

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 Cremona
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 CO ₂ 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

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

Data de aceite: 27/09/2021

Data de submissão: 09/07/2021

Janaína Santos Matos

Universidade Federal da Bahia
Salvador – Bahia

<http://lattes.cnpq.br/7122335812683210>

Leila Maria Aguilera Campos

Universidade Salvador
Salvador – Bahia

<http://lattes.cnpq.br/0402361716510097>

Maria Luiza Andrade da Silva

Universidade Federal da Bahia
Salvador – Bahia

<http://lattes.cnpq.br/1800701779754857>

RESUMO: Este trabalho consiste em uma revisão bibliográfica sobre a pirólise rápida da biomassa visando a produção de bio-óleo. Foram avaliados como o tipo de biomassa, o tamanho de suas partículas, a temperatura e os catalisadores influenciam na qualidade do bio-óleo produzido. Para a produção de bio-óleo é indicado o uso de biomassas ricas em celulose e hemicelulose, com tamanho de partículas entre 0,6 mm e 1,25 mm. A temperatura operacional também é um fator importante, visto que a decomposição dos principais constituintes da biomassa difere entre si, em função da temperatura. Temperaturas entre 400 e 550 °C favorecem a formação de bio-óleo, enquanto temperaturas acima de 600 °C reduzem o seu rendimento, aumentando a formação do gás de síntese. Além disso, o uso de catalisadores,

tais como zeólitas e óxidos metálicos, limita a formação de produtos oxigenados e ácidos carboxílicos presentes no bio-óleo e favorecem a formação de hidrocarbonetos, aumentando a sua qualidade. O aperfeiçoamento das propriedades do bio-óleo viabiliza o seu uso como combustível, tornando-o uma alternativa promissora, sustentável e economicamente viável, em relação aos combustíveis de origem fóssil.

PALAVRAS-CHAVE: Pirólise rápida, bio-óleo, biocombustíveis, biomassa.

PRODUCTION OF BIO-OIL FROM THE FAST PYROLYSIS OF BIOMASS

ABSTRACT: This work consists of a literature review on the rapid pyrolysis of biomass aiming at the production of bio-oil. It was evaluated how the type of biomass, the size of its particles, the temperature and the catalysts influence the quality of the bio-oil produced. For the production of bio-oil, the use of biomasses rich in cellulose and hemicellulose is recommended, with particle sizes between 0.6 mm and 1.25 mm. The operating temperature is also an important factor, as the decomposition of the main biomass constituents differs from each other as a function of temperature. Temperatures between 400 and 550 °C favor the formation of bio-oil, while temperatures above 600 °C reduce its yield, increasing the formation of synthesis gas. Furthermore, the use of catalysts, such as zeolites and metal oxides, limits the formation of oxygenated products and carboxylic acids, present in bio-oil, and favors the formation of hydrocarbons, increasing their quality. The improvement of the properties of bio-oil enables

its use as fuel, making it a promising, sustainable and economically viable alternative to fossil fuels.

KEYWORDS: Fast pyrolysis, bio-oil, biofuels, biomass.

1 | INTRODUÇÃO

O crescimento populacional desenfreado tem impulsionado o aumento da demanda energética mundial. A principal matriz energética mundial é o petróleo, cujo uso indiscriminado, assim como o de seus derivados, tem se mostrado danoso ao meio ambiente e à saúde do ser humano. Os combustíveis fósseis são os principais responsáveis pelo aumento das emissões de gases de efeito estufa, contribuindo com 65% de suas emissões, dos quais o carvão é responsável por 45%, o petróleo, por 35% e o gás natural, por 20% (HOOK & TANG, 2013). Até o momento, não há tecnologia capaz de eliminar volumes crescentes desses gases na atmosfera, o que torna necessário o desenvolvimento de combustíveis sustentáveis a partir de recursos renováveis (ABAS *et al.*, 2015).

Os biocombustíveis apresentam vantagens, quando comparados aos combustíveis derivados do petróleo, pela facilidade de obtenção a partir de biomassa, além de serem sustentáveis e biodegradáveis. Na tentativa de produzir combustíveis com propriedades semelhantes à dos combustíveis fósseis, a biomassa é aquecida em altas temperaturas, em ambiente isento de oxigênio, no processo conhecido como pirólise. Em se tratando da pirólise da biomassa vegetal, a depender das condições adotadas no processo, podem ser obtidos três produtos distintos, a saber, o biocarvão (sólido), o bio-óleo (líquido) e o gás de síntese (vapores incondensáveis) (ELKHALIFA *et al.*, 2019).

Diante desse cenário, o presente trabalho tem como objetivo fazer um estudo sobre a produção de bio-óleo a partir da pirólise rápida da biomassa lignocelulósica, analisando os principais parâmetros que influenciam nesse processo.

