

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA  
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E ENGENHARIA DE  
MATERIAIS**

**ROGÉRIO DA SILVA CAMARGO**

**DESENVOLVIMENTO DE MATERIAL ADSORVENTE A PARTIR DO RESÍDUO DA  
CASCA DA ACÁCIA-NEGRA (*Acacia mearnsii* De Wild) PARA O  
BRANQUEAMENTO DE ÓLEO DE ARROZ**

**Bagé**

**2021**

**ROGÉRIO DA SILVA CAMARGO**

**DESENVOLVIMENTO DE MATERIAL ADSORVENTE DO RESÍDUO DA CASCA  
DA ACÁCIA-NEGRA (*Acacia mearnsii De Wild*) PARA O BRANQUEAMENTO DE  
ÓLEO DE ARROZ**

Defesa de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para obtenção do Título de Mestre em Ciência e Engenharia de Materiais.

Orientador: Prof. Dr. André Ricardo Felkl de Almeida

Coorientadora: Prof<sup>a</sup>. Dra. Valéria Terra Crexi.

**Bagé**

**2021**

Ficha catalográfica elaborada automaticamente com os dados fornecidos  
pelo(a) autor(a) através do Módulo de Biblioteca do Sistema GURI  
(Gestão Unificada de Recursos Institucionais).

C722d Camargo, Rogério da Silva

Desenvolvimento de material adsorvente a partir do resíduo da casca da acácia-negra (*Acacia mearnsii* De Wild) para o branqueamento de óleo de arroz / Rogério da Silva Camargo.

82 P.

Dissertação(Mestrado)-- Universidade Federal do Pampa, MESTRADO EM CIÊNCIA E ENGENHARIA DE MATERIAIS, 2021.

"Orientação: André Ricardo Felkl de Almeida".

1. Resíduo da acacicultura . 2. Adsorventes não convencionais . 3. Carvão ativado . 4. Clarificação. 5. Óleo vegetal. I. Título.

**ROGÉRIO DA SILVA CAMARGO**

**DESENVOLVIMENTO DE MATERIAL ADSORVENTE DO RESÍDUO DA CASCA DA ACÁCIA-  
NEGRA (*Acacia mearnsii De Wild*) PARA O BRANQUEAMENTO DE ÓLEO DE ARROZ**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para obtenção do Título de Mestre em Ciência e Engenharia de Materiais.

Dissertação defendida e aprovada em 22 de abril de 2021.

Banca examinadora:

---

Prof. Dr. André Ricardo Felkl de Almeida

Orientador

(UNIPAMPA)

---

Profa. Dra. Valéria Terra Crexi

Coorientadora

(UNIPAMPA)

---

Profa. Dra. Gabriela Silveira da Rosa  
(UNIPAMPA)

---

Prof. Dr. Lucas Meili  
(UFAL)

---



Assinado eletronicamente por **ANDRE RICARDO FELKL DE ALMEIDA, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 15/07/2021, às 15:52, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.

---



Assinado eletronicamente por **VALERIA TERRA CREXI, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 15/07/2021, às 15:57, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.

---



Assinado eletronicamente por **GABRIELA SILVEIRA DA ROSA, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 15/07/2021, às 16:24, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.

---



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [https://sei.unipampa.edu.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](https://sei.unipampa.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **0571157** e o código CRC **CC737730**.

---

## RESUMO

A acácia-negra (*Acacia mearnsii* De Wild) é uma espécie vegetal que se destaca economicamente no estado do Rio Grande do Sul. O seu cultivo está relacionado à extração da madeira e do tanino, atividades que geram elevada quantidade de resíduos sólidos, os quais acabam sendo destinados à compostagem ou dispostos em aterros. Também no estado do Rio Grande do Sul, o cultivo do arroz é uma atividade de destaque, representando cerca de 70 % de toda a produção nacional. No beneficiamento desse grão para a produção do arroz branco é gerado como resíduo o farelo, que é a matéria prima para a extração do óleo bruto de arroz. Contudo, o óleo bruto de arroz apresenta impurezas em sua composição, as quais devem ser removidas durante o refino. Entre as etapas do refino, tem-se o branqueamento, que tem por objetivo a retirada de compostos que afetam a cor e a qualidade do óleo de arroz, onde utiliza-se substâncias adsorventes como as terras ativadas e carvão ativado. Neste contexto, o objetivo do presente trabalho foi a produção de adsorventes a partir do resíduo da casca da acácia-negra moída e seca, tratada quimicamente com NaOH e modificada para carvão ativado através da pirólise em atmosfera de nitrogênio, os quais foram aplicados no processo de branqueamento do óleo de arroz neutralizado. Os adsorventes produzidos foram caracterizados quanto a massa específica real e *bulk*, diâmetro de partícula, porosidade do leito de partículas, análise imediata (teor de umidade, cinzas, voláteis e carbono fixo), TGA, DRX e área superficial específica (BET). O óleo neutralizado e os óleos branqueados foram caracterizados quanto aos teores de peróxidos, de acidez, de carotenoides, de cor e de  $\gamma$ -orizanol. Como resultados, as caracterizações por TGA e DRX demonstraram que tanto o NaOH quanto a pirólise causaram a degradação da hemicelulose e celulose da casca de acácia, ocasionando uma estrutura mais amorfa. Os tratamentos também reduziram o diâmetro de partícula de 121,7  $\mu\text{m}$  para a casca in natura para 41,7  $\mu\text{m}$  para o carvão ativado produzido. A área superficial específica obtida para o carvão ativado foi de 204,9  $\text{m}^2/\text{g}$ . Quanto ao teor de carbono fixo, observou-se um aumento de 9,89% da casca de acácia moída e seca para 39,97% para o carvão ativado. Verificou-se que nos ensaios de branqueamento, todos os adsorventes produzidos

apresentaram redução para o percentual de peróxidos, de acidez, de carotenoides, de  $\gamma$ -orizanol e de cor. A casca de acácia ativada com NaOH foi o adsorvente que obteve o maior percentual de redução para carotenoides (69,43%), acidez (19,80%) e cor, apresentando a menor perda para o teor de  $\gamma$ -orizanol (17,5%). Quanto ao índice de peróxido, o carvão produzido foi o que proporcionou maior percentual de redução dentre os adsorventes testados (43,04%). A partir dos resultados obtidos, conclui-se que o resíduo da casca de acácia-negra proveniente da extração de taninos apresenta características favoráveis para ser usado como matéria prima na produção de material adsorvente a ser utilizado na etapa do branqueamento do óleo de arroz.

Palavras-chave: Resíduo da acacicultura. Adsorventes não convencionais. Carvão ativado. Clarificação. Óleo vegetal.

## ABSTRACT

Black wattle (*Acacia mearnsii* De Wild) is a plant species that stands out economically in the state of Rio Grande do Sul. Its cultivation is related to the extraction of wood and tannin, activities that generate a high amount of solid waste, which end up being destined for composting or disposed of in landfills. Also in the state of Rio Grande do Sul, rice cultivation is a prominent activity, representing about 70% of all national production. In the processing of this grain for the production of white rice, bran is generated as a residue, which is the raw material for the extraction of crude rice oil. However, crude rice oil has impurities in its composition, which must be removed during refining. Among the refining steps, there is bleaching, which aims to remove compounds that affect the color and quality of rice oil, where adsorbent substances such as activated earth and activated carbon are used. In this context, the objective of the present work was the production of adsorbents from the ground and dried black wattle bark residue, chemically treated with NaOH and modified to activated carbon through pyrolysis in a nitrogen atmosphere, which were applied in the process bleaching of neutralized rice oil. The adsorbents produced were characterized in terms of real density and bulk, particle diameter, porosity of the particle bed, immediate analysis (moisture content, ash, volatiles and fixed carbon), TGA, DRX and specific surface area (BET). The neutralized oil and bleached oils were characterized in terms of peroxides, acidity, carotenoids, color and  $\gamma$ -oryzanol. As a result, the characterizations by TGA and DRX demonstrated that both NaOH and pyrolysis caused the degradation of hemicellulose and cellulose of the acacia bark, causing a more amorphous structure. The treatments also reduced the particle diameter from 121.7  $\mu\text{m}$  for the fresh shell to 41.7  $\mu\text{m}$  for the activated carbon produced. The specific surface area obtained for activated carbon was 204.9  $\text{m}^2 / \text{g}$ . As for the fixed carbon content, there was an increase of 9.89% in the ground and dried acacia bark to 39.97% for activated carbon. It was found that in the bleaching tests, all the adsorbents produced showed a reduction for the percentage of peroxides, acidity, carotenoids,  $\gamma$ -oryzanol and color. Acacia bark activated with NaOH was the adsorbent that obtained the highest percentage of reduction for carotenoids (69.43%), acidity (19.80%) and

color, with the lowest loss for the content of  $\gamma$ -oryzanol (17, 5%). As for the peroxide index, the coal produced was the one that provided the highest percentage of reduction among the tested adsorbents (43.04%). From the results obtained, it is concluded that the residue of the black wattle bark from the extraction of tannins has favorable characteristics to be used as raw material in the production of adsorbent material to be used in the bleaching stage of rice oil.

Keywords: Residue from acaculture. Non-conventional adsorbents. Activated charcoal. Clarification. Vegetable oil.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - <i>Acacia mearnsii</i> De Wild. ....	20
Figura 2 - Distribuição espacial da Acácia-negra no RS .....	22
Figura 3 - Estrutura do grão de arroz .....	24
Figura 4 - Produção de arroz no Brasil.....	25
Figura 5 - Mapa orizícola do Estado do Rio Grande do Sul .....	26
Figura 6 - Fluxograma típico do refino do óleo de arroz.....	28
Figura 7 - Etapas do branqueamento do óleo vegetal.....	31
Figura 8 - Ilustração do processo de adsorção. ....	32

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Diferenças entre quimissorção e fisissorção. ....	33
Quadro 2 - Estudos realizados com o princípio da técnica de adsorção. ....	35

## **LISTA DE SIGLAS**

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento Brasileiro.

DRX- Difractometria de raios-X.

SETA - Sociedade Extrativa Tanino de Acácia.

TGA - Análise termogravimétrica.

UNIPAMPA - Universidade Federal do Pampa.

## LISTA DE SIMBOLOS

$S$  - Área superficial específica

$q_{max}$  - Capacidade máxima de adsorção do material

$C_e$  - Concentração do adsorvato em equilíbrio na solução

$C_f$  - Concentração final da solução

$C_0$  - Concentração inicial da solução

$d_{ps}$  - Diâmetro de partícula

$d_p$  - Diâmetro médio de poros

$m_{ad}$  - Massa do adsorvente

$\rho_b$  - Massa específica *bulk*

$m_i$  - Massa inicial

$m_f$  - Massa final

$\rho_r$  - Massa específica real

$\mathcal{E}$  - Porosidade do leito de partículas

$t$  - Tempo

$V$  - Volume da solução

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>15</b>
<b>2 OBJETIVOS.....</b>	<b>18</b>
<b>2.1 Objetivo geral .....</b>	<b>18</b>
<b>2.2 Objetivos específicos.....</b>	<b>18</b>
<b>3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>19</b>
<b>3.1 <i>Acacia mearnsii</i> De Wild.....</b>	<b>19</b>
<b>3.2 Arroz (<i>Oryza sativa</i> L.) .....</b>	<b>23</b>
<b>3.3 Óleo de arroz e o processo de branqueamento .....</b>	<b>27</b>
<b>3.4 Adsorção.....</b>	<b>28</b>
<b>3.5 Materiais adsorventes.....</b>	<b>29</b>
<b>4 ARTIGO .....</b>	<b>39</b>
<b>5 CONCLUSÕES GERAIS DA DISSERTAÇÃO .....</b>	<b>69</b>
<b>6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....</b>	<b>70</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>71</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A *Acacia mearnsii* De Wild, popularmente conhecida por acácia-negra, é uma espécie arbórea nativa do sudeste australiano e pertencente à família Fabaceae. No Brasil, seu cultivo concentra-se no estado do Rio Grande do Sul, onde ocupa a terceira maior área entre as espécies florestais cultivadas, o que torna seu cultivo uma importante atividade econômica no estado, beneficiando cerca de 40 municípios e diversas famílias (SCHNEIDER; TONINI, 2003; AGEFLOR, 2016; SEAPDR, 2019).

As áreas cultivadas com acácia-negra encontram-se predominantemente na metade sul do Rio Grande do Sul, onde a espécie apresenta rápido crescimento e adapta-se facilmente ao solo, atingindo a maturidade aos sete anos. No entanto, devido à alta demanda de casca e madeira, os cortes ocorrem aos cinco anos de cultivo (HIGA *et al.*, 2009; ALNEI, 2019).

