partir da co-digestão de EPM e dejetos suínos, sendo verificado que a utilização do EPM também favoreceu a produção de H_2 . Tal estudo foi conduzido em dois reatores sequenciais, um de leito fluidizado e outro de leito fixo. O maior rendimento foi de $1,9 \text{ mL CH}_4 \cdot \text{g}^{-1} \text{DQO}$ obtido no TRH de 12 h (BATISTA et al., 2018).

3 I CONCLUSÃO

Por meio da presente revisão bibliográfica, constatou-se que o EPM possui elevado potencial energético, pois é rico em carboidratos, sendo convertido em diferentes biocombustíveis. A produção de etanol a partir de fermentação alcoólica de EPM ainda tem seu rendimento inferior ao da cana-de-açúcar. A produção de biogás a partir desse efluente se mostrou viável, pois ele pode substituir grande parte da lenha usada nas caldeiras da indústria desse ramo. Quanto à obtenção de bio-hidrogênio, ainda há a necessidade de mais investigação, embora as pesquisas tenham mais focado nesse combustível cuja

queima não emite nenhum poluente. Assim, a produção de biocombustíveis a partir de EPM deve ser continuamente investigada, pois ele é um resíduo que pode agregar valor à cadeia produtiva da própria mandioca no país e reduzir a poluição ambiental com o seu reaproveitamento.

AGRADECIMENTOS

Os autores são gratos à Fapemig, Capes e ao CNPq.

REFERÊNCIAS

AMORIM, N. C. S. **Produção de hidrogênio a partir da manipueira em reator anaeróbio de leito fluidificado**. 2012. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Alagoas, Maceió, 2012.

AMORIM, N. C. S., ALVES, I., MARTINS, J. S., AMORIM, E. L. C. Biohydrogen production from cassava wastewater in an anaerobic fluidized bed reactor. **Brazilian Journal of Chemical Engineering**, v. 31, n. 3, p. 603- 612, 2014.

ANDREANI, C. L. **Produção de hidrogênio a partir de água residuária de fécula de mandioca**. 2012. Dissertação (Mestrado em engenharia Agrícola) – Centro de ciências e exatas, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2012.

ANDREANI, C. L., TONELLO, T. U., MARI, A. G., LEITE, L. C. C., CAMPAÑA, H. D., LOPES, D. D., RODRIGUES, J. A. D., GOMES, S. D. Impact of operational conditions on development of the hydrogen-producing microbial consortium in an AnSBBR from cassava wastewater rich in lactic acid. **International Journal of Hydrogen Energy**, v. 44, n. 3, p. 1474-1482, 2019.

ARAÚJO, N.C., GUIMARÃES, P.L.F., OLIVEIRA, S. J. C., LIMA, V.L.A., BANDEIRA, F.A., ARAÚJO, F.A.C. Quantificação da geração de resíduos em uma casa de farinha no Estado da Paraíba. **Revista Monografias Ambientais** v. 13, n. 5, p. 3793-3799, 2014.

ARAÚJO, I. R. C., GOMES, S. D., TONELLO, T. U., LUCAS, S. D. M., MARI, A. G., VARGAS, R. J. Methane production from cassava starch wastewater in packed-bed reactor and continuous flow. **Engenharia Agrícola**, v. 38, n. 2, p. 270-276, 2018.

BATISTA, E. A. **Produção de hidrogênio e metano a partir de efluentes de suinocultura e manipueira em reatores anaeróbios**. 2014. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídrico e Saneamento) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2014.

BATISTA, E. A., AMORIM, N. C. S., VALOURA, L. R., MACEDO, W. V., AMORIM, E. L. C. Produção de bio-hidrogênio e metano por meio da codigestão de manipueira e dejetos suínos. **Revista DAE**, v. 66, n. 213, p 48- 58, 2018.

CHAVES, Y. A. O., SPRINGER, M. V., BOLOY, R. A. M., SOARES, O. M. C. F., MADEIRA, J. G. F. Performance study of a microturbine system for cogeneration application using biogas from manipueira. **BioEnergy Research**. 2019.