2 | BIO-ÓLEO E SUAS PROPRIEDADES

O bio-óleo é um combustível líquido, proveniente da condensação de vapores originários da pirólise rápida de biomassa, cuja comercialização é atrativa ao mercado, não apenas por ser obtido a partir de uma fonte renovável (biomassa) mas, principalmente, pelo potencial de aplicação em veículos já existentes (LENG *et al.*, 2018). Além disso, esse biocombustível pode ser usado em turbinas e caldeiras, para geração de energia e calor, bem como para a produção de diversos produtos químicos de alto valor agregado (KUMAR *et al.*, 2020).

O bio-óleo é composto por cerca de 35 a 55% de oxigênio, na forma de compostos altamente reativos, tais como ácidos carboxílicos e aldeídos, concedendo-lhe um pH ácido e uma certa instabilidade, visto que tais espécies podem reagir entre si, levando a problemas de estocagem. A acidez do bio-óleo o torna corrosivo e, por conseguinte, seu

uso não é recomendável para turbinas e motores a combustão (KUMAR *et al.*, 2020).

A Tabela 1 apresenta as propriedades do bio-óleo e do óleo combustível pesado (derivado do petróleo). Pode-se observar que o bio-óleo apresenta um teor de umidade mais elevado do que o óleo combustível pesado, interferindo em propriedades como ignição e aquecimento. A presença de água em quantidades elevadas ocasiona a diminuição da temperatura adiabática da chama (temperatura na qual, à pressão constante, ocorre a combustão, sem perda de energia na forma de calor) e da temperatura de combustão, que se reflete na redução das taxas de reação, além de provocar um atraso na ignição, levando à redução da taxa de vaporização do bio-óleo. Além disso, HHV (do inglês *Higher Heating Value*) do bio-óleo é muito mais baixo, devido a sua menor proporção de carbono e hidrogênio, indicando um baixo potencial de geração de calor após a combustão (KUMAR *et al.*, 2020).

Propriedades físicas	Valor	
	Bio-óleo	Óleo combustível pesado
pH	2,5	
Gravidade específica	1,2	0,94
Teor de umidade	15-30	0,1
Carbono (% em massa)	54-58	85
Hidrogênio (% em massa)	5,5-7,0	11
Oxigênio (% em massa)	35-55	1,0
Nitrogênio (% em massa)	0-0,2	0,3
Cinzas (% em massa)	0-0,2	0,1
HHV* (MJ/kg)	16-19	40
Viscosidade a 500 °C (cP)	40-100	180
Teor de sólidos (% em massa)	0,2-1,0	1
Resíduos de destilação (% massa)	Acima de 50	1

*HHV: Maior Valor de Aquecimento (do inglês *Higher Heating Value*).

Tabela 1. Comparação das propriedades do bio-óleo e do óleo combustível pesado.

Fonte: Adaptado de Kumar *et al.*, 2020.

Para tornar seu uso viável, o bio-óleo precisa ser submetido a diversas reações, tais como a hidrodesoxigenação (HDO) e hidrogenação-esterificação (OHE). Na presença de catalisadores heterogêneos, essas reações tem o intuito de reduzir o teor de oxigênio presente no bio-óleo, saturar olefinas e converter aromáticos em cicloalcanos, viabilizando seu uso (MOSTAFAZADEH *et al.*, 2018; PRAJITNO *et al.*, 2016). A qualidade do bio-óleo também pode ser melhorada através dos diferentes métodos de pré-tratamentos

da biomassa, de modo a desestruturar o complexo lignocelulósico. Dentre os processos empregados, destacam-se os físicos, térmicos, químicos, biológicos, podendo ainda utilizar pré-tratamentos combinados (KAN *et al.*, 2020; KUMAR *et al.*, 2020).

Os principais processos para a obtenção de bio-óleo são as rotas bioquímica e termoquímica. A rota termoquímica engloba processos fermentativos, digestão anaeróbica e compostagem, e a rota termoquímica reúne combustão, carbonização, liquefação, oxidação supercrítica e pirólise. Dentre as rotas termoquímicas existentes, a pirólise rápida é a mais utilizada na conversão da biomassa em bio-óleo (BALOCH *et al.*, 2018).

3 | PIRÓLISE RÁPIDA

O termo pirólise diz respeito à degradação térmica de materiais carbonáceos, em ambiente isento de oxigênio, em temperaturas que variam entre 300 °C e 600 °C (ANCA-COUCÉ, 2016). A pirólise tem a capacidade de converter macromoléculas presentes em diferentes tipos de biomassa em produtos de alto valor agregado, como combustíveis (bio-óleo e gás de síntese) e químicos, que usualmente são obtidos a partir do petróleo (SHEN *et al.*, 2015). Ao longo dos anos, diferentes matérias-primas tais como pneus e plásticos foram empregadas no processo de pirólise para a produção de bio-óleo (MIANDAD *et al.*, 2017; ODEJOBI *et al.*, 2020). No entanto, a biomassa se mostra como melhor opção por ser um recurso renovável e abundante (MURUGAN *et al.*, 2015; WANG & LUO, 2016).