O valor econômico dessa espécie florestal está relacionado à extração da madeira e produção de taninos. A madeira da acácia-negra é utilizada na indústria de celulose, como madeira aglomerada e como lenha para secagem de grãos, fumo, como fonte de energia para padarias, olarias e para a produção de carvão vegetal. Já a casca do tronco da acácia-negra é utilizada como matéria-prima para a produção de tanino (MORA, 2002; KRISNAWATI; KALLIO; KANNINEN, 2011).

Os taninos extraídos da casca também tem diversificada utilização, onde dá-se destaque ao seu emprego no curtimento de couro e também como corante, inibidor de corrosão, facilitador do fluxo de líquidos em canos, produtos farmacêuticos, adesivo para madeira compensada e no tratamento e purificação da água (SEIGLER, 2002; RACHWAL; CURCIO; DEDECEK 2008; HOONG *et al.* 2009; MENDOZA *et al.*, 2017).

A produção de taninos no estado do Rio Grande do Sul deve-se a duas grandes indústrias instaladas no território gaúcho, que juntas abastecem a totalidade do mercado brasileiro e geram excedentes para exportação. No entanto, esta atividade industrial acaba por gerar uma enorme quantidade de resíduos da casca da acácia-negra, sendo grande parte deste material destinado à compostagem ou disposto em aterros. Somente no ano de 2018, foram produzidos cerca de 145mil toneladas de casca de acácia negra (AGEFLOR 2016; IBGE 2018).

Outra atividade econômica de grande importância desenvolvida no estado do Rio Grande do Sul é a produção do arroz (*Oryza sativa*). De acordo com o Instituto Riograndense do Arroz - IRGA (2021) o Rio Grande do Sul é responsável por 70 % da produção Nacional deste grão. O beneficiamento do arroz para a produção do arroz branco é composto por diversas etapas, as quais visam a retirada da casca e do farelo do arroz. O farelo de arroz é considerado um subproduto da indústria, e possui baixo valor agregado. No entanto, é composto em sua maior quantidade por óleo (15-20%), motivo pelo qual é utilizado para a extração do óleo de arroz (PESTANA, 2007; ABOISSA, 2013; AGÊNCIA EMBRAPA DE INFORMAÇÃO TECNOLÓGICA 2014).

O óleo bruto extraído do farelo de arroz apresenta impurezas em sua composição, ou seja, compostos que são indesejáveis. Dentre esses compostos tem-se peróxidos, compostos secundários de oxidação, ácidos graxos livres, pigmentos e resíduos remanescentes do processo de extração, os quais interferem negativamente na cor e estabilidade oxidativa do óleo. Desta forma, faz-se necessário o refino do óleo de arroz, que tem como objetivo principal transformar o óleo bruto em um óleo comestível, agradável sensorialmente e estável ao armazenamento (SOUSA JUNIOR, 2011; BRUSCATTO *et al.*, 2012).

Dentre as etapas do refino, o branqueamento consiste na remoção dos compostos indesejáveis, onde utiliza-se substâncias adsorventes para essa remoção. Os principais adsorventes empregados comercialmente são as terras ativadas e o carvão ativado (MANDARINO; ROESSING, 2001; SABAH, 2007). Ao longo dos anos, a bibliografia vem mostrando que numerosos estudos são desenvolvidos afim de investigar a utilização de materiais provenientes de outras fontes alternativas às convencionais em processos adsorventes, com a finalidade de reaproveitar resíduos industriais e diminuir o impacto ambiental (CRINE, 2006; AHMARUZZAMAN, 2008; GUTERRES, 2019; SILVA *et al.*, 2020).

A remoção dos compostos indesejáveis do óleo de arroz durante o branqueamento ocorre pela operação unitária de adsorção, que é um fenômeno de transferência de massa (CREMASCO, 2012). A adsorção consiste em um fenômeno de superfície, onde os componentes a serem removidos do óleo (chamados de adsorvato) são transferidos para a superfície dos poros dos materiais adsorventes. Tal

transferência decorre do fato de existir forças atrativas não compensadas na superfície do adsorvente, podendo esta ser de origem física ou química, dependendo da força da adsorção (WEBER, 1972).

Assim, o presente trabalho buscou desenvolver materiais adsorventes a partir do resíduo da casca da acácia negra moída e seca tratada com NaOH e transformada para carvão ativado, afim de empregá-los na etapa do branqueamento do óleo de arroz.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 Objetivo geral

O presente trabalho teve como objetivo geral a produção de materiais adsorventes a partir do resíduo da casca da acácia-negra (*Acacia mearnsii De Wild*) proveniente da extração de taninos, para serem utilizados na etapa do branqueamento do óleo de arroz.

### 2.2 Objetivos específicos

- a) Produção dos materiais adsorventes moído e seco, tratado quimicamente com NaOH e modificado para carvão ativado.
- b) Caracterização física e físico-química dos materiais adsorventes moído e seco, tratado quimicamente com NaOH e do carvão ativado por meio da determinação da massa específica real e *bulk*, diâmetro de partícula, porosidade do leito de partículas, análise imediata (teor de umidade, cinzas, voláteis e carbono fixo), análise termogravimétrica (TGA), área superficial específica (BET) e Difratomia de raios-X (DRX).
- c) Branqueamento do óleo de arroz neutralizado utilizando os adsorventes produzidos.
- d) Avaliação do potencial de adsorção dos adsorventes produzidos por análise dos compostos de oxidação (peróxidos), acidez, carotenoides,  $\gamma$ -orizanol e cor do óleo de arroz neutralizado e branqueado.
- e) Compilar os resultados obtidos em um artigo científico para ser submetidos em revistas indexadas.

### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 *Acacia mearnsii* De Wild

A *Acacia mearnsii* De Wild, popularmente conhecida no Brasil por acácia-negra, é uma espécie nativa do sudeste australiano, e sua descrição foi realizada em 1925, pelo belga Joseph Auguste De Wildeman, tendo como base uma árvore cultivada perto da cidade de Thika no Quênia, onde julgava, de forma errônea, ser uma planta nativa daquele local. Mais tarde a espécie recebeu seu nome botânico em honra ao coletor deste tipo de espécime, o cirurgião norte-americano A. R. Mearns (BOLAND *et al.* 1984).

A *Acacia mearnsii* De Wild, é uma espécie arbórea pertencente à família Fabaceae, subfamília *Mimosoideae* e gênero *Acacia*. O gênero *Acacia* compreende aproximadamente 1350 espécies, as quais estão ordenadas em três subgêneros: subgênero *Acacia*, com cerca de 160 espécies; subgênero *Aculeiferum*, que compreende em torno de 203 espécies e o subgênero *Phyllodineae*, que abrange aproximadamente 960 espécies, no qual encontra-se a espécie *Acaciamearnsii* De Wildeman (MASLIN, 2002).

Segundo Boland *et al.* (1984), ao descrever as características morfológicas desta espécie, afirmam que a mesma pode atingir até 15 metros de altura, cujo caule principal geralmente é reto e dominante em sua maior parte. Já sua casca pode variar de preta-amarronzada, dura e fissurada para arvores adultas à uma coloração mais clara com casca fina e lisa para árvores mais jovens. Quanto a folhagem, os autores descrevem como sendo de cor verde escura (daí o nome de acácia-negra) com brotos novos suavemente amarelos.

Na Figura 1 pode-se observar os detalhes das folhas (A), das flores (B) e do tronco (C) da acácia-negra da espécie *Acacia mearnsii* De Wild.

Figura 1 – *Acacia mearnsii* De Wild.



Fonte: Lopes (2016)

Antes mesmo de sua descrição e classificação botânica, a acácia-negra já se difundia pelo mundo. Por volta de 1964, foi levada da Austrália para a África do Sul. Posteriormente, esta espécie foi introduzida na Indonésia, e Sri Lanka em 1980. Devido a seu rápido crescimento, sua utilização inicial nestes países era para sombreamento, quebra-vento e lenha para fazendas. Já no século XX, a acácia-negra começou a ter sua casca empregada como substância tanante para o curtimento do couro (MIDGLEY, TURNBULL 2003).

Atualmente, a acácia-negra pode ser encontrada em aproximadamente 48 países (ATTIAS; SIQUEIRA; BERGALLO, 2013), onde seu cultivo está sempre relacionado a extração da madeira e produção de taninos. Segundo Sherry (1971), a madeira da acácia-negra era utilizada inicialmente como cercas, lenha, toras para construções, escora de minas, produção de carvão e assoalhos. No entanto, nas últimas décadas a madeira da acácia ganhou importância como matéria prima para fabricação de celulose, além de ser utilizada como madeira aglomerada, lenha para secagem de grãos, fumo, como fonte de energia para padarias, olarias e para a produção de carvão vegetal. Já a casca do tronco da acácia-negra é utilizada como matéria-prima para a produção de tanino (SCHNEIDER *et al.*, 1999; DUNLOP; GOODRICKE; CLARKE 2000; MORA, 2002).

Os taninos extraídos da casca da acácia-negra tem seu emprego primário na indústria coureira, para o curtimento de couros e peles, uma vez que são substâncias

capazes de precipitar proteínas, e atuam transformando a pele em material estável e imputrescível, permitindo maior resistência do couro frente às abrasões (SHREVE; BRINCK JÚNIOR 1980). Ademais, os taninos também são utilizados como corante, inibidor de corrosão, facilitador do fluxo de líquidos em canos, produto farmacêutico, adesivo para madeira compensada e no tratamento e purificação da água (SEIGLER 2002, RACHWAL; CURCIO; DEDECEK 2008, HOONG *et al.* 2009).

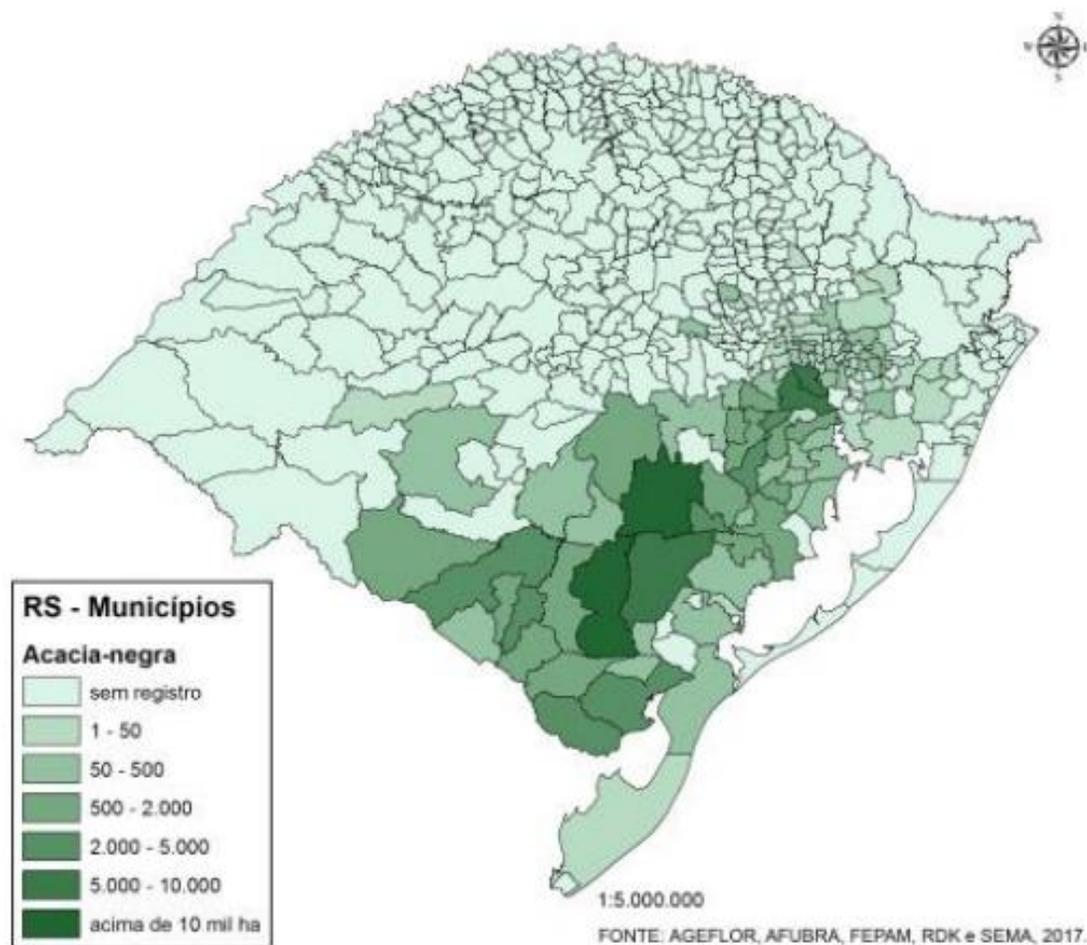
Os taninos presentes na casca da acácia-negra representam em torno de 35 a 45% do seu peso, motivo pelo qual esta espécie é uma das fontes de tanino vegetal mais importantes do mundo (SIMON, 2005 *apud* HIGA *et al.*, 2009; GONÇALVES; LELIS, 2009). Atualmente, os maiores plantios de acácia-negra para a produção de tanino comercial estão concentrados no Brasil e na África do Sul, que juntos, são responsáveis por 89% da produção mundial de tanino (SEIGLER, 2002; GRIFFIN *et al.*, 2011).

