



UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS
CAMPUS DE PALMAS
CURSO DE MESTRADO PROFISSIONAL EM ENGENHARIA AMBIENTAL

RANYERE DO NASCIMENTO LÔBO

**DEGRADAÇÃO TÉRMICA DE PODAS DE ÁRVORES (*SYZYGIUM
CUMINI*) VISANDO A PRODUÇÃO DE CARVÃO ATIVADO PARA
USO INDUSTRIAL**

Palmas - TO
2021

Ranyere do Nascimento Lôbo

Degradação térmica de podas de árvores (*Syzygium cumini*) visando a produção de carvão ativado para uso industrial

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Mendes Pedroza

Palmas - TO
2021

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Tocantins

- L799d Lóbo, Ranyere do Nascimento.
 Degradação térmica de podas de árvores (*Syzygium cumini*) visando a
 produção de carvão ativado para uso industrial. / Ranyere do Nascimento
 Lóbo. – Palmas, TO, 2021.
 72 f.

 Dissertação (Mestrado Profissional) - Universidade Federal do Tocantins
 – Câmpus Universitário de Palmas - Curso de Pós-Graduação (Mestrado)
 Profissional em Engenharia Ambiental, 2021.
 Orientador: Dr. Marcelo Mendes Pedroza

 1. Poda de árvores. 2. *Syzygium cumini*. 3. Pirólise. 4. Carvão ativado;
 Adsorção. I. Título

CDD 628

TODOS OS DIREITOS RESERVADOS – A reprodução total ou parcial, de qualquer
forma ou por qualquer meio deste documento é autorizado desde que citada a fonte.
A violação dos direitos do autor (Lei nº 9.610/98) é crime estabelecido pelo artigo 184
do Código Penal.

**Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFT com os
dados fornecidos pelo(a) autor(a).**

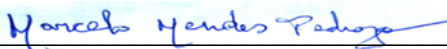
Ranyere do Nascimento Lôbo

Degradação térmica de podas de árvores (*Syzygium cumini*) visando a produção de carvão ativado para uso industrial

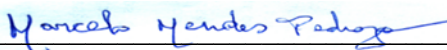
Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental foi avaliada para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Ambiental em 20 de dezembro de 2021, e aprovada em sua forma final pelo Orientador e pela Banca Examinadora.

Data de Aprovação: 20 dezembro de 2021

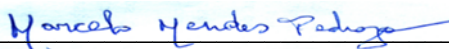
Banca Examinadora:



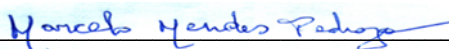
Dr. Marcelo Mendes Pedroza
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins
Orientador



Dra. Cláudia da Silva Aguiar Rezende
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins



Dr. Aurélio Pessôa Picanço
Universidade Federal do Tocantins



Dra. Luciana Rezende Alves de Oliveira
Universidade de Ribeirão Preto

Palmas/TO
2021

RESUMO

Este trabalho tem por objetivo produzir carvão ativado utilizando como material precursor a poda de arborização urbana da cidade de Palmas - TO da espécie *Syzygium cumini*, em processo de pirólise. A pesquisa teve as seguintes fases: (a) caracterização da biomassa, (b) cinética de perda de massa, (c) planejamento de seleção de variáveis do processo de tratamento térmico, (d) caracterização do carvão ativado e (e) teste de adsorção. A biomassa foi caracterizada através da análise imediata, análise elementar, análise termogravimétrica (TG), espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier (FTIR). O estudo da cinética de perda foi realizado na temperatura de 50 °C. Nos ensaios de pirólise da biomassa foram estudadas as seguintes variáveis de processo: temperatura da pirólise (350, 500 e 650 °C), vazão de gás inerte no reator de pirólise (4, 6 e 8 mL/min), taxa de aquecimento do reator de pirólise (25, 35 e 45 °C/min), diâmetro da partícula de biomassa (6,3, 8 e 12,5 mm), temperatura de aquecimento da biomassa em vapor úmido (110, 120 e 130 °C) e tempo de contato da biomassa com vapor úmido (20, 30 e 40 min). O carvão ativado foi caracterizado pelas análises imediatas e elementares, pH, ponto de carga zero (pH_{PCZ}), número de iodo, termogravimétrica, espectroscopia de infravermelho transformada de Fourier. O planejamento para o teste de adsorção de azul de metileno foi delineado com 7 fatores entre eles estão: temperatura (20, 25 e 30 °C), concentração do azul de metileno (5, 10 e 15 mg/L), tempo de adsorção (20, 40 e 60 min), massa de carvão ativado (0,5, 0,75 e 1 g), velocidade de agitação (71, 119 e 167 rpm), pH da solução de azul metileno (6,5, 7,5 e 8,5) e granulometria do adsorvente (0,45, 1,2 e 2 mm). A biomassa apresentou as seguintes características: (a) umidade = 5,97%, (b) material volátil = 81,90 %, (c) cinzas = 0,66 %, (d) carbono = 45,09 %, (e) nitrogênio = 0,19 % e (f) hidrogênio = 5,57 %. Nos testes de pirólise, o rendimento máximo de carvão foi de 78 % obtido nas seguintes condições: temperatura do reator = 350 °C, taxa de aquecimento = 25 °C / min e vazão de gás inerte = 4 mL/min. Na temperatura do reator de pirólise de 650 °C o rendimento médio de carvão foi de 15,87 %. O carvão apresentou pH entre 8,02 e 9,02, com relação de C/H igual a 31,09. O pH_{PCZ} do material carbonáceo a 650 °C foi de pH_{PCZ} 7,042. A determinação do número de iodo obteve resultados superiores a 1162,07 mgI₂/g, valor bem superior do limite mínimo estabelecido pela norma para aceitação de carvão ativado. Nos testes de adsorção, os fatores que apresentaram significância foram a concentração de azul de metileno e massa de carvão. A capacidade máxima de adsorção foi de 1,48 mg/g de carvão nos testes. Os dados relacionados às características do carvão obtido no processo de pirólise a partir da biomassa residual *Syzygium cumini* apontam para a sua utilização como material adsorvente de micropoluentes.