Os processos de pirólise são classificados em função da taxa e do tempo de aquecimento, bem como da temperatura final, conforme apresentado na Tabela 2.

Tipo de pirólise	Tempo de residência	Taxa de aquecimento	Temperatura final (°C)	Produtos
Rápida	< 2 s	Muito alta	500	Bio-óleo
Flash	< 1 s	Alta	<650	Bio-óleo, químicos e gás
Ultrarrápida	0,5 s	Muito alta	1000	Químicos e gás
Vácuo	2-30 s	Média	400	Bio-óleo
Hidropirólise	< 10 s	Alta	<500	Bio-óleo
Carbonização	Dias	Muito baixa	400	Carvão
Convencional	5 – 30 min	Baixa	600	carvão, bio-óleo e gás

Tabela 2. Tipos de pirólise.

Fonte: Adaptado de Zaman *et al.*, 2017.

As pirólises rápida e convencional (ou lenta) diferem, principalmente, na taxa e no tempo de aquecimento. Na pirólise convencional são aplicadas baixas taxas de aquecimento, geralmente entre 0,1 e 1 °C/s, tempo de residência na faixa de 5 a 30 minutos, e temperaturas

em torno de 600 °C para a produção de biocombustíveis sólidos (biocarvão), líquidos e gasosos em pequenas quantidades (ELKHALIFA *et al.*, 2019).

A pirólise rápida caracteriza-se pela obtenção de biocombustíveis em condições de tempo de residência menor do que 2 segundos, taxas de aquecimento superiores a 100 °C/s e temperaturas em torno de 500 °C, em atmosfera isenta de oxigênio. Ao mesmo tempo em que são alcançados rendimentos entre 50 a 75% de bio-óleo bruto, o referido processo tem como produtos secundários, gases não condensáveis e carvão (JALALIFAR *et al.*, 2020).

Diversos compostos químicos podem ser obtidos a partir da pirólise rápida, através de reações de decomposição da biomassa, que são classificadas em primárias e secundárias. As reações primárias originam produtos diretamente da pirólise rápida, já as secundárias, utilizam como reagentes, os produtos em fase gasosa obtidos nas reações primárias (SUPRIYANTO *et al.*, 2020). O principal produto da pirólise rápida da biomassa é o bio-óleo, sendo, portanto, formado por moléculas oriundas da decomposição térmica de componentes presentes na biomassa, tais como hemicelulose, celulose e lignina (OSORIO, 2017). Segundo Alvarez-Chavez *et al.* (2019), a maximização da qualidade do bio-óleo deve levar em consideração um elevado poder calorífico e baixos teores de enxofre e oxigênio. Para isto, devem ser avaliados os principais parâmetros operacionais da pirólise rápida, tais como o tamanho da partícula e o tipo da biomassa utilizada, a temperatura do processo e a presença de catalisadores.

4 | PRINCIPAIS PARÂMETROS QUE INFLUENCIAM NA PIRÓLISE RÁPIDA

4.1 Tipo de Biomassa e Tamanho das Partículas

A biomassa consiste numa fonte de energia renovável, geralmente baseada em materiais orgânicos derivados de organismos vivos (KUMAR *et al.*, 2020). Ela pode ser aproveitada tanto para a produção de energia, através da combustão indireta para produzir calor, como na conversão em biocombustíveis e compostos de alto valor agregado, através de rotas termoquímicas ou bioquímicas (DHYANI & BHASKAR, 2017). O termo biomassa, aplicado à pirólise, abrange desde resíduos industriais e florestais até resíduos domésticos, a exemplo das cascas e sementes de frutos descartados pelas indústrias alimentícias, resíduos sólidos orgânicos obtidos a partir do lodo de esgoto, resíduos florestais provenientes de plantas como galhos e folhas secas, entre outros (BAR-ON *et al.*, 2018; KAN *et al.*, 2020).

A biomassa lignocelulósica apresenta uma estrutura complexa, composta principalmente por celulose (40-50%), hemicelulose (20-40%) e lignina (16-33%), além de extrativos, compostos por taninos, ácidos graxos e resinas (0-15%) e quantidades traços de sais inorgânicos, cujos teores variam em função do tipo de biomassa, conforme apresentado na Tabela 3 (BHOI *et al.*, 2020; ISAHAK *et al.*, 2012).

Biomassa	Lignina (%)	Celulose (%)	Hemicelulose (%)
Madeira	25–30	35–50	20–30
Palha de trigo	15–20	33–40	20–25
Bagaço de cana	23–32	19–24	32–48
Casca de avelã	42,9	28,8	30,4
Casca de azeitona	48,4	24	23,6
Espiga de milho	15	50,5	31
Resíduo de chá	40	30,20	19,9
Casca de noz	52,3	25,6	22,7
Casca de amêndoa	20,4	50,7	28,9
Resíduos de banana	14	13,2	14,8
Palhas de arroz	18	32,1	24

Tabela 3. Teores de celulose, hemicelulose e lignina em diferentes biomassas.