No Brasil, o cultivo da acácia-negra concentra-se principalmente no estado do Rio Grande do Sul (AGEFLOR, 2016). As primeiras mudas desta espécie foram plantadas em 1918 pelo então diretor da Companhia Geral de Industrias Alexandre Bleckmann no município de São Leopoldo. Os primeiros plantios comerciais tiveram início em 1930 no município de Estrela, com a importação de 30 kg de semente da África do Sul, e acredita-se que todas as sementes utilizadas em plantios realizados até meados dos anos 80 tenham sido originadas desse material (OLIVEIRA, 1968 *apud* HIGA *et al.*, 2009; SCHENEIDER; TONINI, 2003).

A acácia-negra adaptou-se muito bem ao clima e solo gaúcho, onde apresenta ciclo curto, com colheitas em torno do sétimo ano de idade. No entanto, devido à grande demanda de madeira e casca, ou pelo fato de necessidade financeira dos agricultores, os cortes das plantações ocorrem a partir do quinto ano (HIGA *et al.*, 2009). Nos dias atuais, a acácia-negra é a terceira espécie florestal de maior plantio no estado do Rio Grande do Sul, ficando atrás apenas de espécies dos gêneros *Eucalyptus* e *Pinus* (MORA, 2002).

A localização das áreas plantadas com acácia-negra no estado do Rio Grande do Sul pode ser observada na Figura 2, que demonstra que o cultivo desta espécie predomina na metade sul do estado.

Figura 2 - Distribuição espacial da Acácia-negra no RS



Fonte: Ageflor (2017).

A acacicultura no estado do Rio Grande do Sul tem grande importância econômica e social, pois grande parte dos plantios encontram-se nas propriedades de pequenos e médio agricultores. Atualmente, cerca de 40 mil famílias tem como renda principal os recursos obtidos do plantio, colheita, transporte, produção e venda dos produtos oriundos da acácia-negra (AGEFLOR, 2016; SEAPDR, 2019).

O cultivo desta espécie no estado do Rio Grande do Sul, é impulsionada por duas grandes indústrias produtoras de tanino instaladas em solo gaúcho. A SETA - Sociedade Extrativa Tanino de Acácia Ltda. Localizada no município de Estância Velha, e a TANAC S.A, localizada no município de Monte Negro. Juntas, as empresas gaúchas são responsáveis por abastecer a totalidade do mercado brasileiro, além de

gerar excedentes para exportação, que representam cerca de 43% do mercado internacional (MORA, 2002).

No entanto, esta atividade industrial acaba por gerar uma enorme quantidade de resíduos da casca da acácia-negra, seja pela extração de taninos, ou pela sua colheita, onde grande parte deste resíduo é destinado à compostagem ou disposto em aterros. Somente no ano de 2018, foram produzidas cerca de 145 mil toneladas de casca de acácia negra (AGEFLOR 2016; IBGE 2018).

Diante da grande quantidade de resíduo gerado a partir da produção de taninos no estado do Rio Grande do Sul, surge a possibilidade de investigar um potencial uso para este resíduo em processos adsortivos, e saber se o mesmo pode servir como precursor para a produção de carvão ativado. Mais especificamente, o seu uso no processo adsortivo do branqueamento do óleo de arroz.

### **3.2 Arroz (*Oryza sativa L.*)**

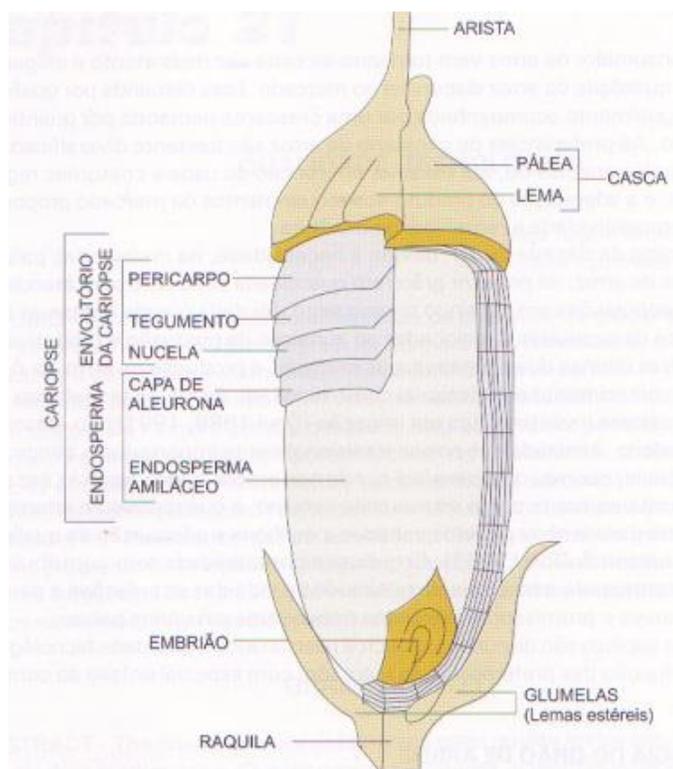
O arroz (*Oryza sativa L.*) é um dos cereais mais abundante e antigo existente no planeta, não apresentando relatos concretos e precisos sobre o começo de seu cultivo. Acredita-se, que sua origem se deu no sudeste da Ásia, incluído assim, a China, a Índia e a Indonésia, países que hoje são os maiores produtores de arroz do planeta, e contribuem para que o continente asiático tenha uma produção equivalente a 90% da total mundial (BASSINELLO; CASTRO, 2004; AGÊNCIA EMBRAPA DE INFORMAÇÃO TECNOLÓGICA, 2017).

O arroz é uma planta pertencente à família das gramíneas, do gênero *Oryza*, e espécie *Oryza sativa L.* (JULIANO, 1993). Segundo Fonseca *et al.* (2008), a planta é constituída por órgãos vegetativos, que são as raízes, os colmos (caule) e as folhas, e os órgãos florais, que compreendem a panícula, constituída por um conjunto de espiguetas, onde se encontram os grãos de arroz.

Ainda segundo Fonseca *et al.* (2008), o grão de arroz consiste em um endosperma amiláceo, o qual está protegido por um envoltório chamado cariopse, que por sua vez está recoberto por uma camada protetora chamada de casca. O endosperma amiláceo forma a maior parte do grão, sendo o produto consumido na

forma de arroz branco. A cariopse é formada por diferentes camadas, sendo o pericarpo, tegumento, nucela e a camada de aleurona, os quais são retiradas em forma de farelo para obtenção do arroz branco. Quanto a casca, esta consiste em duas folhas que recobrem o grão de arroz, chamadas de pálea e lema. Na Figura 3 pode ser observado a estrutura do grão de arroz.

Figura 3 - Estrutura do grão de arroz



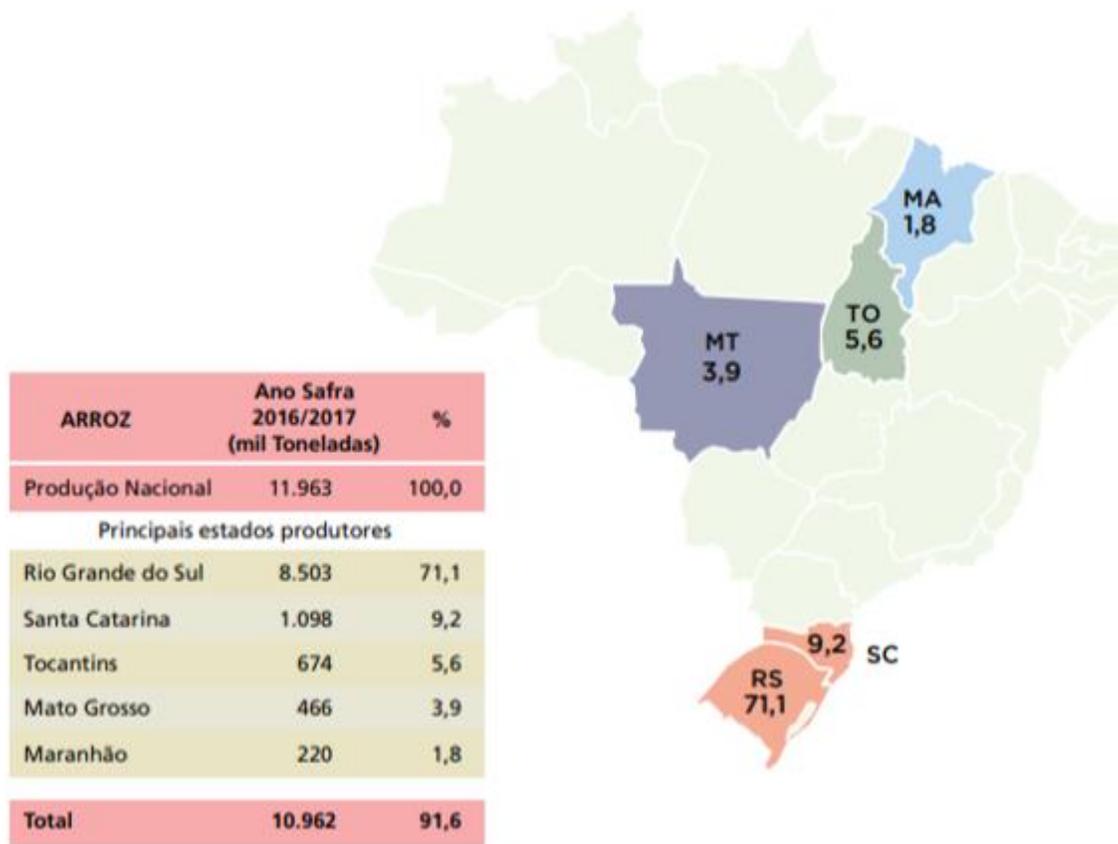
Fonte: Fonseca *et al.* (2008)

No Brasil, o arroz foi introduzido no período da colonização, por volta de 1540, na região da Capitania de São Vicente, território que se estendia da margem do rio São Francisco do Sul à ilha de Santo Amaro (atual Guarujá). Mais tarde, espalhou-se por outras regiões do litoral, hoje demarcadas dentro do estado de São Paulo, sempre em pequenas lavouras de subsistência (PEREIRA, 2002). Atualmente, o Brasil produz arroz em grande escala, e ocupa uma posição de destaque no cenário internacional, sendo o 9º maior produtor mundial (AGÊNCIA EMBRAPA DE INFORMAÇÃO TECNOLÓGICA 2017).

Quanto ao cultivo de arroz no Brasil, o estado do Rio Grande do Sul destaca-se entre os maiores produtores deste cereal (TAVARES, 2019). A cultura do arroz foi instalada em solo gaúcho por volta de 1820, e foi no município de Pelotas, em 1904, que surgiu a primeira lavoura empresarial, já então irrigada. Posteriormente, a cultura chegou ao município de Cachoeira do Sul, e acabou se difundindo no estado a partir de 1912, graças a veículos movidos a vapor, que acionavam bombas de irrigação (PEREIRA, 2002).

Segundo Tavares (2019), o estado do Rio Grande do Sul é o maior produtor de arroz do Brasil, com cerca de 1,077 milhões de hectares cultivados e uma safra de aproximadamente 8,5 milhões de toneladas em 2016/17, o que representa cerca de 70% da produção nacional. O mapa da produção de arroz no Brasil pode ser observado na Figura 4.