Palavras-chave: Poda de árvores; *Syzygium cumini*; Pirólise; Carvão ativado; Adsorção.

ABSTRACT

This work aims to produce activated carbon using as precursor material the pruning of urban trees in the city of Palmas - TO of the species *Syzygium cumini*, in a pyrolysis process. The research had the following phases: (a) characterization of the biomass, (b) kinetics of mass loss, (c) planning of selection of variables of the heat treatment process, (d) characterization of activated carbon and (e) adsorption. The biomass was characterized through immediate analysis, elemental analysis, thermogravimetric analysis (TG), Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR). The study of the loss kinetics was carried out at a temperature of 50 °C. In the biomass pyrolysis tests, the following process variables were studied: pyrolysis temperature (350, 500 and 650 °C), inert gas flow in the pyrolysis reactor (4, 6 and 8 mL/min), heating rate of the pyrolysis reactor (25, 35 and 45 °C/min), biomass particle diameter (6.3, 8 and 12.5 mm), biomass heating temperature in wet steam (110, 120 and 130 °C) and biomass contact time with wet steam (20, 30 and 40 min). Activated carbon was characterized by immediate and elemental analyses, pH, point of zero charge (pHPCZ), iodine number, thermogravimetry, Fourier transform infrared spectroscopy. The planning for the methylene blue adsorption test was designed with 7 factors, including: temperature (20, 25 and 30 °C), methylene blue concentration (5, 10 and 15 mg/L), adsorption time (20, 40 and 60 min), activated carbon mass (0.5, 0.75 and 1 g), stirring speed (71, 119 and 167 rpm), pH of the methylene blue solution (6.5, 7.5 and 8.5) and adsorbent granulometry (0.45, 1.2 and 2 mm). The biomass showed the following characteristics: (a) moisture = 5.97%, (b) volatile material = 81.90%, (c) ash = 0.66%, (d) carbon = 45.09%, (and) nitrogen = 0.19% and (f) hydrogen = 5.57%. In the pyrolysis tests, the maximum carbon yield was 78% obtained under the following conditions: reactor temperature = 350 °C, heating rate = 25 °C / min and inert gas flow = 4 mL/min. At the temperature of the pyrolysis reactor of 650 °C, the average yield of coal was 15.87%. The coal presented a pH between 8.02 and 9.02, with a C/H ratio equal to 31.09. The pHPCZ of the carbonaceous material at 650°C was pHPCZ 7.042. The determination of the iodine number obtained results above 1162.07 mgI₂/g, a value well above the minimum limit established by the standard for the acceptance of activated carbon. In the adsorption tests, the factors that showed significance were the concentration of methylene blue and the mass of carbon. The maximum adsorption capacity was 1.48 mg/g of carbon in the tests. The data related to the characteristics of the coal obtained in the pyrolysis process from the residual biomass *Syzygium cumini* point to its use as adsorbing material for micropollutants.