Fonte: Adaptado de Zaman *et al.*, 2017.

O tipo de biomassa pode influenciar diretamente nos produtos obtidos através da pirólise rápida, uma vez que a decomposição térmica de cada constituinte da biomassa pode levar à formação de diferentes produtos. Por exemplo, biomassas com elevados teores de celulose e hemicelulose, como espiga de milho e casca de amêndoas contribuem para a formação de bio-óleo, enquanto que biomassas ricas em lignina, como a casca de noz e casca de azeitona, favorecem a formação de carvão (KAN *et al.*, 2020).

O tamanho das partículas da biomassa é um outro parâmetro que interfere na transferência de massa e calor, na cinética de reação e transição de fase, no processo de pirólise rápida (BHOI *et al.*, 2020). Partículas menores se decompõem com mais facilidade e em menor tempo, em consequência do aumento das taxas de transferência de massa e calor, o que não se verifica para as partículas maiores, que demandam mais tempo para absorção de calor e posterior decomposição, favorecendo a formação de carvão. De modo geral, a partícula da biomassa deve ser suficientemente pequena para permitir que seu aquecimento seja uniforme, que no caso da produção de bio-óleo, o tamanho ideal se encontra entre 0,6 mm e 1,25 mm (BHOI *et al.*, 2020). Segundo Dai *et al.* (2020), partículas cujos tamanhos sejam inferiores a 0,5 mm não apresentam resistência interna à transferência de calor.

Salehi *et al.* (2011) estudaram os efeitos do tamanho das partículas, do tempo de residência e da temperatura na qualidade do bio-óleo produzido a partir da pirólise da serragem. Eles observaram que, com o aumento do tamanho das partículas, houve uma redução no rendimento do biocombustível, o que foi justificado pela baixa taxa de aquecimento. Também usando serragem, Suriapparao *et al.* (2017) estudaram os efeitos do tamanho das partículas da biomassa na pirólise rápida. Os autores observaram que o rendimento de compostos fenólicos e hidrocarbonetos lineares diminuiu, enquanto que

a produção de gases como CO e CO₂ aumentou, conforme o tamanho das partículas aumentava. No mesmo estudo foi relatado que o maior rendimento de aromáticos foi obtido com partículas de tamanho médio (362,5 e 512,5 µm).

Desta forma, além do tamanho das partículas e do tipo de biomassa, alguns parâmetros associados às condições do processo, como a temperatura e uso de catalisadores, também irão exercer influência na qualidade e no rendimento do bio-óleo obtido pela pirólise rápida (KUMAR *et al.*, 2020).

4.2 Temperatura

A temperatura influencia na distribuição dos produtos obtidos pela pirólise rápida (bio-óleo, biocarvão e gás de síntese), bem como na composição do bio-óleo, uma vez que os principais constituintes da biomassa se degradam em diferentes faixas de temperatura. A decomposição da hemicelulose, por exemplo, ocorre em temperaturas entre 200 °C e 350 °C, enquanto a maior perda de massa da celulose e lignina ocorre em, aproximadamente, 330-370 °C e 370-400 °C, respectivamente (KAN *et al.*, 2020; KUMAR, *et al.*, 2020).

Através dos resultados obtidos de análises térmicas diferenciais e termogravimétricas, é possível constatar que a perda de massa da biomassa, em função da temperatura, é dividida em três etapas: (i) evaporação da umidade; (ii) decomposição da biomassa e (iii) degradação lenta de compostos orgânicos e inorgânicos, originando o carvão (LI *et al.*, 2013; KUMAR, *et al.*, 2020). A segunda etapa é definida como zona pirolítica ativa, cujo a temperatura inerente a esse processo é considerada como a temperatura ideal para a pirólise (KUMAR, *et al.*, 2020).

Normalmente, o rendimento máximo do bio-óleo é obtido em temperaturas entre 400 °C e 550 °C. Acima de 600 °C, o bio-óleo e carvão são convertidos em produtos gasosos, devido a predominâncias de reações secundárias de craqueamento (LI *et al.*, 2007). Hanif *et al.* (2016) relataram que a temperatura de pirólise influencia no rendimento de bio-óleo, biocarvão e gás de síntese. Eles conduziram a pirólise de uma mistura de resíduo de algodão, esterco de vaca e microalgas, em uma faixa de temperatura entre 400 °C e 600 °C. Os rendimentos máximos de biocarvão (91 % em massa), bio-óleo (48 % em massa) e gás de síntese (22 % em massa) foram obtidos nas temperaturas de 400 °C, 551 °C e 600 °C, respectivamente.