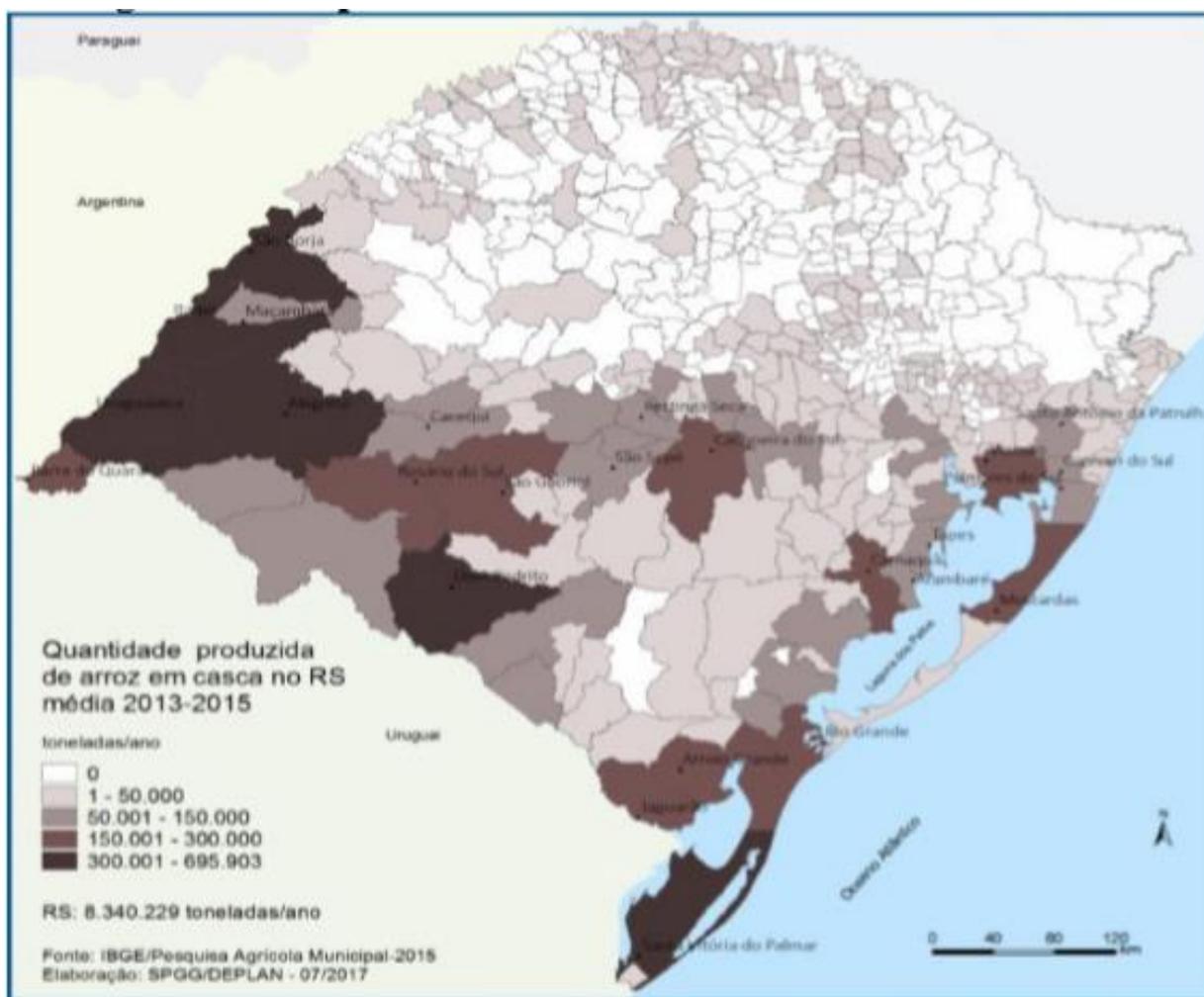
Figura 4 – Mapa da produção de arroz no Brasil.



Fonte: Brasil (2017).

Atualmente no estado do Rio Grande do Sul, os grandes produtores de arroz são os municípios de Uruguaiana, Itaqui e Santa Vitoria do Palmar, que juntos, são responsáveis por 22% da produção total do estado (SECRETARIA DE PLANEJAMENTO, GOVERNANÇA E GESTÃO 2018). O cultivo de arroz no estado gaúcho está localizado principalmente na metade sul, conforme pode ser observado na Figura 5.

Figura 5 - Mapa orizícola do Estado do Rio Grande do Sul



Fonte: Secretaria de planejamento governança e gestão (2018)

Após a colheita, praticamente toda produção gaúcha é beneficiada no próprio estado, que abriga aproximadamente 270 (duzentos e setenta) empresas de

beneficiamento de arroz, as quais encontram-se espalhadas em todas as regiões orizícolas. O beneficiamento do arroz para a produção do arroz branco é composto por diversas etapas, as quais visam a retirada da casca e do farelo do arroz, transformando assim, a produção em grãos beneficiados para o consumo humano (AYRES *et al.*, 2011 *apud* MURARO; CAMELO; DENIS, 2018).

Segundo Lorenzetti, Neuhaus e Schwab (2012), em uma indústria de beneficiamento, os resíduos totais representam aproximadamente 35% do peso inicial do arroz, sendo a casca responsável por 20%, enquanto o farelo e os grãos quebrados representam 10% e 5% respectivamente. Dentre estes subprodutos industriais, O farelo de arroz possui baixo valor agregado. Porém, é composto por uma expressiva quantidade de óleo (15-20%), motivo pelo qual é utilizado para a extração do óleo de arroz (PESTANA, 2007; AGÊNCIA EMBRAPA DE INFORMAÇÃO TECNOLÓGICA, 2014; ABOISSA, 2019).

Tendo em vista o grande potencial econômico representado pela produção de arroz no estado do Rio Grande do Sul, aliado a uma significativa quantidade de óleo presente no farelo de arroz, faz-se necessário o desenvolvimento de tecnologias que supram necessidades e facilitem a produção do óleo de arroz.

### **3.3 Óleo de arroz e o processo de branqueamento**

Segundo a ANVISA (1999), entende-se por óleo de arroz, o óleo comestível obtido do farelo de arroz através de processos tecnológicos adequados. Neste sentido, o óleo de arroz apresenta grande potencial no estado do Rio Grande do Sul, uma vez, que abriga no município de Pelotas, tecnologia de produção e industrialização do óleo de arroz, através da Irgovel Indústria Riograndense De Óleos Vegetais Ltda. Empresa que é pioneira e única fabricante de óleo de arroz comestível no Brasil (IRGOVEL, 2020).

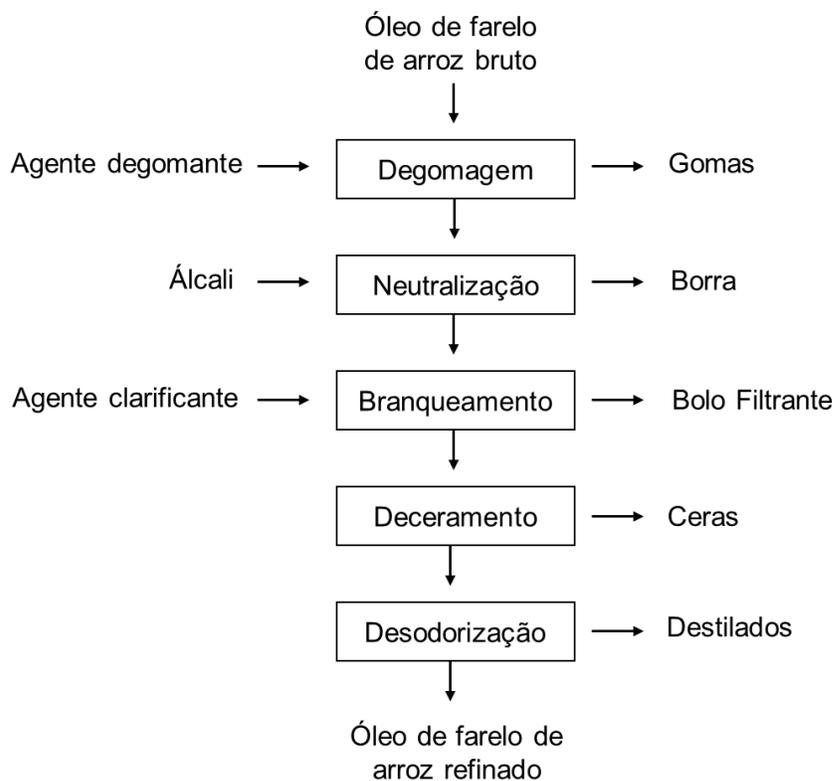
A indústria riograndense de óleos vegetais, conta com um parque industrial que ocupa uma área de 50.000 (cinquenta mil) metros quadrados, e tem capacidade para processar 60.000 (sessenta mil) toneladas/ano de farelo de arroz. A empresa também

é uma tradicional exportadora de óleo de arroz para os países da União Européia, Ásia e Mercosul (IRGOVEL, 2020).

Assim, para que o óleo de arroz possa ser destinado ao consumo humano, é necessário a realização do seu refino, para a retirada de impurezas que se encontram presentes no óleo bruto extraído do farelo de arroz. Dentre estas impurezas, tem-se os peróxidos, compostos secundários de oxidação, ácidos graxos livres, pigmentos e resíduos remanescentes do processo de extração, os quais interferem negativamente na cor e estabilidade oxidativa do óleo (SOUSA JUNIOR, 2011; BRUSCATTO *et al.*, 2012).

Desta forma, faz-se necessário o refino do óleo de arroz, que tem como objetivo principal transformar o óleo bruto em um óleo comestível, agradável sensorialmente e estável ao armazenamento (SOUSA JUNIOR, 2011; BRUSCATTO *et al.*, 2012). As etapas típicas do refino do óleo de arroz podem ser observadas no diagrama de blocos da Figura 6.

Figura 6 - Fluxograma típico do refino do óleo de arroz.



Fonte: Pestana (2007)

Dentre as etapas do refino, a degomagem é a primeira a ser realizada, e tem como objetivo remover os fosfolipídios presentes no óleo bruto de arroz. Os fosfolipídios são excelentes agentes emulsificantes, e aumentam as perdas de óleo durante as etapas de refino. Assim, afim de reduzir tais perdas, a degomagem deve ser realizada antes da etapa de neutralização do óleo de arroz (REDMER, 2008; PESTANA, 2007). O processo de degomagem consiste em hidratar os fosfolipídeos a fim de reduzir sua solubilidade no óleo, e assim, facilitar a sua remoção junto com a fase aquosa (BLOCK; ARELLANO, 2009).

Já a etapa de neutralização, tem como objetivo a remoção dos ácidos graxos livres e demais impurezas presentes no óleo, como ácidos graxos oxidados. Desta forma, a etapa de neutralização diminui a susceptibilidade do óleo à rancificação bem como a alterações de cor (MANDARINO; ROESSING 2001; PESTANA, 2007). A remoção destes compostos se dá pela utilização de uma solução alcalina, sendo o hidróxido de sódio o álcali mais utilizado atualmente, que reagirá com os ácidos graxo livres produzindo sabão e água (SOARES, 2004).

Quanto a etapa do branqueamento, esta tem por objetivo a remoção de compostos que atribuem cor ao óleo (clorofila e carotenoides) e de produtos de oxidação (peróxidos e hidroperóxidos), através da utilização de materiais adsorventes como terras ativadas e carvão ativado (MANDARINO; ROESSING, 2001). Além disso, o branqueamento pode corrigir eventuais falhas que ocorram durante as etapas de degomagem e neutralização, como a retirada de fosfolipídios, ácidos graxos livres, sabões e traços de metais (ABOISSA, 2019). O branqueamento de óleos vegetais é uma etapa importante para as indústrias, pois busca atender as exigências do consumidor por um óleo translucido e de boa aparência, uma vez que os óleos vegetais comestíveis são apresentados ao consumidor em embalagens transparentes, o que exige uma padronização de cor para sua boa aceitação (OLIVEIRA, 2001).

Neste sentido, a etapa do branqueamento busca a remoção de pigmentos naturalmente presentes no óleo bruto, como a clorofila e os carotenoides. As clorofilas são compostos fotossensíveis que, uma vez degradadas, ocasionam a oxidação do óleo, tornando-o impróprio para o consumo. Já os carotenoides, são compostos que conferem a coloração ao óleo, não interferindo na oxidação do mesmo. No entanto, a

remoção dos carotenoides se faz necessário basicamente para a adequação do produto as características organolépticas preconizadas pelo mercado (PATRICIO; HOTZA; NONI JÚNIOR, 2014).

Segundo Orthofer (1996), além da clorofila e dos carotenoides, o óleo bruto de arroz apresenta alto teor de ácidos graxos livres, ceras e matéria insaponificável, o que lhe confere uma coloração anômala, variando de marrom esverdeado escuro para uma coloração amarelo claro. Desta forma, a etapa do branqueamento é realizada até que se atinja uma cor aceitável, empregando-se na clarificação materiais adsorventes como silicatos hidratados de alumínio (Terras de Fuller), silicato de magnésio, terras diatomáceas, argilas ácido-ativadas (bentonitas e montmorinólitas tratadas com ácido sulfúrico ou clorídrico), sílica e carvões ativos (D'ARCE, 2006). No entanto, alguns destes adsorventes apresentam problemas com relação a seu custo e posterior descarte, o que justifica o estudo sobre um adsorvente alternativo.