Keywords: Tree pruning; *Syzygium cumini*; Pyrolysis; Activated charcoal; Adsorption.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Mapa do plano diretor de Palmas - TO	18
Figura 2: Estrutura molécula da celulose , hemicelulose e lignina	19
Figura 3: Membros do vegetal arbóreo da espécie <i>Syzygium cumini</i>	22
Figura 4: Distribuição nativa geográfica da espécie <i>Syzygium cumini</i>	22
Figura 5: Esquema de classificação de ações de conservação da espécie <i>Syzygium cumini</i>	23
Figura 6: Representação esquemática das atividades desenvolvidas na produção do carvão ativado	29
Figura 7: Podas de arborização urbana (<i>Syzygium cumini</i>).	30
Figura 8: Lapidado dos ramos da poda da <i>Syzygium cumini</i>	30
Figura 9: Corte paralelo as fibras da poda da <i>Syzygium cumini</i>	31
Figura 10: Amostras de biomassa de <i>Syzygium cumini</i> por granulometria	31
Figura 11: Mufla para determinação do material volátil, carbono fixo e cinzas da biomassa de <i>Syzygium cumini</i>	32
Figura 12: Representação do planejamento experimental utilizado na pirólise de biomassa (Planejamento Plackett-Burman).....	35
Figura 13: Autoclave para o tratamento hidrotérmico.....	37
Figura 14: Reator bipartido de leito fixo para procedimento de pirólise	38
Figura 15: Agitação Orbital para determinação do pH _{PCZ}	40
Figura 16: Mesa agitadora orbital e espectrofotômetro de duplo feixe para teste de adsorção azul de metileno.....	41
Figura 17: Curva de calibração de absorbância para adsorção de azul de metileno	41
Figura 18: Representação do planejamento experimental para o teste de azul de metileno ...	43
Figura 19: Curva TG e DTG da biomassa da <i>Syzygium cumini</i>	46
Figura 20: Espectro de FTIR da biomassa da <i>Syzygium cumini</i>	47
Figura 21: Perda de massa da biomassa de <i>Syzygium cumini</i>	49
Figura 22: Taxa de perda de massa da biomassa de <i>Syzygium cumini</i>	49
Figura 23: Fração sólida do processo de pirólise dos três níveis de temperatura 350, 500 e 650 °C	51
Figura 24: Representação do Diagrama de Pareto obtido no planejamento PB com nível 95 % de confiança da pirólise da biomassa da <i>Syzygium cumini</i>	52
Figura 25: Obtenção do pH _{PCZ} do carvão ativado temperatura de 650 °C da <i>Syzygium cumini</i>	55

Figura 26: Titulação com solução de tiosulfato de sódio 0,1 N para determinação do número de iodo	56
Figura 27: Procedimentos analítico do ensaio para o número de iodo	57
Figura 28: Curva TG e DTG do carvão ativado da <i>Syzygium cumini</i>	58
Figura 29: Espectro de FTIR do carvão ativado da <i>Syzygium cumini</i>	59
Figura 30: Grupos funcionais dos materiais carbonáceos	60
Figura 31: Espectro de FTIR da biomassa e do carvão ativado da <i>Syzygium cumini</i>	61
Figura 32: Representação do Diagrama de Pareto obtido no planejamento PB capacidade de adsorção do teste de azul de metileno	63
Figura 33: Representação do Diagrama de Pareto obtido no planejamento PB eficiência de adsorção (%) do teste de azul de metileno	64

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Níveis dos fatores empregados no planejamento experimental, durante a Pirólise de biomassa	34
Tabela 2: Ordem dos experimentos empregados no planejamento Plackett-Burman para pirólise da biomassa da <i>Syzygium cumini</i>	36
Tabela 3: Níveis dos fatores empregados no planejamento experimental, durante a Pirólise de biomassa	42
Tabela 4: Ordem dos experimentos empregados no planejamento PB, teste de azul de metileno	43
Tabela 5: Resultado das análises gravimétricas e elementar da biomassa de <i>Syzygium cumini</i>	44
Tabela 6: Intervalo de temperatura e variação de massa obtido do TG/DTG da poda de <i>Syzygium cumini</i>	46
Tabela 7: Faixas de temperaturas para devolatilização de compostos e grupos orgânicos	47
Tabela 8: Resultados de picos do espectro de FTIR da biomassa de <i>Syzygium cumini</i>	48
Tabela 9: Resultados dos experimentos empregados no planejamento PB para pirólise da biomassa da <i>Syzygium cumini</i>	50
Tabela 10: Coeficientes de regressão do planejamento PB com nível 95 % de confiança da pirólise da biomassa da <i>Syzygium cumini</i>	52
Tabela 11: Resultado da análise imediata e elementar do carvão ativado da <i>Syzygium cumini</i>	53
Tabela 12: Resultado do número de iodo do carvão ativado da <i>Syzygium cumini</i>	57
Tabela 13: Resultados de picos do espectro de FTIR do carvão ativado de <i>Syzygium cumini</i>	60
Tabela 14: Resultados dos experimentos empregados no planejamento PB - teste de azul de metileno (-)	62
Tabela 15: Coeficientes de regressão para capacidade de adsorção (mg/g) do teste de azul de metileno	63
Tabela 16: Coeficientes de regressão para eficiência de adsorção (%) do teste de azul de metileno	64