- CHOGI, M. A. N., ARAUJO, A. C. V., PRADO, P. F., SILVA, D. B., SILVA, A. J., SILVA, G. F., DUARTE, I. C. S. D. Produção de biocombustível e ácidos orgânicos para agregar valor ao efluente de mandioca. **Revista Virtual de Química**, v. 12, n. 1, p. 89-98, 2020.
- COELHO, J. D.; XIMENES, L. F. Mandioca e seus derivados. Caderno Setorial ETENE. Ano 5, Nº 128, set, 2020.
- CORBARI, S. D. M. L., ANDREANI, C. L. TORRES, D. G. B., ENG, F., GOMES, S. D. Strategies to improve the biohydrogen production from cassava wastewater in fixed-bed reactors. **International Journal of Hydrogen Energy**, v. 44, n. 32, p. 17214-17223, 2019.
- COSTA, R. H. R., CAMPOS, R. H., BARBOSA, S. R., CORTOLOTO, A. F. Reatores de leito fluidizado: Potencialidades para o tratamento de efluentes. **Revista DAE**, p. 42 – 50, 2012
- HORVÁTH, I. S., TABATABAEI, M., KARIMI, K., RAJEEV, K. Recent updates on biogas production - A review. **Biofuel Research Journal**, v. 3, p. 394-402, 2016.
- KUCZMAN, O., GOMES, S. D., TAVARES, M. H. F., TORRES, D. G. B., ALCÂNTARA, M. S. Produção específica de biogás a partir de manipueira em reator de fase única. **Engenharia Agrícola**, v. 31, n. 1, p. 143-149, 2011.
- KUCZMAN, O., TAVARES, M. H. F., GOMES, S. D., GUEDES, L. P. C., GRISOTTI, G. Cassava starch extraction effluent treatment in a one phase tubular horizontal pilot reactor with support medium. **Engenharia Agrícola**, v. 34, n. 6, p. 1270-1282, 2014.
- MAÑUNGA, T., BARRIOS-PÉREZ, J. D., ZAIAT, M., RODRÍGUEZ-VICTORIA, J. A. Evaluation of pretreatment methods and initial pH on mixed inoculum for fermentative hydrogen production from cassava wastewater. **Biofuels**, no prelo, 2019.
- CONCEIÇÃO, A. A. RÊGO, A. P. B.; SANTANA, H., TEIXEIRA, MATIAS, A. G. Tratamento de efluentes resultantes do processamento da mandioca e seus principais usos. **Revista Meio Ambiente e Sustentabilidade**, v. 4, p. 118-130, 2013.
- KUPSKI, K. **Estudo da hidrólise enzimática do amido da manipueira seguido da fermentação alcoólica**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Civil) - Universidade Tecnológica federal do Paraná, Toledo. 2018.
- MOMBO, S., DUMAT, C., SHAHID, M., SCHRECK, E. A socio-scientific analysis of the environmental and health benefits as well as potential risks of cassava production and consumption. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 24, p. 5207–5221, 2017.
- MONA, S., KUMAR, S. S., KUMAR, V., PARVEEN, K., SAINI, N., DEEPAK, B., PUGAZHENDHI, A. Green technology for sustainable biohydrogen production (waste to energy): A review. **Science of The Total Environment**, v. 728, p. 138481, 2020.
- MONTEIRO, M. R. S. **Produção de biogás a partir da biodigestão anaeróbia de manipueira e lodo de estação de tratamento de esgoto**. 2015. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Centro de Tecnologia e Geociência, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2015.

NUNES, A. M., NETTO, A. P. O. Produção de hidrogênio a partir da manipueira em reator anaeróbio de leito fixo. **Revista Produção e Desenvolvimento**, v. 2, n. 3, p. 54-63, 2016.

OLIVEIRA, L. A., AMORIM, T. S., SANTOS, D. V., SILVA, J. Composição físico-química de variedades de mandioca de mesa Cultivadas no sistema orgânico. In: CONGRESSO BRASILEIRO DA MANDIOCA, 2007, Paranavaí. Anais [...] Paranavaí: SBM, 2007.