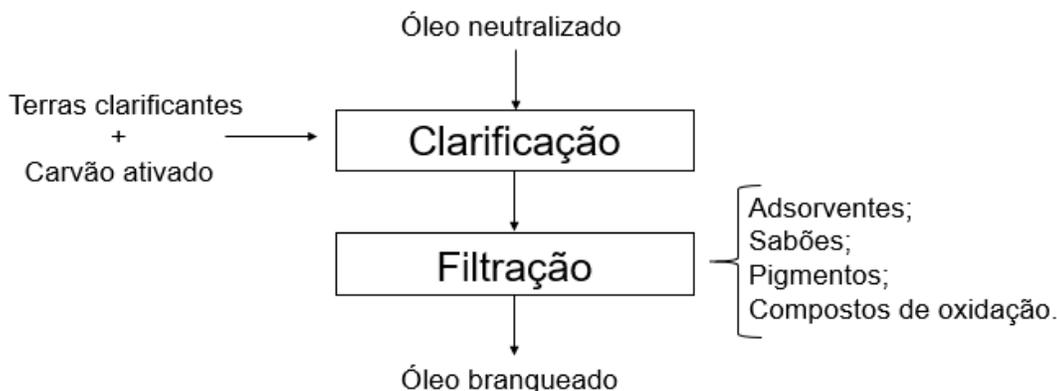
O emprego de materiais adsorventes na etapa de clarificação, faz com que os compostos indesejáveis presentes no óleo de arroz sejam transferidos para a superfície dos poros dos adsorventes, o que ocorre devido a um fenômeno de transferência de massa, conhecido como adsorção (D'ARCE, 2006; CREMASCO, 2012).

Segundo Mandarino e Roessing (2001), o branqueamento de óleos vegetais consiste em duas etapas, sendo a primeira denominada de clarificação e a segunda de filtração. Na clarificação, o material adsorvente fica em contato com o óleo durante um determinado período de tempo, sob condições de agitação, aquecimento e vácuo, sendo estas variáveis dependentes das características do óleo a ser branqueado. Já a filtração, consiste no processo pelo qual o material adsorvente utilizado na clarificação é separado do óleo. Ainda segundo esses autores, o tempo de contato entre o adsorvente e o óleo varia de 20 a 40 min., com temperatura típica na faixa de 80 a 120 °C. Já a quantidade de adsorvente utilizado depende tanto do processo quanto do óleo, podendo variar entre 0,25 e 2%. Quanto da separação do material adsorvente do óleo de arroz, a bibliografia demonstra que pode ser realizado por filtração à vácuo, utilizando como meio filtrante uma pré-capa com terra diatomácea, ou por centrifugação, com rotações que variam de 3300 a 7000 rpm entre 5 a 10 min.

(PAUCAR-MENACHO *et al.*, 2007; STRIEDER *et al.*, 2017; SILVA; SANTOS; JULIANO, 2018).

Um fluxograma do processo de clarificação e filtração de um óleo vegetal pode ser observado é na Figura 7.

Figura 7 - Etapas do branqueamento do óleo vegetal



Fonte: Adaptado de Mandarin; Roessing (2001)

A etapa seguinte é denominada deceramento, operação na qual ocorre a retirada de álcoois monohidroxílicos de longa cadeia hidrocarbonada, chamados de ceras. Segundo Pinheiro *et al.* (2016), não são em todos os tipos de óleos que as ceras são encontradas, e quando presentes, encontram-se em pequenas quantidades, motivo pelo qual, não se faz necessária uma etapa exclusiva para sua remoção durante o refino. Porém, para óleos como o de arroz, girassol e de milho, o deceramento é necessário a fim de evitar que estes se tornem turvos. Para remoção, realiza-se um resfriamento para que aconteça a precipitação das ceras, e estas possam ser removidas por filtração ou centrifugação, de modo que o óleo resultante apresente um aspecto límpido e claro (PESTANA, 2007).

A última etapa consiste no processo de desodorização, que visa a retirada de compostos que podem atribuir odores e sabores indesejáveis ao óleo, podendo ter origem de substâncias advindas do armazenamento ou processamento como aldeídos, cetonas, ácidos graxos livres e oxidados e peróxidos, ou substâncias naturalmente presentes em óleos vegetais como hidrocarbonetos insaturados e

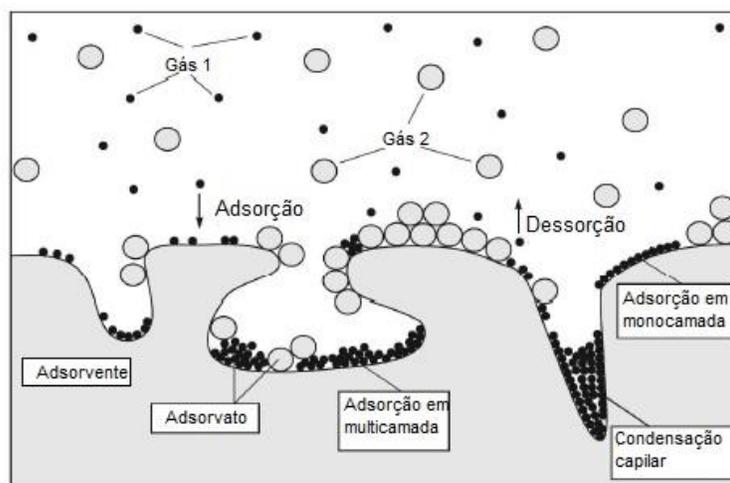
terpenóides. O processo de desodorização ocorre pela utilização de uma corrente de vapor a altas temperaturas (até 1100°C) responsável o arraste dos compostos por evaporação (MANDARINO; ROESSING, 2001).

### 3.4 Adsorção

A adsorção é um fenômeno de transferência de massa, que consiste na transferência de determinadas substâncias presente em um fluido (líquido ou gasoso), chamadas de adsorvato, para a superfície de um sólido, chamado de adsorvente. Assim, quando o adsorvente encontra-se em contato com o fluido, ocorre um decréscimo da concentração do adsorvato no fluido, e um aumento da concentração do adsorvato na superfície do adsorvente, até que seja atingida uma condição de equilíbrio (RUTHVEN, 1984).

A transferência do adsorvato de uma fase para outra, tem como força motriz a diferença de sua concentração no fluido e na superfície do adsorvente. Após sua transferência, o adsorvato permanece na superfície ou nos poros do adsorvente, em razão das interações microscópicas com as partículas que constituem o sólido (RUTHVEN, 1984). O processo de adsorção pode ser observado na ilustração da Figura 8.

Figura 8 - Ilustração do processo de adsorção.



Fonte: Adaptado de Dutta (2009)

Dependendo da natureza das forças atrativas entre as moléculas do adsorvente e do adsorvato, a adsorção pode ser classificada em física (fisissorção) ou química (quimissorção) (WEBER, 1972). Na fisissorção, a ligação do adsorvato à superfície do adsorvente envolve uma interação relativamente fraca, que pode ser atribuída às forças de Van der Waals, onde normalmente observa-se a deposição de mais de uma camada de adsorvato sobre a superfície do adsorvente. A fisissorção é um fenômeno que mantém a identidade do produto adsorvido, e por ser de ligações fracas, o adsorvente pode ser recuperado com mais facilidade (FERNANDES, 2005; ABREU, 2013; NASCIMENTO *et al.*, 2014).

Já na quimissorção, a ligação do adsorvato à superfície do adsorvente envolve uma interação relativamente forte, atribuída a efetiva troca ou partilha de elétrons entre as moléculas, resultando essencialmente em uma nova ligação química. Neste caso, observa-se a formação de uma única camada de adsorvato sobre a superfície do adsorvente (adsorção monocamada). A adsorção química é altamente seletiva, onde nem todas as moléculas do adsorvato presente no fluido podem ser adsorvidas, somente aquelas capazes de se ligar ao sítio ativo do adsorvente. Assim, as moléculas que reagem com o adsorvente formam ligações químicas relativamente forte, fazendo com que o adsorvente raramente seja recuperado (FERNANDES, 2005; NASCIMENTO *et al.*, 2014).

Os conceitos de quimissorção e fisissorção são distintos, no entanto, a diferenciação entre os dois mecanismos não é tão simples, uma vez que pode ocorrer de maneira simultânea as duas formas de adsorção, bem como situações intermediárias (VOLESKY, 1990 *apud* COELHO *et al.*, 2014). Algumas das principais diferenças entre a quimissorção e fisissorção estão elencadas no Quadro 1.

Quadro 1 - Diferenças entre quimissorção e fisissorção.

<b>Quimissorção</b>	<b>Fisissorção</b>
Causada por forças eletrostáticas e ligações covalentes	Causada por forças de van der Waals
Há transferência de elétrons	Não há transferência de elétrons
Calor de adsorção = 10-200 kcal/mol	Calor de adsorção = 2 - 6 kcal/mol

Continua

Cont. Quadro 1.

Fenômeno específico e seletivo	Fenômeno geral para qualquer espécie
A camada adsorvida só é removida por aplicação de vácuo e aquecimento a temperatura acima da de adsorção	A camada adsorvida pode ser removida por aplicação de vácuo à temperatura de adsorção.
Somente há formação de monocamadas sobre a superfície dos poros do adsorvente	Formação de multicamada sobre a superfície dos poros do adsorvente abaixo da temperatura crítica
Adsorvente altamente modificado na superfície	Adsorvente quase não é afetado

Fonte: Coutinho *et al.* (2001).

A maneira com que o adsorvente interage com o adsorvato, irá determinar se o processo será por quimissorção, fisissorção ou por ambas. Desta forma, o processo de adsorção pode depender de vários fatores, tais como a natureza do adsorvente, do adsorvato e das condições operacionais (NASCIMENTO *et al.*, 2014). As características do adsorvente incluem a área superficial, tamanho do poro, densidade, grupos funcionais presentes na superfície e hidrofobicidade do material. Já o adsorvato, depende da polaridade, do tamanho da molécula, da solubilidade e da acidez ou basicidade. Quanto as condições operacionais, dependem principalmente da temperatura, pH e natureza do solvente (COONEY, 1999).

A avaliação de um processo de adsorção pode ser realizada através de estudos cinéticos e análises de isotermas de adsorção (VOLESKY, 2004). A cinética de adsorção descreve a velocidade com que o adsorvato é removido do fluido, e acumulado na superfície do material adsorvente, o que fornece informações sobre o mecanismo de adsorção. Além disso, pode-se determinar o tempo necessário para que o processo atinja o equilíbrio, informação importante para o desenvolvimento de um processo adsorvativo, uma vez que o estabelecimento do equilíbrio em um curto período, indicaria uma rápida remoção do adsorvato e uma eficiência do material adsorvente (FERNANDES, 2005; NASCIMENTO *et al.*, 2014).

Segundo Karnitz Júnior (2007), o estudo do fenômeno de adsorção e a utilização industrial de adsorventes iniciou-se no século XVIII, onde os principais adsorventes estudados eram o carvão ativado, as zeólitas e a alumina ativada, com o objetivo de remover os contaminantes da fase líquida no tratamento de efluentes,

sendo que a principal vantagem do processo era a concentração dos contaminantes nos adsorventes.

Ao longo dos anos, o processo de adsorção foi apresentando uma alta quantidade de aplicações, sendo o foco de estudo de diversas áreas, seja tecnológica, biológica, aplicações em indústrias ou na proteção ambiental, onde a natureza físico-química do material adsorvente é fator determinante, razão pela qual exige-se um conhecimento prévio a respeito dos adsorventes utilizados (DOMINGUES, 2005; SILVA; SANTOS; JULIANO, 2018).

### 3.5 Materiais adsorventes

A crescente demanda por alternativas sustentáveis e o desenvolvimento de tecnologias limpas, abre espaço para o uso de materiais que muitas vezes são considerados resíduos. No caso de processos adsorptivos, materiais celulósicos e fibrosos representam uma opção sustentável e muitas vezes de baixo custo que podem vir a solucionar diversos problemas industriais.

No Quadro 2 são apresentadas algumas pesquisas realizadas utilizando materiais alternativos em processos de adsorção.

Quadro 2 - Estudos realizados com o princípio da técnica de adsorção.

<b>Autor</b>	<b>Pesquisa</b>
<b>Cruz Junior (2010)</b>	Produziu carvão ativado a partir do ouriço da castanha-do-brasil, da casca do cupuaçu e do caroço de açaí, e aplicou na adsorção de fenol e metais pesados.
<b>Deng <i>et al.</i> (2011)</b>	Produziu carvão ativado a partir do caule de algodão e aplicou na adsorção de azul de metileno.
<b>Niedersberg (2012)</b>	Produziu carvão ativado a partir da casca do tungue ( <i>Aleurites fordii</i> ) e aplicou para adsorção do azul de metileno.
<b>Abreu (2013)</b>	Produziu carvão ativado a partir de cana-de-açúcar e aplicou para adsorção de metais na purificação de ar.
<b>Mangueira (2014)</b>	Eficiência do carvão ativado produzido pelo endocarpo do coco da Bahia, aplicando na adsorção de herbicidas metribuzim.

Continua

Cont. Quadro 2.