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Coleta e transporte de podas de árvores (toneladas/mês) em Palmas – TO.....	20
Gráfico 2: Quantitativo de RSU (domésticos e comercial) e podas de árvores.	21

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

CNH – Análise Elementar de Carbono, Nitrogênio e Hidrogênio

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente

BGCI - *Botanic Gardens Conservation International*

IUCN - *International Union for Conservation of Nature*

PB – *Plackett-Buram*

FTIR – Espectroscopia no Infravermelho Com Transformada de Fourier

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

IFTO – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins

LARSEN – Laboratório de Inovação em Aproveitamento de Resíduos e Sustentabilidade Energética

NBR – Norma Brasileira

pH – Potencial Hidrogeniônico

pH_{PCZ} – Potencial Hidrogeniônico de Ponto de Carga Zero

PMSB – Plano Municipal de Saneamento Básico

RSU – Resíduos Sólidos Urbano

SF – Sólidos Fixos

ST – Sólidos Totais

SV – Sólidos Voláteis

SICAP - Sistema Integrado de Auditoria Pública

TGA – Análise Termogravimétrica

DTG - Diferencial Termogravimétrica

TCE - Tribunal de Contas do Estado

UFRN – Universidade Federal do Rio Grande do Norte

USP – Universidade de São Paulo

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	13
1.1 JUSTIFICATIVA.....	14
2 OBJETIVOS	16
3.1 OBJETIVO GERAL	16
3.1.1 Objetivos Específicos	16
3 REVISÃO DA LITERATURA.....	17
3.2 RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS (RSU).....	17
3.3 ARBORIZAÇÃO URBANA	17
3.3.1 Palmas - Tocantins	18
3.3.2 Poda de árvores (biomassa)	19
3.3.3 <i>Syzygium cumini</i>	21
3.4 CONVERSÃO TERMOQUÍMICA (PIRÓLISE).....	23
3.4.1 Tamanho das partículas	24
3.4.2 Taxa de aquecimento	25
3.4.3 Tempo de residência.....	25
3.4.4 Temperatura.....	26
3.4.5 Tipos e vazões de gás inerte	26
3.4.6 Área superficial.....	27
3.4.7 Rendimento do carvão ativado	27
3.4.8 Uso do carvão ativado	28
4 MATERIAL E MÉTODOS	29
4.1 OBTENÇÃO DA AMOSTRA	29
4.2 PREPARO DA AMOSTRA DE SYZYGIUM CUMINI PARA PROCEDIMENTOS ANALÍTICOS... 30	30
4.3 PROCEDIMENTOS ANALÍTICOS EMPREGADOS NA CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DA PODA DA SYZYGIUM CUMINI	31
4.3.1 Análise imediata	31
4.3.2 Cinética de Perda de Massa	33
4.3.3 Planejamento Experimental - Pirólise	33
4.3.4 Procedimentos analíticos empregados na caracterização química do carvão ativado	38
4.3.5 Teste de Adsorção de Azul de Metileno em Shaker com Agitação Orbital	41
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	44
5.1 CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DA BIOMASSA DA SYZYGIUM CUMINI.....	44

5.1.1	Análise imediata e elementar (CHN) da biomassa da <i>Syzygium cumini</i>	44
5.1.2	Análise Termogravimétrica (TGA) e Diferencial Termogravimétrica (DTG) da Biomassa de <i>Syzygium cumini</i>	45
5.1.3	Espectroscopia de Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR) da <i>Syzygium cumini</i>	47
5.2	CINÉTICA DE PERDA DE MASSA	48
5.3	PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL - CONVERSÃO TERMOQUÍMICA (PIRÓLISE).....	50
5.4	PROCEDIMENTOS ANALÍTICOS EMPREGADOS NA CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DO CARVÃO ATIVADO	53
5.4.1	Análise imediata e elementar (CHN) do carvão ativado	53
5.4.2	Potencial Hidrogeniônico (pH).....	54
5.4.3	Ponto de carga zero (pH _{PCZ}) do carvão ativado da <i>Syzygium cumini</i>	55
5.4.4	Número de iodo	56
5.4.5	Análise termogravimétrica (TGA) e diferencial termogravimétrica (DTG) do carvão ativado da <i>Syzygium cumini</i>	58
5.4.6	Espectroscopia de Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR) do Carvão Ativado da <i>Syzygium cumini</i>	59
5.5	TESTE DE ADSORÇÃO DE AZUL DE METILENO EM SHAKER COM AGITAÇÃO ORBITAL	61
6	CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES.....	65
	REFERÊNCIAS	66