PRADO, L. D. **Biogás: um estudo de caso sobre o acompanhamento de sua implantação, retorno de investimento e ponto de eficiência para a produção**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Civil) - Centro Universitário de Maringá, UNICESUMAR, Maringá. 2018.

ROSA, P. R. F., GOMES, B. C., VARESCHE, M. B. A., SILVA, E. L. Characterization and antimicrobial activity of lactic acid bacteria from bioreactors during hydrogen production using cassava processing wastewater. **Chemical Engineering Journal**, v. 284, p. 1-9, 2016.

SAEED, M. A., MA, H., YUE, S., WANG, Q., TU, M. Concise review on ethanol production from food waste: development and sustainability. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 25, p. 28851-28863, 2018.

SANTANA, J. E., COELHO, A. C. D., DA MOTTA SOBRINHO, M. A. Produção de álcool a partir do resíduo da produção de farinha de mandioca. In: CONGRESSO ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 2017, São Paulo. Anais [...] São Paulo: SABESP, 2017.

SILVA, L. E. B., SANTOS, J. K. B., BARBOSA, J. P. F., LIMA, L. L. C., SILVA, J. C. S. Aspectos gerais e peculiaridades sobre mandioca (*Manihot Esculenta Crantz*). **Diversitas Journal**, v. 3, n.1, p.13-23, 2018.

SOUZA, S. O., SILVA, A. P. B., SILVA, R. M., OLIVEIRA, L. C. GOVEIA, D., BOTERO, W. G. Resíduos de casas de farinha do agreste alagoano: perspectivas de utilização. **Brazilian Journal of Biosystems Engineering**, v. 9, p. 65-73, 2015.

SUMAN, P. A., URBANO, L. H., LEONEL, M., MISCHAN, M. M. Efeitos de parâmetros de fermentação na produção de etanol a partir de resíduo líquido da industrialização da mandioca (manipueira). **Acta Scientiarum Technology**, v. 33, n. 4, p. 379-384, 2011.

TONELLO, T. U., ANDREANI, C. L., MARI, A. G., FERNANDES, J. R., GOMES, S. D. Biohydrogen production in AnSBBR in fed-batch from starch effluent: influence of organic load. **Engenharia Agrícola**, v. 38, n. 5, p. 768-775, 2018.

TORRES, D. G. B., LUCAS, S. D. M., ANDREANI, C. L., CARVALHO, K. Q., COELHO, S. R. M., GOMES, S. D. Hydrogen production and performance of anaerobic fixed-bed reactors using three support arrangements from cassava starch wastewater. **Engenharia Agrícola**, v. 37, n. 1, p.160-172, 2017.

VENTURIN, P. R. F. **Análise do aproveitamento energético do biogás obtido na biodigestão anaeróbia de manipueira em uma farinha de mandioca**. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Ambiental) – Departamento Acadêmico de Ambiental, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2017.

ZHANG, M., XIE, L., YIN, Z., KHANAL, S. K., ZHOU, Q. Biorefinery approach for cassava-based industrial wastes: Current status and opportunities. **Bioresource Technology**, v. 215, p. 50-62, 2016.

ÍNDICE REMISSIVO

A

Adsorção 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 18, 19, 20, 21, 22, 24, 30, 31, 32, 72

Adsorvente 3, 4, 5, 6, 8, 20, 21, 61, 63, 64

Afluentes 19

Agência Nacional do Petróleo - ANP 157, 159, 160, 193

Águas subterrâneas 75

Águas superficiais 19, 57, 69, 70, 71, 81

Análise cromatográfica 216

Antibióticos 18, 80, 81

Atomização 87, 88, 89, 90, 91, 197, 201

B

Bioadsorvente 238

Biochemical Oxygen Demand (BOD) 9, 10

Biocombustíveis 8, 93, 96, 98, 99, 101, 102, 105, 114, 115, 116, 117, 118, 119, 120, 122, 123, 161, 193