<b>Heylmann (2015)</b>	Produziu carvão ativado a partir de caroço de pêsego e aplicou como adsorvente no tratamento de efluente têxtil
<b>Queiroz <i>et al.</i> (2016)</b>	Produziu carvão ativado a partir do endocarpo da Macaúba e aplicou como adsorvente no branqueamento do óleo do próprio fruto.
<b>Casati (2017)</b>	Produziu carvão ativado a partir do bagaço de cana-de-açúcar, e aplicou como adsorvente na clarificação de óleo de soja.
<b>Sousa (2018)</b>	Produziu carvão ativado a partir do endocarpo do coco babaçu e aplicou para adsorção de azul de metileno.
<b>Silva <i>et al.</i> (2020)</b>	Produziu carvão ativado a partir do resíduo agrícola de azevém, e aplicou na adsorção de corante.

Fonte: Autor (2020)

De acordo com o Quadro 2, verifica-se que ao longo dos anos foram realizados estudos para a produção de carvão ativado a partir de resíduos de diversas origens vegetais. As características dos resíduos vegetais são de alta qualidade e adsorvem uma diversidade de gases e líquidos poluentes. (GERGOVA; ESER, 1996). De acordo com Gupta *et al.* (2009), os materiais orgânicos podem ser utilizados como matéria prima para a produção de carvão ativado, seja por ativação química ou física, ou utilizados diretamente como adsorventes após limpeza e classificação previa.

Ademais, observa-se nos referidos estudos, que as matérias-primas utilizadas para a produção de carvão ativado são biomassa provenientes de resíduos agrícolas, sendo muitas vezes descartados de forma inadequadas ou decompondo naturalmente no ambiente. Desta forma, uma das alternativas encontradas é o emprego destes resíduos como precursores de carvão ativado, conferindo-lhes assim maior valor agregado e diminuindo o impacto dos mesmos ao meio ambiente.

O avanço em relação as variedades de materiais adsorventes não convencionais e de baixo custo são evidentes, uma vez que a redução dos custos em processos adsortivos com a utilização de adsorventes não convencionais faz com que os mesmos se tornem atrativos para o setor industrial, mesmo que apresentem capacidade de adsorção inferiores aos adsorventes convencionais (GUPTA *et al.*, 2009).

No entanto, existe uma dificuldade na efetiva aplicação dos adsorventes não convencionais no setor industrial, causadas principalmente pela falta de informações a respeito da composição dos materiais, falta de comparação dos dados com um adsorvente convencional, falta de estudos com fluidos reais tendo em vista que a grande maioria é realizada com soluções-modelo e a falta de conhecimento dos mecanismos de sorção (CRINE, 2006).

Os adsorventes apresentam-se como materiais sólidos, naturais ou sintéticos, que para possuírem uma capacidade adsortiva significativa, devem ser constituídos por uma estrutura altamente porosa e acessível para que ocorra a combinação entre os componentes do fluido e do sólido. Tais propriedades adsortivas vão depender tanto da natureza da superfície sólida quanto da distribuição e tamanho dos poros (MENEZES, 2010).

O carvão ativado é considerado um dos adsorventes mais eficientes, visto que seu processo de produção tem a capacidade de alterar a distribuição e tamanhos dos poros, bem como as atividades químicas superficiais dos diversos tipos de materiais, os quais são bastante dependentes das condições de fabricação e do material que lhe deu origem. Este adsorvente pode ser produzido a partir de várias matérias-primas, como carvão mineral, madeira, casca de coco, caroços de frutas, dentre outros (COONEY, 1999; BARROS, 2001).

O processo de produção do carvão pode ser dividido nas etapas de ativação física e ativação química. A ativação física consiste na carbonização (pirólise) do material sob temperaturas moderadas (400-600 °C) e, em atmosfera inerte. No processo de ativação física, os gases nitrogênio e dióxido de carbono são utilizados para a oxidação da matéria carbonosa. Já na ativação química, emprega-se o uso de reagentes químicos para a preparação do carvão ativado. Os reagentes mais utilizados são o  $ZnCl_2$  (cloreto de zinco), o  $H_3PO_4$  (ácido fosfórico), o KOH (hidróxido de potássio), o  $K_2CO_3$  (carbonato de potássio), o NaOH (hidróxido de sódio) e o  $H_2SO_4$  (ácido sulfúrico), entre outras substâncias ácidas e básicas. O material a ser ativado é exposto a esses reagentes para que ocorra uma desidratação e degradação do material, tornando-o mais poroso. (GIRGIS, EL-HENDAWY 2002; DIAS *et al.*, 2007; DEMIRAL *et al.*, 2011; ABREU, 2013).

Neste contexto, percebe-se que os resíduos de origem vegetal podem ser utilizados diretamente ou previamente tratados para a melhoria de suas características de adsorção. No entanto, é de suma importância a realização de estudos que possam demonstrar a potencialidade desses resíduos para a produção de carvão ativado, fornecendo assim novas alternativas de obtenção de adsorventes.

## 4 ARTIGO

### **SÍNTESE DE NOVOS MATERIAIS ADSORVENTES PRODUZIDOS À PARTIR DO RESÍDUO DA CASCA DA ACÁCIA NEGRA (*Acacia mearnsii De Wild*) PARA O BRANQUEAMENTO DO ÓLEO DE ARROZ**

Rogério da Silva Camargo<sup>a</sup>, Candice Soares Dias<sup>a</sup>, Wladimir Hernandez Flores<sup>a</sup>,  
Natallia Britto Azevedo Souza<sup>a</sup>, Nicole Dall'Accua Lopes<sup>a</sup>, Valéria Terra Crexi<sup>a</sup>, André  
Ricardo Felkl de Almeida<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Programa de pós-graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade Federal do Pampa, 1650, Avenida Maria Anunciação Gomes Godoy. Cep 96413-170, Bagé, RS, Brasil

#### **RESUMO**

Este trabalho objetivou a utilização do resíduo da casca da acácia-negra proveniente da extração do tanino, moída, tratada quimicamente e como precursora para a produção de carvão ativado, afim de ser aplicada na etapa do branqueamento do óleo de arroz, visando a redução dos teores de peróxidos, de acidez, de carotenoides, de cor e a preservação do teor de  $\gamma$ -orizanol. A casca de acácia-negra foi tratada quimicamente com solução de NaOH 20%. O carvão ativado foi produzido a partir da pirólise do material precursor a 500°C em atmosfera inerte de N<sub>2</sub>. Foi realizada a caracterização física dos adsorventes e ensaios de branqueamento do óleo de arroz. Os resultados da termogravimetria (TGA) e difratometria de raios - X (DRX) demonstraram que o tratamento básico da casca de acácia-negra provocou a degradação da hemicelulose e celulose. O carvão produzido apresentou área superficial específica de 204,9 m<sup>2</sup>/g. Os melhores resultados para a redução da acidez e de caratenoides foi obtido pela casca da acácia-negra ativada quimicamente com percentuais de 19,80 e 69,43% respectivamente. Quanto ao índice de peróxidos, o carvão produzido foi o responsável pelo maior percentual de redução (43,04%). Os

resultados demonstram que os materiais produzidos apresentam um bom potencial adsorptivo para o branqueamento do óleo de arroz.

Palavras-chave: Acácia-negra. Adsorventes. Carvão ativado. Óleo de arroz.

## **ABSTRACT**

This work aimed to use the residue of the black wattle bark derived from the extraction of tannin, ground, chemically treated and as a precursor for the production of activated carbon, in order to be applied in the bleaching stage of rice oil, reducing the indexes peroxides, acidity, caratenoids, color and the preservation of  $\gamma$ -oryzanol content. The black wattle bark was chemically treated with a 20% NaOH solution. The activated carbons were obtained from the pyrolysis of the precursor material at 500 ° C in an inert N<sub>2</sub> atmosphere. A physical characterization of the adsorbents and bleaching tests of rice oil was carried out. The results of thermogravimetry (TGA) and X-ray diffraction (DRX) demonstrated that the basic treatment of black wattle bark caused the degradation of hemicellulose and cellulose. The produced coal has a specific surface area of 204.9 m<sup>2</sup> / g. The best results for the reduction of the acidity and caratenoids index were found by the bark of chemically activated black wattle with percentages of 19.80 and 69.43% respectively. As for the peroxide index, the coal produced was responsible for the highest percentage of reduction (43.04%). The results demonstrate that the available materials have a good adsorptive potential.

Keywords: Black wattle. Adsorbents. Activated charcoal. Rice oil.

## 1 INTRODUÇÃO

O estado do Rio Grande do Sul é responsável por cerca de 70% de toda a produção brasileira de arroz, onde no beneficiamento desse grão para a produção do arroz branco é gerado como resíduo o farelo, que é a matéria prima para a extração do óleo bruto de arroz. No entanto, o óleo bruto apresenta compostos indesejáveis em sua composição, os quais são removidos durante o refino. Entre as etapas do refino, tem-se o branqueamento, que tem por objetivo a retirada destes compostos que afetam a cor e a qualidade do óleo de arroz, onde utiliza-se adsorventes como o carvão ativado (PESTANA, 2007; BRUSCATTO *et al.*, 2012; TAVARES, 2019; IRGA 2021).

Os adsorventes são materiais sólidos, naturais ou sintéticos, que devido as suas características físicas e químicas, possuem ampla aplicação em processos industriais, tais como filtração, desodorização, purificação e separação (HAIMOUR, 2006; BOONAMNUAYVITAYA, 2004). No entanto, apesar dos principais adsorventes comerciais apresentarem altas taxas de eficiência, como o carvão ativado, sílica gel, argilas ativadas e zeólitas sintéticas, seu custo elevado se torna uma desvantagem para aplicação em sistemas de grande escala (SILVA, *et al.*, 2019).

Esta desvantagem verificada nos adsorventes comerciais, fez com que nos últimos anos, diversos estudos fossem realizados, afim de se desenvolver materiais adsorventes a partir de fontes não convencionais e de baixo custo, que se mostrassem eficazes e ambientalmente sustentável, (CRINE, 2006; AHMARUZZAMAN, 2008; SILVA *et al.*, 2020; GUTERRES, 2019). Neste sentido, o uso de resíduos derivados da agricultura ou silvicultura tem despertado interesse da comunidade científica devido à sua abundância na natureza (PAVLOVIC, *et al.*, 2017; ROSALES, *et al.*, 2016).

Segundo Silva *et al.*, (2019), as cascas de árvores são um resíduo relativamente abundante na natureza que é gerado pela exploração da madeira. Neste sentido, tem-se a *Acaciamearnsii De Wild*, popularmente conhecida como acácia negra, espécie vegetal que se destaca economicamente no estado do Rio Grande do Sul, onde seu cultivo está relacionado à extração de tanino de sua casca, atividade que gera altas taxas de resíduos sólidos, os quais acabam sendo destinados à compostagem ou

dispostos em aterros. Somente no ano de 2018, foram produzidos no estado gaúcho cerca de 145mil toneladas de casca de acácia negra (AGEFLOR 2016; IBGE 2018).

Assim, o presente trabalho teve como objetivo desenvolver materiais adsorventes a partir do resíduo da casca da acácia-negra proveniente da extração de tanino, para serem utilizados na etapa do branqueamento do óleo de arroz.

## **2 MATERIAL E METODOS**

Para a realização deste trabalho, utilizou-se como matéria-prima o resíduo da casca da acácia-negra proveniente da extração do tanino da indústria SETA - Sociedade Extrativa Tanino de Acácia Ltda., localizada no município de Estância Velha. O óleo de arroz degomado foi cedido pela Indústria Riograndense de Óleos Vegetais – IRGOVEL, localizada na cidade de Pelotas/RS, e neutralizado no laboratório de Engenharia de Alimentos da Universidade Federal do Pampa, de acordo com a metodologia descrita por Engelmann *et al.*, (2016).

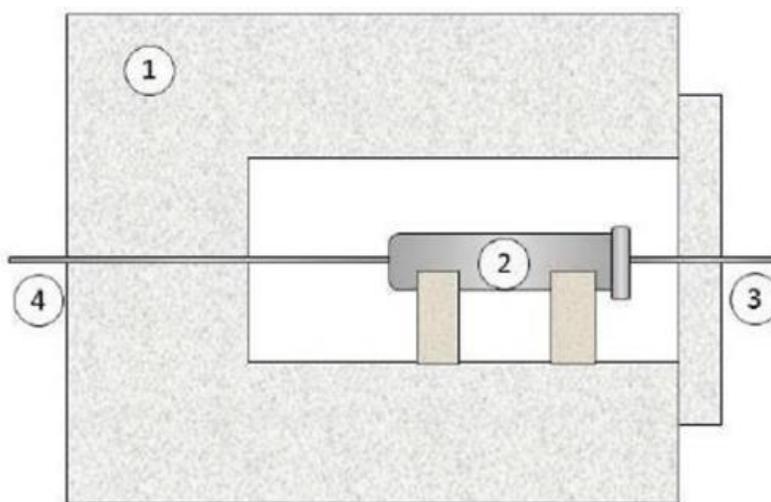
### **2.1 PRODUÇÃO DOS MATERIAIS ADSORVENTES**

A matéria prima foi moída em um moinho de facas (Marconi, MA 580, Brasil) ao qual foi acoplado a peneira de Mesh 30, afim de obter o tamanho da partícula menores que 0,5 mm. Subsequentemente, o material foi lavado em água corrente e seco em estufa (Nova Ética, 400-5 NB) a 105°C por 24h, obtendo assim a casca de acácia moída e seca (CAMS).