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12073**: Carvão ativado pulverizado - Determinação do número de iodo. Rio de Janeiro, 1991a.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11834**: Carvão ativado pulverizado. Rio de Janeiro, 1991b.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004**: Resíduos sólidos - Classificação. Rio de Janeiro, 2004.
- ALBANESE, L. et al. Hydrodynamic cavitation as an energy efficient process to increase biochar surface area and porosity: A case study. **Journal of Cleaner Production**, v. 210, p. 159–169, 10 fev. 2019b.
- ALBANESE, LORENZO; BARONTI, SILVIA; LIGUORI, FRANCESCA; MENEGUZZO, FRANCESCO; BARBARO, PIERLUIGI; VACCARI, FRANCESCO PRIMO. **Avaliação Do Potencial De Uso De Resíduos De Madeira Tropical Para Produção De Painéis Colados Lateralmente - Egp Para Produção De Painéis Colados Lateralmente - Egp**. [s.l.] UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ, 2013.
- ALMENDROS, A. I.; MARTÍN-LARA, M. A.; RONDA, A.; PÉREZ, A.; BLÁZQUEZ, G.; CALERO, M.. Physico-chemical characterization of pine cone shell and its use as biosorbent and fuel. **Bioresource Technology**, v. 196, p. 406–412, 1 nov. 2015.
- ARAÚJO, L. S. **Comparação do desempenho de carvão ativado produzido a partir de diferentes matrizes para remoção de microcistina-lr de águas de abastecimento.**, 2017.
- AYYANAR, M.; SUBASH-BABU, P. Syzygium cumini (L.) Skeels: A review of its phytochemical constituents and traditional uses. **Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine**, v. 2, n. 3, p. 240–246, 2012.
- BANERJEE, A.; DASGUPTA, N.; DE, B. In vitro study of antioxidant activity of Syzygium cumini fruit. **Food Chemistry**, v. 90, n. 4, p. 727–733, 2005.
- BGCI & IUCN. **Syzygium cumini, Black Plum Assessment by: Botanic Gardens Conservation International (BGCI) & IUCN SSC Global Tree Specialist Group View on www.iucnredlist.org THE IUCN RED LIST OF THREATENED SPECIES™**. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2019->>.
- BRASIL. **Lei Nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007**. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/111445.htm>. Acesso em: 20 jun. 2020.
- BRASIL. Resolução CONAMA nº 404/08. **Diário Oficial da União**, 2008.
- BRASIL. Lei Nº 12.305, DE 2 DE AGOSTO DE 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, p. 1–21, 2010.
- CALAHORRO, C. VALENZUELA; SERRANO, V. GÓMEZ; ALVARO, J. HERNÁNDEZ; GARCÍA, A. BERNALTE. The use of waste matter after olive grove pruning for the

preparation of charcoal. The influence of the type of matter, particle size and pyrolysis temperature. **Bioresource Technology**, v. 40, n. 1, p. 17–22, 1992.

CHILD, M. Industrial-Scale Hydrothermal Carbonization of Waste Sludge Materials for Fuel Production. **Thesis**, p. 1–109, 2014.

CORTEZ, P. A.; SILVA, D. DA C.; CHAVES, A. L. F. **Manual prático de morfologia e anatomia vegetal**. [s.l: s.n.]. 2016.

DURÁN-VALLE, CARLOS J.; GÓMEZ-CORZO, MANUEL; PASTOR-VILLEGAS, JOSÉ; GÓMEZ-SERRANO, VICENTE. Study of cherry stones as raw material in preparation of carbonaceous adsorbents. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**, v. 73, n. 1, p. 59–67, 2005.

ELKHALIFA, S. et al. Food waste to biochars through pyrolysis: A review. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 144, n. September 2018, p. 310–320, 2019a.

FAGNANI, H. M. C. et al. CO₂ adsorption in hydrochar produced from waste biomass. **SN Applied Sciences**, v. 1, n. 9, 2019.

FERNANDES, R. Adsorventes alternativos para remoção de fenol em solução aquosa. **Mestrado em engenharia química**, v. Mestrado, p. 91, 2005.

FILGUEIRAS, A. V. Plackett Burman design for microplastics quantification in marine sediments. **Marine Pollution Bulletin**, v. 162, n. November 2020, 2021.

FISCHER, HELEN CAROLINE VALTER; LIMA, LILIANE SCHIER DE; FELSNER, MARIA LURDES; QUINAIA, SUELI PERCIO. Estudo da capacidade de adsorção de carvões ativados comerciais *versus* tempo de armazenamento. **Ciência Florestal**, v. 29, n. 3, p. 1090, 2019.

GAÑÁN, J.; GONZÁLEZ, J. F.; GONZÁLEZ-GARCÍA, C. M.; RAMIRO, A.; SABIO, E.; ROMÁN, S.. Carbon dioxide-activated carbons from almond tree pruning: Preparation and characterization. **Applied Surface Science**, v. 252, n. 17, p. 5993–5998, 30 jun. 2006.