Sukiran *et al.* (2016) estudaram a produção de bio-óleo a partir da biomassa resultante do processamento do óleo de palma (folhas, troncos e cachos vazios), e investigaram a influência da temperatura na distribuição de produtos na pirólise rápida. O processo foi conduzido em uma faixa de temperatura entre 400 °C e 600 °C. Os autores observaram a produção majoritária do biocarvão (cerca de 44,6% em massa) ao conduzir os experimentos a 400 °C. Com a elevação da temperatura para 500 °C, foi observado um aumento no rendimento de bio-óleo (47,7 % em massa). À 600 °C, a produção de biocarvão decresceu significativamente, de 44,6 % para 18,7 %.

Gomez *et al.* (2017) examinaram o efeito de diferentes temperaturas (450, 480, 510 e 550 °C) na pirólise rápida da biomassa, utilizando cascas de colza, a fim de avaliar seu efeito sobre a distribuição de produtos obtidos. O maior rendimento de bio-óleo obtido (acima de 41,39 % em massa) foi na temperatura de 450 °C. À 480 °C, embora o rendimento tenha sido mais baixo (39,65 % em massa), o bio-óleo obtido apresentou menor teor de umidade e maior HHV.

Desta forma, é possível observar que a temperatura reacional influencia na obtenção do bio-óleo, sendo que temperaturas baixas a moderadas favorecem a sua formação, enquanto temperaturas elevadas proporcionam baixo rendimento desse biocombustível, favorecendo a produção do gás de síntese. De acordo com BHOI *et al.*, (2020), a temperatura operacional e o tipo de biomassa definem o rendimento do bio-óleo, enquanto os catalisadores definem as suas propriedades, tais como o teor de hidrocarbonetos, a acidez e a viscosidade.

4.3 Catalisador

Um dos maiores desafios da pirólise rápida da biomassa é limitar a formação de produtos oxigenados e ácidos carboxílicos, presentes no bio-óleo, a fim de aumentar a qualidade desse biocombustível. O uso de catalisadores é uma forma de melhorar as propriedades do bio-óleo e favorecer a formação de hidrocarbonetos, viabilizando o seu uso como combustível (BHOI, *et al.*, 2020; SUN *et al.*, 2020).

Os catalisadores envolvidos na pirólise estão susceptíveis a desafios quanto à sua aplicação. Numerosas reações se processam de forma sequencial ou simultânea, durante a conversão da biomassa em bio-óleo. Sharifzadeh *et al.* (2019) enumeraram alguns desses desafios, dentre os quais levam-se em consideração a composição do bio-óleo. O catalisador deve ser capaz de converter seletivamente um numeroso contingente de espécies químicas resultando na geração de baixos níveis de subprodutos que possam depreciar a qualidade do biocombustível produzido. O mesmo também deve ser adaptável a mudanças transcorridas durante a decomposição da biomassa, sendo sua performance sujeita às condições do processo (temperatura, tipo de reator, pH do meio). Além disso, os catalisadores promissores para pirólise devem exibir características tais como boa estabilidade, alta seletividade a produtos desejáveis, baixo consumo de hidrogênio (reações de hidrogenoxigenação e hidrogenação), além de baixo custo. Segundo Zheng *et al.* (2016), a natureza, força e densidade dos sítios (ácidos ou básicos), seletividade de forma e tamanho dos poros também devem ser levados em consideração no momento da escolha e síntese de catalisadores para pirólise rápida.

O uso de catalisadores na pirólise pode ser feito através de estratégias *in-situ* e *ex-situ*. Na catálise *in-situ*, o catalisador é misturado à biomassa, enquanto na *ex-situ*, o catalisador é adicionado à biomassa a jusante, de modo que os vapores produzidos durante a pirólise passem através do leito do catalisador (KUMAR *et al.*, 2020). Segundo

Arabiourrutia *et al.* (2020), o método ex-situ é mais vantajoso, uma vez que apresenta capacidade de otimização da temperatura de forma independente das condições adotadas no processo de pirólise, tem a possibilidade de implementação de pré-tratamentos para a biomassa, minimiza a desativação por depósito de carbonáceos e permite a fácil recuperação e regeneração do catalisador.

Normalmente, os catalisadores utilizados na pirólise rápida da biomassa são baseados em óxidos metálicos, zeólitas e metais suportados em zeólitas. Thangalazhy *et al.* (2018) utilizaram o óxido de cálcio como catalisador na pirólise rápida de resíduos de processamento de frutas, e observaram um aumento de cerca de 15% no rendimento de bio-óleo, e de 23% do poder calorífico do biocombustível produzido. Stefanidis *et al.* (2016) utilizaram MgO como catalisador e verificaram que houve uma eficiência na redução do conteúdo de oxigenados presentes no bio-óleo, cujo desempenho foi equiparado ao das zeólitas sintéticas, como a ZSM-5.