A partir do CAMS, e considerando a literatura de Silva *et al.*, (2020), foi realizado o procedimento para a ativação química, onde o material foi embebido em solução NaOH 20% na proporção de massa 3:1 (NaOH: palha), por 24 horas à temperatura ambiente (20°C). Após ativação química, o material impregnado foi submetido a secagem em estufa por 24 horas a 105°C, seguido da sua neutralização em sistema com circulação de água. Posteriormente, realizou-se nova secagem em estufa por 24 horas a 105°C, obtendo assim a casca de acácia ativada quimicamente (CAAQ).

Para a produção do carvão ativado, utilizou-se como precursor a casca de acácia impregnada com NaOH 20% e seca, onde a mesma foi macerada e inserida em um reator batelada com capacidade de 481 cm<sup>3</sup>. O processo de pirólise ocorreu a 500 °C, durante 30 minutos, sob atmosfera de nitrogênio e taxa de aquecimento de 3 °C/min., conforme indicado por Linhares, Marcílio e Melo (2016). Com o término do processo, o material foi neutralizado em sistema com circulação de água. Como etapa final, o material foi seco em estufa por 24 horas a 105°C, obtendo assim o casca de acácia ativada química e termicamente (CAQT). A Figura 1 ilustra o esquema do equipamento utilizado para a pirólise do material.

Figura 1: Equipamento utilizado, onde (1) forno mufla; (2) reator tubular em aço inox; (3) entrada de N<sub>2</sub>; (4) saída dos gases de pirólise.



Fonte: SILVA et al. (2018)

Para fins de comparação do potencial adsorptivo dos materiais adsorventes produzidos neste trabalho, utilizou-se também, uma amostra de carvão comercial da 3M Aqualar.

## 2.2 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS ADSORVENTES

Os adsorventes produzidos, assim como o carvão comercial, foram caracterizados pelo diâmetro de partícula ( $d_p$ ), massa específica real ( $\rho_r$ ) e *bulk* ( $\rho_b$ ), porosidade do leito fixo de partículas ( $\epsilon$ ), análise imediata com os teores de umidade ( $U_{bu}$ ), cinzas ( $C_z$ ), material volátil ( $M_v$ ) e carbono fixo ( $C_f$ ), análise térmica (TGA) área superficial específica ( $S$ ) e análise das fases cristalinas (DRX).

O  $d_p$  do carvão ativado quimicamente e do carvão comercial, foram obtidos por análise com Granulômetro (CILAS, 1190 L), já para os demais materiais, o  $d_p$  foi determinado por peneiramento, utilizando um conjunto de peneiras da série Taylor e um agitador de peneiras eletromagnético (marca Bertel). Os valores de  $\rho_r$  foram obtidos por meio de picnometria gasosa (ULTRAPYC 1200e, Quantachrome Instruments). O gás inerte utilizado foi o hélio (pureza 6.0) a uma pressão de 17,5 psig. Já, os valores de  $\rho_b$  foram obtidos por ensaio de proveta (CREMASCO, 2012). A  $\epsilon$  foi calculada a partir da relação entre  $\rho_r$  e  $\rho_b$ .

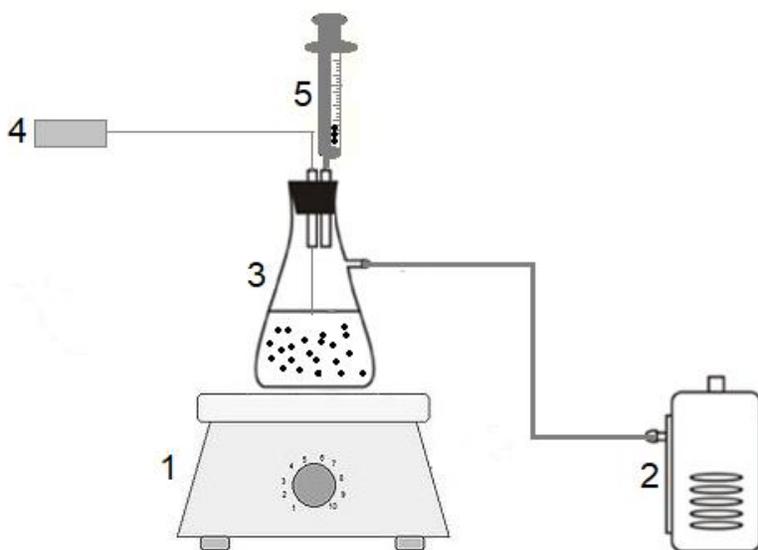
A análise imediata foi realizada de acordo com as normas da Association of Official Analytical Chemists - AOAC e da American Society for Testing and Materials ASTM - E1755, ASTM D1762 e ASTM - E872. A análise termogravimétrica (TGA e DrTGA) foi realizada em uma termobalança (Shimadzu, TGA – 50) acoplada a um analisador térmico (Shimadzu, TA60WS). Essa análise foi realizada sob uma vazão de nitrogênio gasoso (99,99%) de 40 mL/min e taxa de aquecimento de 10°C/min até 700°C (VYAZOVKIN et al., 2011).

A área superficial específica foi obtida somente para o carvão ativado quimicamente e para o carvão comercial, pelo método BET (Brunauer - Emmet - Teller) com analisador de área superficial (modelo NOVA 4200e, Quantachrome Instruments, EUA), e utilização de adsorção física de  $N_2$  (gás) em diferentes pressões na temperatura de 77 K. Nessa análise a amostra foi degaseificada em 300 ° C por 4 h, conforme recomendado por Franz et al. (2000) e Anisuzzaman et al. (2015). A cristalinidade foi obtida por difração de raios-X (DRX) (Rigaku Ultima IV, Japão) utilizando radiação  $CuK\alpha$  e geometria Bragg-Brentano. As amostras foram analisadas em uma faixa de 5 a 70° com passo de 0,05.

### 2.3 ENSAIOS DE BRANQUEAMENTO DO ÓLEO DE ARROZ

As condições de branqueamento do óleo de arroz neutralizado com os adsorventes produzidos e com o carvão comercial foram estabelecidas a partir de ensaios preliminares e considerando a literatura de Patricio, Hotza e Júnior (2014), Figueiredo, Pereira e Silva (2004) e Ludtke (2016). O processo ocorreu com a adição de 50 gramas de óleo em um reator de clarificação, submetido a vácuo de 500 mmHg, agitação vigorosa e aquecido a 90°C, durante 25 minutos. A proporção de adsorvente utilizado foi de 1% em relação a massa de óleo. Ao final do processo de adsorção (branqueamento), o material adsorvente foi removido por filtração à vácuo, utilizando como meio filtrante uma pré-capa com terra diatomácea. A Figura 2 ilustra o esquema do equipamento utilizado para o ensaio de branqueamento.

Figura 2: Equipamento utilizado, onde (1) agitador magnético com aquecimento; (2) bomba de vácuo; (3) balão kitasato; (4) termopar; (5) entrada do adsorvente



Fonte: Autores (2021)

## 2.4 ANÁLISE DO ÓLEO DE ARROZ

O óleo de arroz neutralizado e o óleo de arroz branqueado com os adsorventes produzidos no presente trabalho, e com o adsorvente comercial foram caracterizados quanto a compostos de oxidação (peróxidos), acidez, carotenoides,  $\gamma$ -orizanol e cor. Essas análises tiveram como finalidade avaliar o potencial de adsorção dos adsorventes produzidos através da comparação dos resultados de redução dos compostos analisados no óleo branqueado em relação ao óleo neutralizado.

A análise dos índices de peróxidos e de acidez foram realizadas conforme metodologia do Instituto Adolfo Lutz (2008). O teor de carotenoides foi determinado por espectrofotômetro na região visível (Quimis, Q108, Brasil), segundo metodologia adotada por Strieder et al., (2015). Já a análise de cor, foi realizada conforme a metodologia de Lovibond (Lovibond® 1080 Colour Measurement), na escala de cor CIELAB (ASTM E308), onde as amostras foram colocadas em uma cubeta de quartzo de caminho ótico de 1 cm utilizando a escala CIE Lab, a um comprimento de onda de 530 nm.

## 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 3.1 CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DOS MATERIAIS ADSORVENTES

Na Figura 3 são apresentados a casca de acácia moída e seca (a), casca de acácia ativada quimicamente (b), casca de acácia ativada química e termicamente (c) e o carvão comercial. Nessa figura, já pode ser observado que houve mudança nas características dos materiais quando comparado com a casca de acácia moída e seca. Nota-se, por exemplo, que tanto o material (b) como o material (c), resultaram em materiais com partículas mais reduzidas.

Figura 3: Materiais adsorventes – casca de acácia moída e seca (a), casca de acácia ativada quimicamente (b) casca de acácia ativada química e termicamente (c) e (d) carvão comercial 3M Aqualar.



Fonte: Autores (2021)

Na Tabela 1 são apresentados os resultados para a caracterização física dos adsorventes.

Tabela 1: Resultados da caracterização física da casca de acácia moída e seca (CAMS), ativada quimicamente (CAAQ), ativada química e termicamente (CAQT) e carvão comercial (CACO).

Amostra	$\rho_r$ (g/cm <sup>3</sup> )	$\rho_b$ (g/cm <sup>3</sup> )	$\epsilon$	$d_p$ (μm)
CAMS	1,4705 ± 0,001	0,2138 ± 0,008	0,14	121,7
CAAQ	1,7332 ± 0,000	0,5001 ± 0,002	0,28	67,5
CAQT	1,7903 ± 0,003	0,2218 ± 0,001	0,12	41,6
CACO	1,7105 ± 0,000	0,5871 ± 0,004	0,34	159,4

Fonte: Autores (2021)

Observando a Tabela 1, pode-se notar que a casca de acácia moída e seca apresentou um diâmetro de partícula de 121,7 μm. Após este material passar pelo processo de ativação química, o diâmetro diminuiu em 44,5%. Essa redução se deve, possivelmente, pelo fato de alguns compostos presentes na casca de acácia terem sido consumidos pelo agente impregnante, ocasionando assim, mudanças na sua estrutura. Quanto a casca de acácia ativada química e termicamente, verifica-se que a redução do diâmetro de partícula foi ainda maior, chegando a um percentual de 65,8%, indicando um aumento da área superficial específica, atendendo assim, ao critério para carvões ativados, no qual são desejadas partículas menores do que 44 μm (SANTOS *et al.*, 2018). Ao comparar o diâmetro de partícula do carvão comercial com o da casca de acácia ativada química e termicamente, verifica-se que está apresenta um diâmetro cerca de 3,8 vezes menor.

O valor de massa específica real obtido para a casca da acácia moída e seca está próximo ao reportado na literatura para alguns resíduos agrícolas. Gassan e Bledzki (1999) obtiveram para fibras de linho e sisal um valor de massa específica real de 1,50 g/cm<sup>3</sup>. Já Signorelli *et al.* (2017), obteve um valor de 1,42 g/cm<sup>3</sup> para a casca do coco catolé. Quanto ao aumento da massa específica real dos demais materiais produzidos em relação a casca de acácia moída e seca, pode indicar a formação de poros ocasionados pela impregnação básica e pirólise do material. Os valores obtidos para estes materiais vão de encontro com valores reportados na literatura para materiais ativados química e termicamente, pois segundo Signorelli *et al.* (2017), o valor da massa específica real encontrado para a casca do coco catolé ativado química e termicamente foi de 1,81 g/cm<sup>3</sup>, e de 1,76 g/cm<sup>3</sup> para casca de palmeira.

A partir dos valores determinados da massa específica real e da massa específica aparente, pode-se determinar a porosidade do leito fixo, que apresentou valores relativamente baixos para os quatro adsorventes, quando comparado aos valores encontrados na literatura para outros resíduos agrícolas, pois segundo Silva *et al.*, (2020) e Lam *et al.*, (2008) os valores encontrados por eles foram próximos de 0,90 para os materiais produzidos a partir da palha de azevém e palha de trigo. No entanto, quando comparado os valores da porosidade do leito fixo encontrado neste trabalho, com outro tipo de resíduo agrícola, como a casca do buriti e da castanha do Pará, essa diferença se torna menor, pois segundo Esquerdo (2019) e Melo (2012), os valores encontrados para os materiais produzidos a partir destas matérias primas foram próximos de 0,50. Segundo Maia *et al.*, (2014), independente da metodologia empregada para a produção dos materiais, a massa específica aparente será baixa quando forem utilizadas matérias primas orgânicas da natureza das utilizadas por Esquerdo (2019) e Melo (2012), ou seja, com características mais fibrosas, o que poderia explicar a baixa porosidade do leito fixo dos materiais obtidos neste trabalho, uma vez que este valor é obtido pela relação entre a massa específica aparente e a massa específica real.