GARCÍA, GABRIEL BLÁZQUEZ; CALERO DE HOCES, MÓNICA; MARTÍNEZ GARCÍA, CARMEN; COTES PALOMINO, MARÍA TERESA; GÁLVEZ, ALICIA RONDA; MARTÍN-LARA, MARÍA ÁNGELES. Characterization and modeling of pyrolysis of the two-phase olive mill solid waste. **Fuel Processing Technology**, v. 126, p. 104–111, 2014.

GOIÁS. **LEI Nº 10.419, DE 1º DE JANEIRO DE 1988. Dispõe sobre a criação do Município de TAQUARUSSU DO PORTO e dá outras providências.**Gabinete Civil da Governadoria, 1988.

GONZÁLEZ-GARCÍA, C. M.; GONZÁLEZ, J. F.; ROMÁN, S. **Removal efficiency of radioactive methyl iodide on TEDA-impregnated activated carbons**. Fuel Processing Technology. **Anais...**fev. 2011

GONZÁLEZ, J. F.; ROMÁN, S.; ENCINAR, J. M.; MARTÍNEZ, G.. Pyrolysis of various biomass residues and char utilization for the production of activated carbons. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**, v. 85, n. 1–2, p. 134–141, 2009.

GU, XIAOLI; LIU, CHENG; JIANG, XIANGJIN; MA, XU; LI, LIXIAN; CHENG, KANGHUA; LI, ZHONGZHENG. Thermal behavior and kinetics of the pyrolysis of the raw/steam exploded poplar wood sawdust. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**, v. 106, p. 177–186, 2014.

GU, XIAOLI; LIU, CHENG; JIANG, XIANGJIN; MA, XU; LI, LIXIAN; CHENG, KANGHUA; LI, ZHONGZHENG. **The potential of lignocellulosic biomass precursors for biochar production: Performance, mechanism and wastewater application—A review** *Industrial Crops and Products* Elsevier B.V., , 1 fev. 2019.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). SGI 2.5 – Introdução ao Sistema de Informações Geográficas – SGI. Imagem Geosistemas São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2021.

JAPANESE STANDARDS ASSOCIATION MITA MT BUILDING. Norma JIS K1474. p. 12, 2014.

KRZESIŃSKA, MARTA; PILAWA, BARBARA; PUSZ, SŁAWOMIRA; NG, JONATHAN. Physical characteristics of carbon materials derived from pyrolysed vascular plants. **Biomass and Bioenergy**, v. 30, n. 2, p. 166–176, fev. 2006.

LI, WEI; YANG, KUNBIN; PENG, JINHUI; ZHANG, LIBO; GUO, SHENGHUI; XIA, HONGYING. Effects of carbonization temperatures on characteristics of porosity in coconut shell chars and activated carbons derived from carbonized coconut shell chars. **Industrial Crops and Products**, v. 28, n. 2, p. 190–198, set. 2008.

LISSETH, CLARA; MARTINEZ, MENDOZA; CARDOSO, MARCELO; ALMEIDA, GUSTAVO MATHEUS DE. Carbonização hidrotérmica de resíduos do café. n. August, 2019.

MACHADO, P. R. S. Prospecção De Bioprodutos a Partir Da Degradação Termoquímica Do Sabugo De Milho Visando Aplicação Industrial. p. 5–7, 2019.

MAMANÍ, ARMINDA; SARDELLA, MARÍA FABIANA; GIMÉNEZ, MARIANELA; DEIANA, CRISTINA. Highly microporous carbons from olive tree pruning: Optimization of chemical activation conditions. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 7, n. 1, 1 fev. 2019.

MARTÍN-LARA, M. A.; PÉREZ, A.; VICO-PÉREZ, M. A.; CALERO, M.; BLÁZQUEZ, G.. The role of temperature on slow pyrolysis of olive cake for the production of solid fuels and adsorbents. **Process Safety and Environmental Protection**, v. 121, p. 209–220, 1 jan. 2019.

MENÉNDEZ, J. A.; DOMÍNGUEZ, A.; INGUANZO, M.; PIS, J. J.. Microwave pyrolysis of sewage sludge: Analysis of the gas fraction. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**, v. 71, n. 2, p. 657–667, 2004.

MORAIS, J. P. S.; ROSA, M. DE F.; MARCONCINI, J. M. Procedimentos para Análise Lignocelulósica. 2010.

MORUZZI, RODRIGO B.; LIMA, VERÔNICA B.; COLOMBO, RENATA; CONCEIÇÃO,;

FABIANO T.; LANZA, MARCOS R.V.. Remocão do ácido mefenâmico em água utilizando carvão ativado em pó, lama vermelha e oxidação com cloro. **Quimica Nova**, v. 37, n. 10, p. 1594–1599, 2014.