Kurnia *et al.* (2018) utilizaram as zeólitas HFerrierite, H-Mordenite, H-ZSM-5, H-Beta and H-USY na pirólise rápida da biomassa e relataram que a estrutura, tamanho dos poros e acidez da zeólita impactam na distribuição dos produtos, formação de coque e na desoxigenação do bio-óleo. Os autores observaram que a zeólita H-ZSM-5 forneceu um maior rendimento de bio-óleo, ao mesmo tempo que a maior seletividade para hidrocarbonetos monoaromáticos foi alcançada com a zeólita H-Beta. Ren *et al.* (2021) investigaram o efeito do tipo de zeólita na composição do bio-óleo obtido pela pirólise rápida, e constataram que o uso da zeólita HZSM-5 proporcionou um maior rendimento em aromáticos monocíclicos, enquanto a DS-HZSM-5 apresentou maior rendimento em relação aos aromáticos policíclicos.

Os catalisadores bimetálicos também exibem atividade na pirólise rápida da biomassa, melhorando as propriedades do bio-óleo produzido, tais como umidade, viscosidade, acidez e conteúdo de oxigenados (OH *et al.*, 2020). É comum encontrar trabalhos empregando catalisadores bimetálicos suportados em zeólitas, a exemplo de Xu *et al.* (2019), que utilizaram o catalisador bimetálico Zn-Fe associado à zeólita HZSM-5. Eles observaram a redução na produção de oxigenados, tais como fenóis, cetonas, aldeídos e ácidos carboxílicos, indicando que o catalisador bimetálico usado tem potencial de desoxigenação. Kumar *et al.* (2019) examinaram os efeitos de catalisadores mono e bimetálicos (Cu e Ni) suportados em zeólita (ZSM-5) na produção de hidrocarbonetos durante o aprimoramento do bio-óleo na pirólise ex-situ, utilizando pinhal como biomassa. Ao utilizar os catalisadores suportados, foi observado um menor percentual de oxigenados no bio-óleo produzido e o uso do CuNi/Zeólita levou a um maior percentual de hidrocarbonetos no biocombustível.

5 | CONCLUSÃO

O presente trabalho analisou os principais parâmetros que influenciam na pirólise rápida da biomassa, para a produção de bio-óleo. A composição da biomassa é um fator determinante na qualidade do bio-óleo obtido, uma vez que as biomassas ricas em hemicelulose e celulose, com tamanho de partículas entre 0,6 mm e 1,25 mm, tendem a elevar o rendimento de bio-óleo. A temperatura operacional também é um fator importante, visto que a decomposição das frações de celulose, hemicelulose e lignina diferem entre si, em função da temperatura. Dessa forma, a temperatura influencia na distribuição dos produtos obtidos (bio-óleo, biocarvão e gás de síntese) e, normalmente, o rendimento máximo do bio-óleo é obtido em temperaturas entre 400 °C e 550 °C. Por outro lado, os catalisadores baseados em zeólitas e óxidos definem as propriedades do bio-óleo, tais como o teor de hidrocarbonetos, a acidez e a viscosidade. Além disso, limitam a formação de produtos oxigenados e ácidos carboxílicos, viabilizando seu uso como combustível.

REFERÊNCIAS

ABAS, N., KALAIR, A., KHAN, N. Review of fossil fuels and future energy technologies. **Futures**, v. 69, p. 31–49, 2015.

ALVAREZ-CHAVEZ, B., GODBOUT, S., PALACIOS-RIOS, J., LE ROUX, É., RAGHAVAN, V. Physical, chemical, thermal and biological pre-treatment technologies in fast pyrolysis to maximize bio-oil quality: A critical review. **Biomass and Bioenergy**, v. 128, p. 1-15, 2019.

ANCA-COUCÉ, A. Reaction mechanisms and multi-scale modelling of lignocellulosic biomass pyrolysis. **Progress in Energy and Combustion Science**, v. 53, p. 41–79, 2016.

ARABIOURRUTIA, M.; LOPEZ, G.; ARTETXE, M.; ALVAREZ, J.; BILBAO, J.; OLAZAR, M. Waste tyre valorization by catalytic pyrolysis – A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v.129, p.1-24,2020.

ATES, F., ISIKDAG, M. Evaluation of the role of the Pyrolysis temperature in straw biomass samples and characterization of the oils by GUMS. **Energy Fuels**, v.22, p.1936–1943,2008.

BALOGH, H., NIZAMUDDIN, S., SIDDIQUI, M., RIAZ, S., JATOI, A., DUMBRE, D., GRIFFIN, G. Recent advances in production and upgrading of bio-oil from biomass: A critical overview. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 6, n.4, p. 5101–5118,2018.

BAR-ON, Y. M., PHILLIPS, R., MILO, R. The biomass distribution on Earth. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 115, n. 25, p. 6506–6511,2018.

BHOI, P.R.; OUEDRAOGO, A.S.; SOLOIU, V; QUIRINO, R. Recent advances on catalysts for improving hydrocarbon compounds in bio-oil of biomass catalytic pyrolysis. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 121, p.1-13,2020.