Biodiesel 93, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 100

C

Carvão ativado 3, 10, 18, 21, 32, 72

Cascas de maracujá 1, 2, 3, 4, 6, 7

Catalisador 93, 94, 95, 98, 108, 109, 118

Chemical Oxygen Demand (COD) 9, 10

Cinética 18, 20, 21, 24, 26, 28, 41, 106

Colunas cromatográficas 215, 218, 219, 220, 221, 222, 223, 224, 225, 226

Combustíveis fósseis 94, 102

Compressibilidade 196, 197

Corpos hídricos 19, 57, 59, 60, 70

Cromatografia Líquida de Alta Eficiência (CLAE) 33, 77, 216, 227, 228

D

Densidade 88, 89, 92, 93, 96, 97, 98, 108, 119, 121, 127, 128, 149, 196, 197, 198, 199, 200

Densidade aerada 89, 196, 197, 200

Densidade aparente 92, 196, 198

E

Efeito estufa 45, 46, 49, 94, 102

Efluentes 3, 5, 19, 31, 59, 60, 114, 116, 120, 123, 124, 182, 238

Efluentes domésticos 19

Efluentes industriais 59

Espalhamento de Luz Dinâmico (DLS) 217

Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) 76, 81, 119, 124, 238

F

Fármacos 19, 32, 76, 77, 79, 80, 81, 82, 218, 227

Fraturas induzidas 150

Fraturas naturais 148

Funil 4, 22, 196, 197, 198, 199, 200

G

Garrafa PET 197

Grafeno 18, 21, 31, 218, 227

H

Hidrofobizada 1, 6, 8

Hormônios 18, 60, 77

I

Impacto ambiental 54, 55

Índices de fluidez de *Hausner* e de *Carr* 87

Inhame 87, 88, 89, 90, 91

Injeção de polímeros 145, 146, 147, 148, 149, 150, 154, 155

Ivermectina 18, 19, 21, 31, 32

M

Materiais particulados 196

Matéria-prima 88, 95, 114, 115, 116, 117, 196

Matrizes aquosas 74, 82

Mesh 1, 2, 4, 6, 10, 36

Microplásticos 77

N

Nanopartículas 215, 217, 218, 219, 220, 226, 227, 228

O

Óleo de fritura 93, 94, 95, 97, 98, 99

Óleo de soja 93, 94, 95, 97, 98, 99

Óleo diesel 1, 4

Organic matter 9, 15, 16

P

Pesticidas 18, 77, 79, 80, 81, 82

Petróleo 1, 2, 5, 8, 34, 35, 36, 37, 94, 96, 99, 102, 103, 104, 126, 127, 128, 129, 143, 144, 145, 146, 147, 148, 157, 158, 159, 160, 161, 162, 173, 174, 176, 177, 178, 180, 181, 182, 183, 184, 185, 186, 189, 190, 191, 192, 193, 194, 195, 203, 204, 212, 213, 215

Polímero 145, 146, 147, 148, 149, 150, 151, 152, 153, 154, 155, 216

Processos convencionais de tratamento de água e esgoto 18, 78

R

Reaproveitamento 123

Recuperação Avançada de Petróleo (EOR) 126, 128, 145, 146, 147

Recursos hídricos 59, 61, 76, 82, 123

Renovável 93, 94, 95, 102, 104, 105

Reservatórios Não-Convencionais (RNC) 147

Resíduos agroindustriais 3, 5, 7, 122

S

Separação granulométrica 1, 4

Sílica 215, 216, 217, 218, 219, 220, 226, 227, 228

Solução polimérica 147, 149, 150, 151, 154

Surfactantes 18, 34, 82

Sustentável 49, 94, 101, 193, 200, 236

T

Transesterificação etílica 93, 98, 99

Turbidez 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8

U

Umidade 60, 88, 89, 90, 103, 107, 108, 109, 232

COLEÇÃO DESAFIOS DAS ENGENHARIAS:

ENGENHARIA QUÍMICA 2



www.atenaeditora.com.br



contato@atenaeditora.com.br



[@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)



www.facebook.com/atenaeditora.com.br

COLEÇÃO DESAFIOS DAS ENGENHARIAS:

ENGENHARIA QUÍMICA 2



www.atenaeditora.com.br



contato@atenaeditora.com.br



[@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)



www.facebook.com/atenaeditora.com.br