MUÑOZ-PIZZA, DALIA M.; VILLADA-CANELA, MARIANA; RIVERA-CASTAÑEDA, PATRICIA; REYNA-CARRANZA, MARCO A.; OSORNIO-VARGAS, ALVARO; MARTÍNEZ-CRUZ, ADAN L.. Stated benefits from air quality improvement through urban afforestation in an arid city – A contingent valuation in Mexicali, Baja California, Mexico. **Urban Forestry and Urban Greening**, v. 55, 2020.

NAKASHIMA, G. T.; ADHMANN, I. C. S.; HANSTED, A. L. S.; BELINI, G. B.; WALDMAN, W. R.; YAMAJI, F. M. Lignocellulosic materials: Characterization and production of briquettes [Materiais Lignocelulósicos: Caracterização e Produção de Briquetes]. **Revista Virtual de Química**, v. 9, n. 1, p. 150–162, 2017.

NIEDERSBERG, C. PRODUZIDO A PARTIR DA CASCA DO TUNGUE (*Aleurites fordii*), RESÍDUO DO PROCESSO. **Mestrado**, p. 1–65, 2012.

NUNES, A. DOS S. Universidade Estadual Do Sudoeste Da Bahia- Uesb Centro De Ensino , Pesquisa E Extensão Socioambiental Programa De Pós-Graduação Em Ciências Ambientais Amendoim Visando a Aplicação Na Remocão De. 2014.

PALMAS. **Lei nº 28 de 29 de dezembro de 1989. Transfere a sede do município de Taquarussu do Porto para Palmas.**, 1989.

PALMAS. Plano Municipal de Saneamento Básico de Palmas - TO. v. II, p. 137, 2014.

PAZ, E. C. S. Production and characterization of the solid product of coconut pyrolysis. 2021.

PEDROZA, M. M. Bio-óleo e Biogás da degradação termoquímica de lodo de esgoto doméstico em cilindro rotativo. **Universidade Federal Do Rio Grande Do Norte**, p. 210, 2011.

PEREIRA, R. J. Composição Centesimal, Aspectos fitoquímicos, atividades atioxidantes, Hipoglicemiantes, e Anti-hiperlipidêmica dos Frutos do gênero *Syzygium*. p. 157, 2011.

PLACKETT, R. L.; BURMAN, J. P. THE DESIGN OF OPTIMUM MULTIFACTORIAL EXPERIMENTS Design of optimum multifactorial experiments Suppose also that the extreme value of x_i under consideration is x_i . Then the main effect of. **Biometrika**, v. 33, n. 4, p. 305–325, 1946.

PLAZA, M. G.; GONZÁLEZ, A. S.; PIS, J. J.; RUBIERA, F.; PEVIDA, C.. Production of microporous biochars by single-step oxidation: Effect of activation conditions on CO₂ capture. **Applied Energy**, v. 114, p. 551–562, 2014.

QUESADA, L.; PÉREZ, A.; CALERO, M.; BLÁZQUEZ, G.; MARTÍN-LARA, M. A.. Kinetic study of thermal degradation of olive cake based on a scheme of fractionation and its behavior impregnated of metals. **Bioresource Technology**, v. 261, p. 104–116, 1 ago. 2018.

REGALBUTO, J. R.; ROBLES, J. O. The Engineering of Pt/Carbon Catalyst Preparation. **University of Illinois, Chicago**, p. 13, 2004.

ROCHA, A. J. F.; SOUZA, R. L. P.; REDA, A. L. DE L.; SILVA, G. T.. Destinação sustentável do resíduo da poda de árvores urbanas. **XV Safety, Health and Environment World Congress**, v. 19, n. 22, p. 137–141, 2015.

RODRÍGUEZ, I. I.; MARTÍN-LARA, M. Á.; BLÁZQUEZ, G.; OSEGUEDA, Ó.; CALERO, M.. Thermal analysis of olive tree pruning and the by-products obtained by its gasification and pyrolysis: The effect of some heavy metals on their devolatilization behavior. **Journal of Energy Chemistry**, v. 32, p. 105–117, 1 maio 2019.

RODRIGUES, M. I.; IEMMA, A. F. Planejamento de Experimentos e Otimização de Processos: uma estratégia seqüencial de planejamentos, Campinas, SP, Casa do Pão Editora, 2005.

ROMÁN, S.; GONZÁLEZ, J. F.; GAÑÁN, J.; SABIO, E.; GONZÁLEZ-GARCÍA, C. M.; RAMIRO, A.; MANGUT, V.. Preparation and characterization of carbons for the retention of halogens in the condenser vacuum system of a thermonuclear plant. **Applied Surface Science**, v. 252, n. 17, p. 6036–6041, 30 jun. 2006.

RONDA, A.; DELLA ZASSA, M.; MARTÍN-LARA, M. A.; CALERO, M.; CANU, P.. Combustion of a Pb(II)-loaded olive tree pruning used as biosorbent. **Journal of Hazardous Materials**, v. 308, p. 285–293, 5 maio 2016.