DHYANI, V., BHASKAR, T. A comprehensive review on the pyrolysis of lignocellulosic biomass. **Renewable Energy**, v. 129, p. 695–716 ,2018.

ELKHALIFA, S., AL-ANSARI, T., MACKEY, H. R., & MCKAY, G. Food waste to biochars through pyrolysis: A review. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 144, p. 310–320,2019.

GOMEZ, N., BANKS, S., NOWAKOWSKI, D., ROSAS, J., CARA, J., SÁNCHEZ, M., BRIDGWATER, A. Effect of temperature on product performance of a high ash biomass during fast pyrolysis and its bio-oil storage evaluation. **Fuel Processing Technology**, v.172, p.97-105,2017.

HANIF, M., CAPAREDA, S., IQBAL, H., ARAZO, R., BAIG, M. Effects of Pyrolysis Temperature on Product Yields and Energy Recovery from Co-Feeding of Cotton Gin Trash, Cow Manure, and Microalgae: A Simulation Study. **PLOS ONE**, v. 11, n.4, p.1-11,2016.

HOOK, M., TANG, X. Depletion of fossil fuels and anthropogenic climate change: a review. **Energy Policy**, v.52, p.797-809,2013.

ISAHAK, W., HISHAM, M., YARMO, M., HIN, T. A review on bio-oil production from biomass by using pyrolysis method. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v.16, n.8, p. 5910-5923,2012.

JALALIFAR, S.; ABBASSI, R.; GARANYA, V.; SALEHI, F.; PAPARI, S.; HAWBOLDT, K.; STREZOV, V. CFD analysis of fast pyrolysis process in a pilot-scale auger reactor. **Fuel**, v.273,2020.

KAN, T., STREZOV, V., EVANS, T., HE, J. KUMAR, R., LU, Q. Catalytic pyrolysis of lignocellulosic biomass: A review of variations in process factors and system structure. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v.134, p.1-24,2020.

KUMAR, B., BHARDWAJ, N., AGRAWAL, K., CHATURVEDI, V., VERMA, P. Current perspective on pretreatment technologies using lignocellulosic biomass: An emerging biorefinery concept. **Fuel Processing Technology**, v.199, p.1-19,2020.

KUMAR, R., STREZOV, V., KAN, T., WELDEKIDAN, H., HE, J., JAHAN, S. Investigating the effect of mono and bimetallic/zeolite catalysts on hydrocarbon production during bio-oil upgrading from ex-situ pyrolysis of biomass. **Energy & Fuels**, v.34, n.1, p. 389–400,2019.

KUMAR, R., STREZOV, V., WELDEKIDANA, H., HE, J., SINGH, S., KAN, T., DASTJERDI, B. Lignocellulose biomass pyrolysis for bio-oil production: A review of biomass pre-treatment methods for production of drop-in fuels. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v.123, p.1-31,2020.

KURNIA, I., KARNJANAKOM, S., BAYU, A., YOSHIDA, A., RIZKIANA, J., PRAKOSO, T., GUAN, G. In - situ catalytic upgrading of bio-oil derived from fast pyrolysis of lignin over high aluminum zeolites. **Fuel Processing Technology**, v. 167, p. 730–737, 2017.

LENG, L., LI, H., YUAN, X., ZHOU, W., HUANG, H. Bio-oil upgrading by emulsification/microemulsification: A review. **Energy**, v.161, p. 214–232, 2018.

LI, F., YAN, R., XIAO, B., WANG, X., YANG, H. Influence of temperature on the formation of oil from pyrolyzing palm oil wastes in a fixed bed reactor. **Energy Fuels**, v.21, p.2398–2407,2007.

LI, L., ROWBOTHAM, J., GREENWELL, C., DYER, P. In *New and future developments in catalysis: catalytic biomass conversion. An introduction to pyrolysis and catalytic pyrolysis: versatile techniques for biomass conversion.* Amsterdam: Elsevier,2013, p. 173-208.

MIANDAD, R., BARAKAT, M., ABURIAZAIZA, A., REHAN, M., ISMAIL, I., NIZAMI, A. Effect of plastic waste types on pyrolysis liquid oil. **International Biodeterioration & Biodegradation**, v. 119, p. 239–252,2017.

MOSTAFAZADEH, A., SOLOMATNIKOVA, O., DROGUI, P., TYAGI, R. A review of recent research and developments in fast pyrolysis and bio-oil upgrading. **Biomass Conversion and Biorefinery**, v. 8, n.3, p. 739–773,2018.

MURUGAN, S., GU, S. Research and development activities in pyrolysis – Contributions from Indian scientific community – A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v.46, p.282–295,2015.

ODEJOBI, O., SANDA, O., ABEGUNRIN, I. O., OLADUNNI, A., SONIBARE, J. Production of pyrolysis oil from used tyres and the effects of pyrolysis oil-gasoline blends on the performance of a gasoline-powered electric generator. **Scientific African**, v.10, p.1-1,2020.