SALLE, LA; BARRETO, VICTOR. Characteristics of Coal Ash of the Major Brazilian Coal Power Plant : Destinations and recycling. **IX Simpósio Internacional de Qualidade Ambiental**, p. 15fls, 2014.

SANEAMENTO, D. O. Saneamento Ambiental - As maiores do saneamento. p. 106, 2018.

SANTANA, M. S. **TESE_Produção de hydrochars a partir de resíduos de grãos defeituosos de café.pdf**, 2019.

SANTOS, M. S. **Cervejas e Refrigerantes**São Paulo, 2005. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br>>

SATO, M. K.; DE LIMA, H. V.; COSTA, A. N. ; RODRIGUES, S.; MOONEY, SACHA J.; CLARKE, MICHÈLE; S. P., A. J. F. M., CLAUDIA M. B.. Biochar as a sustainable alternative to açai waste disposal in Amazon, Brazil. **Process Safety and Environmental Protection**, v. 139, p. 36–46, 1 jul. 2020.

SÃO PAULO, S. **Manual Técnico de Arborização Urbana**, 2015. Disponível em: <https://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/meio_ambiente/publicacoes_svma/index.php?p=188452>. Acesso em: 10 nov. 2021.

SFAKIOTAKIS, S.; VAMVUKA, D. Thermal decomposition behavior, characterization and evaluation of pyrolysis products of agricultural wastes. **Journal of the Energy Institute**, v. 91, n. 6, p. 951–961, 1 dez. 2018.

SILVA, M. et al. **Noções morfológicas e taxonômicas para identificação botânica**. [s.l.: s.n.].

SILVERSTEIN, R. M.; FRANCIS, X.; DAVID, J. **Identificação Espectrométrica de Compostos Orgânicos**. 7. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2007.

SINGH, D. K.; TIRKEY, J. V. Modeling and multi-objective optimization of variable air gasification performance parameters using *Syzygium cumini* biomass by integrating ASPEN Plus with Response surface methodology (RSM). **International Journal of Hydrogen Energy**, v. 46, n. 36, p. 18816–18831, 2021.

SOARES, V.C.; BIANCHI, M. L.; TRUGILHO, P. F.; PEREIRA, A.; HÖFLER, J.. Correlações entre as propriedades da madeira e do carvão vegetal de híbridos de eucalipto. **Revista Arvore**, v. 38, n. 3, p. 543–549, 2014.

SOH, W.-K.; PARNELL, J. A revision of *Syzygium Gaertn.* (Myrtaceae) in Indochina. v. 37, n. 2, p. 179–276, 2015.

SUTAR, K. B.; KOHLI, S.; RAVI, M. R. Design, development and testing of small downdraft gasifiers for domestic cookstoves. **Energy**, v. 124, p. 447–460, 2017.

TOCANTINS. **Diagnóstico da arborização urbana de Palmas**. Disponível em: <<https://www.palmas.to.gov.br/portal/orgaos/fundacao-municipal-de-meio-ambiente/41/>>. Acesso em: 20 jun. 2020.

VENKATARAGHAVAN, R.; THIRUCHELVI, R.; SHARMILA, D. Statistical optimization of textile dye effluent adsorption by *Gracilaria edulis* using Plackett-Burman design and response surface methodology. **Heliyon**, v. 6, n. 10, p. e05219, 2020.

VIEIRA, E. L.. **Manual de fisiologia vegetal**, 2010.

VIOTTI, P. V.; MOREIRA, W. M.; SANTOS, O. A. A. DOS; BERGAMASCO, R.; VIEIRA, A. M. S.; VIEIRA, M. F.. Diclofenac removal from water by adsorption on *Moringa oleifera* pods and activated carbon: Mechanism, kinetic and equilibrium study. **Journal of Cleaner Production**, v. 219, p. 809–817, 2019.

YAMAN, E.; YARGIC, A. S.; OZBAY, N.; UZUN, B. B.; KALOGIANNIS, K. G.; STEFANIDIS, S. D.; PACHATOURIDOU, E. P.; ILIOPOULOU, E.F.; LAPPAS, A. A.. Catalytic upgrading of pyrolysis vapours: Effect of catalyst support and metal type on phenolic content of bio-oil. **Journal of Cleaner Production**, v. 185, p. 52–61, 1 jun. 2018.

YOUSAF, B.; LIU, G.; ABBAS, Q.; WANG, R.; UBAID ALI, M.; ULLAH, H.; LIU, R.; ZHOU, C.. Systematic investigation on combustion characteristics and emission-reduction mechanism of potentially toxic elements in biomass- and biochar-coal co-combustion systems. **Applied Energy**, v. 208, p. 142–157, 15 dez. 2017.