OH, S., LEE, J. H., CHOI, I., CHOI, J. Enhancement of bio-oil hydrodeoxygenation activity over Ni-based bimetallic catalysts supported on SBA-15. **Renewable Energy**, v.149, p.1-10,2019.

OSORIO, J., CHEJNE, F. Bio-Oil Production in Fluidized Bed Reactor at Pilot Plant from Sugarcane Bagasse by Catalytic Fast Pyrolysis. **Waste and Biomass Valorization**, v.10, n.1, p. 1-9, 2017.

PRAJITNO, H., INSYANI, R., PARK, J., RYU, C., KIM, J. Non-catalytic upgrading of fast pyrolysis bio-oil in supercritical ethanol and combustion behavior of the upgraded oil. **Applied Energy**, v. 172, p.12–22, 2016.

REN, X.; CAI, H.; ZHANG, Q.; ZHANG, D.; LIN, X. Evaluation of zeolite catalysts on product distribution during sweet sorghum bagasse catalytic pyrolysis. **Energy**, v.214, p.1-10,2021.

SALEHI, E.; ABEDI, J.; HARDING, T. Bio-oil from Sawdust: Effect of Operating Parameters on the Yield and Quality of Pyrolysis Products. **Energy Fuels**, v. 25, n.9, p.4145–4154,2011.

SHARIFZADEH, M., SADEQZADEH, M., GUO, M., BORHANI, T., MURTHY KONDA, N., GARCIA, M., SHAH, N. The multi-scale challenges of biomass fast pyrolysis and bio-oil upgrading: Review of the state of art and future research directions. **Progress in Energy and Combustion Science**, v. 71, p. 1–80, 2019.

SHEN, D., JIN, W., HU, J., XIAO, R., LUO, K. An overview on fast pyrolysis of the main constituents in lignocellulosic biomass to valued-added chemicals: Structures, pathways and interactions. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v.51, p.761–774,2015.

STEFANIDIS, S., KARAKOULIA, S., KALOGIANNIS, K. G., ILIOPOULOU, E., DELIMITIS, A., YIANNOULAKIS, H., TRIANTAFYLIDIS, K. Natural magnesium oxide (MgO) catalysts: A cost-effective sustainable alternative to acid zeolites for the in situ upgrading of biomass fast pyrolysis oil. **Applied Catalysis B: Environmental**, v.196, p. 155–173,2016.

SUKIRAN, M., LOH, S., BAKAR, N. Production of Bio-oil from Fast Pyrolysis of Oil Palm Biomass using Fluidised Bed Reactor. **Journal of Energy Technologies and Policy**, v.6, n.9, p.53-62,2016.

SUN, T., ZAIFENG, L., ZHANG, Z., WANG, Z., YANG, S., YANG, Y., WANG, X., LIU, S., ZHANG, Q., LEI, T. Fast corn stalk pyrolysis and the influence of catalysts on product distribution. **Bioresource Technology**, v.301, p.1-9,2020.

SUPRIYANTO, D., YLITERVO, P., DOU, J., SIPPONEN, M., RICHARDS, T. Identifying the primary reactions and products of fast pyrolysis of alkali lignin. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**, v. 151, p.1-9,2020.

SURIAPPARAO, V.; R, VINU. Effects of Biomass Particle Size on Slow Pyrolysis Kinetics and Fast Pyrolysis Product Distribution. **Waste and Biomass Valorization**, v.9, n.3, p.465–477,2017.

THANGALAZHY-GOPAKUMAR, S., CHONG, Y., NG, H., LEE, L., GAN, S. Effect of oxide catalysts on the properties of bio-oil from in-situ catalytic pyrolysis of palm empty fruit bunch fiber. **Journal of Environmental Management**, v.247, p.38–45,2019.

WANG, S., LUO, Z. Pyrolysis of Biomass.1. ed. Walter de Gruyter GmbH & Co KG .5 de dez. de 2016,268 p.

XU, J., LIAO, Y., LIN, Y., MA, X., ZHAOSHENG, Y. Study on catalytic pyrolysis of eucalyptus to produce aromatic hydrocarbons by Zn-Fe Co-Modified HZSM-5 catalysts. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**, v.139, p.96-103,2019.

ZAMAN, C., PAL, K, YEHYE, W., SHAH, S., ADEBISI, G., RAFIQUE, E., JOHAN, R. Pyrolysis: A Sustainable Way to Generate Energy from Waste.**Interchopen**, p.3-36,2017.

ZHENG, A., JIANG, L., ZHAO, Z., HUANG, Z., ZHAO, K., WEI, G., LI, H. Catalytic fast pyrolysis of lignocellulosic biomass for aromatic production: chemistry, catalyst and process. **Wiley Interdisciplinary Reviews: Energy and Environment**, v. 6, n.3, p.1-18,2016.

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