Na Tabela 2 são apresentados os resultados para a área superficial específica e volume total de poros para a casca de acácia ativada química e termicamente (CAQT) e para o carvão comercial (CACO).

Tabela 2: Resultados da área superficial específica e volume total de poros para a casca de acácia ativada química e termicamente (CAQT) e carvão comercial (CACO).

<b>Amostra</b>	<b>S (m<sup>2</sup>/g)</b>	<b>V<sub>p</sub> (cm<sup>3</sup>/g)</b>
CAQT	204,9	0,09
CACO	592,8	0,34

Fonte: Autores (2021)

Observa-se na tabela 2, que a área superficial específica obtida para a casca de acácia ativada química e termicamente é cerca de 3 vezes menor que o obtido para o carvão comercial. No entanto, o valor da área superficial específica obtido para o material produzido é superior ao encontrado por Linhares, Marcílio e Melo (2016), onde os autores obtiveram um valor de 53,7 m<sup>2</sup>/g para o carvão produzido sem ativação química a partir do resíduo da casca da acácia negra. Ainda segundo estes autores, o valor da área superficial específica encontrado para o carvão comercial foi de 597,3 m<sup>2</sup>/g, o que se aproxima do valor encontrado neste trabalho.

Quando comparado a área superficial específica do material produzido com a do carvão comercial, verifica-se que este valor é baixo, uma vez que os valores mais comumente encontrados são superiores a 500 m<sup>2</sup>/g (WANG, 2003; AHMED; DHEDAN, 2012). Este é um parâmetro considerado de suma importância, uma vez que quanto maior a área de superfície de um sólido poroso, maior o número de sites disponível para adsorção (ALMEIDA et al., 2014). Além disso, a área de superfície específica é inversamente proporcional à do diâmetro médio dos poros, assim uma grande área superficial indica a presença de pequenos poros, enquanto pequenos valores de área superficial são característicos de materiais macroporosos (LOWELL; SHIELDS, 1991).

Os resultados das análises imediatas obtidos a partir da casca de acácia moída e seca (CAMS), ativada quimicamente (CAAQ), ativada química e termicamente (CAQT) e do carvão comercial, encontram-se descritas na Tabela 3.

Tabela 3 - Resultados das análises imediatas da casca de acácia: moída e seca (CAMS), ativada quimicamente (CAAQ), ativada química e termicamente (CAQT) e do carvão comercial (CACO).

<b>Amostra</b>	<b><math>U_{bu}</math> (%)</b>	<b><math>C_z</math> (%)</b>	<b><math>M_v</math> (%)</b>	<b><math>C_F</math> (%)</b>
CAMS	3,05 ± 0,52	6,30 ± 0,19	82,76 ± 0,46	9,89 ± 0,16
CAAQ	5,50 ± 0,80	8,77 ± 0,52	55,97 ± 0,30	31,66 ± 0,42
CAQT	3,56 ± 0,25	24,16 ± 0,45	32,40 ± 0,21	39,97 ± 0,61
CACO	15,88 ± 0,37	5,32 ± 0,80	32,11 ± 0,66	49,79 ± 0,13

Fonte: Autores (2021)

Na Tabela 2, pode-se observar que a umidade encontrada para a CAMS e para a CAAQ foram de 3,05 e 5,50%, respectivamente. Estes valores estão abaixo de resultados reportados na literatura para outras biomassas. Segundo Carrier *et al.* (2013), o teor de umidade encontrado para a casca de Eucalipto foi de 6,2%. Já Almeida (2016), obteve um teor de umidade para a casca de cacau de 6,3%. Estes valores também são semelhantes a outras biomassas, como ao encontrado por Silva *et al.* (2020) para palha de azevém 6,28%, e aos encontrados por Mani *et al.* (2004) para palha de cevada 6,9%, e para palha de milho 6,2%. Quanto as biomassas tratadas quimicamente, Silva *et al.* (2020) obtiveram um valor de 7,77% de umidade para a palha de azevém tratada com o mesmo agente ativante. A diferença de umidade dos materiais produzidos em relação as biomassas citadas, pode estar relacionada com as condições de produção dos adsorventes, uma vez que os mesmos passaram por secagem em estufa, bem como das condições de armazenamento.

O baixo teor de umidade dos materiais adsorventes produzidos pode ser considerado um efeito positivo, uma vez que a presença de umidade pode afetar a eficiência desses materiais na adsorção, pois uma parcela dos poros que estariam disponíveis para o fenômeno de adsorção pode estar com moléculas de água (SILVA, 2009). Outro aspecto importante é que um alto teor de umidade implicaria em um maior consumo de energia no processo de pirólise. O teor de umidade é uma das variáveis associada às características do material que influenciam na dinâmica do processo de pirólise, e o uso de matérias secas tornam esse processo menos drástico (GOMEZ, 2002). Segundo Mckendry (2002), o teor de umidade para os processos de conversão de biomassas precisa ser baixo, aproximadamente menor que 50%. Assim, as umidades para os materiais produzidos estão adequadas, mostrando que os mesmos tem potencial para conversão energética.

Em relação a CAQT, o valor de umidade encontrado foi 3,56%. Este valor está semelhante a valores reportados na literatura para carvões ativados produzidos a partir de resíduos agroindustriais. Segundo Loffredo *et al.* (2010), o valor de umidade encontrado para o carvão produzido a partir do *Eucalyptus dunnii* foi de 3,08%. Já Silva (2009), obteve um valor de 3,62% de umidade para o carvão produzido a partir da casca de arroz. O teor de umidade é um parâmetro que está relacionado ao processo de produção do material, que contempla ao final uma secagem em estufa. Neste sentido, os resultados se mostram coerentes ao processo tecnológico utilizado. Cabe salientar, que o adsorvente produzido apresentou teor de umidade dentro do preconizado para carvão ativado, pois segundo Marton *et al.* (2003), os carvões comerciais apresentam em suas especificações técnicas, a indicação de um teor de umidade máximo de 10%.

Quanto ao teor de cinzas, o valor encontrado para a CAMS foi de 6,3%. Este valor está acima do reportado por Linhares *et al.* (2016) para a casca de acácia-negra, onde o autor obteve um valor de 3,8%. Já Menezes (2013) e Silva (2018), obtiveram percentuais de cinzas de 4,42 e 3,42% para serragem de pinus e angelim respectivamente. No caso da CAMS, o teor de cinzas acima dos valores encontrados na literatura para biomassas semelhantes, pode ocorrer devido a impurezas relacionadas ao armazenamento deste resíduo em depósito a céu aberto localizado próximo a estradas, uma vez que a matéria prima utilizada é o resíduo proveniente da extração de taninos, a qual fica disposta no pátio da indústria. Observa-se também a partir da Tabela 2, que o teor de cinzas aumentou com o tratamento químico e térmico. Este comportamento também foi observado por Anisuzzaman *et al.* (2015) e Silva *et al.* (2020) na produção de carvão ativado a partir de folhas de *Typha orientalis* e da palha de azevém, utilizando como agente ativante  $H_3PO_4$  e  $NaOH$  respectivamente. Tal fato pode sugerir que as substâncias inorgânicas não foram sendo eliminadas durante o processo de lavagem, levando as mesmas a terem seu percentual aumentado em relação aos outros constituintes do material nas etapas subsequente.

Neste sentido, o teor de cinzas encontrado para o carvão produzido foi de 24,16%. Segundo Werlang (2013), os teores de cinzas acima de 7% para carvão vegetal são considerados elevados, e podem indicar possível contaminação do material. Além

disso, altos teores de cinzas são responsáveis por diminuir a área de superfície do carvão ativado, o que pode levar a diminuição da capacidade de adsorção, visto que as substâncias inorgânicas podem estar diretamente ligadas a estrutura porosa do material (YACOB; SWAIDAN, 2012).

Quanto aos teores de voláteis, percebe-se que os percentuais diminuíram com a realização dos tratamentos químico e térmico. Segundo Maulina e Iriansyah (2018), isto ocorre porque tanto a ativação química quanto a térmica, provocam mudanças na estrutura e nas propriedades do material produzido, uma vez que parte das substâncias voláteis são eliminadas durante esses tratamentos. Os resultados obtidos estão coerentes aos encontrados na literatura para biomassas similares. Segundo Linhares *et al.* (2016), o teor de material volátil encontrado para a casca de acácia-negra foi de 76,2%. Já Carrier *et al.* (2013), obteve um valor de 80,9% para serragem de eucalipto. De acordo com Duku (2014), o percentual de material volátil encontrado para CAMS pode ser considerado alto, o que pode ser considerado um ponto positivo, uma vez que, segundo Reis *et al.* (2012), o teor de material volátil elevado sugere que a estrutura do material vegetal apresenta níveis de porosidade elevada.

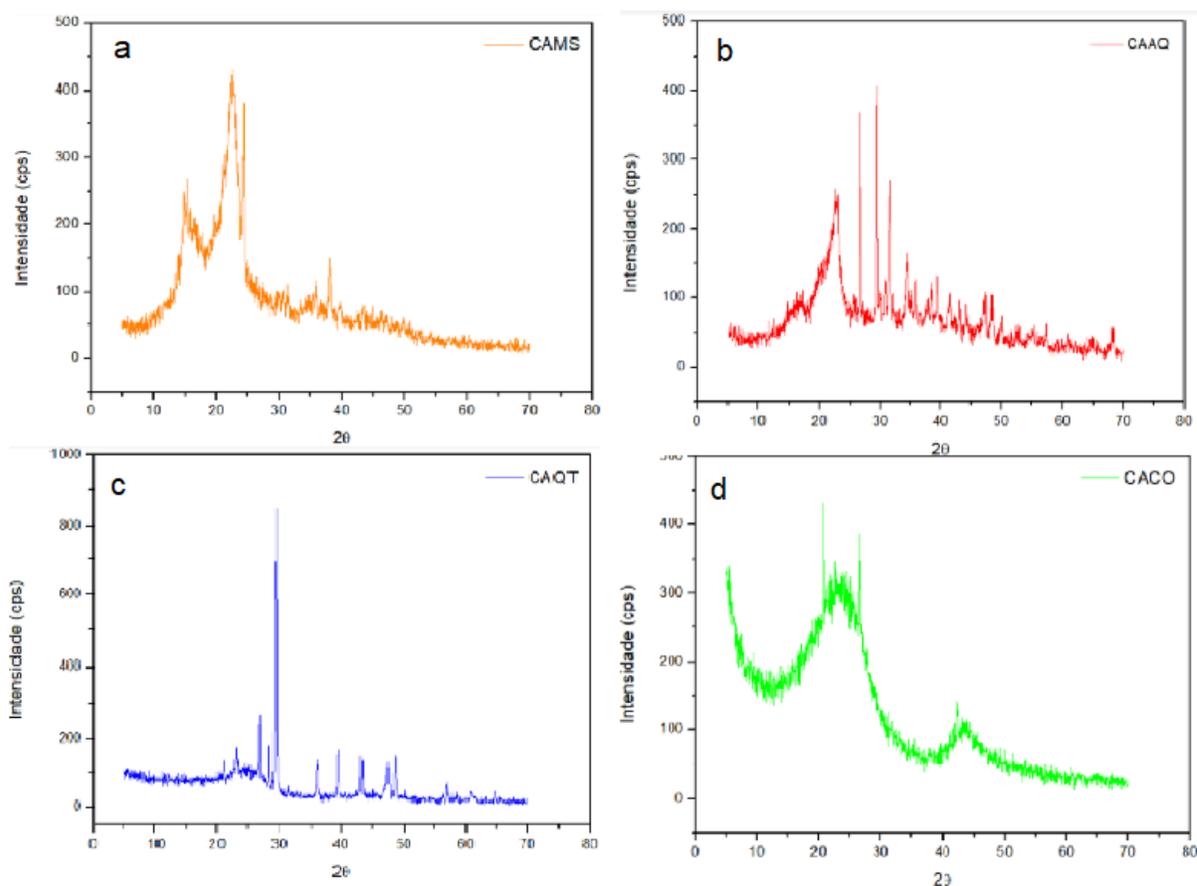
O teor de carbono fixo encontrado para a CAMS foi de 9,89%. Este valor está abaixo do encontrado por Linhares *et al.* (2016), onde o autor reporta um valor de 20,1% para a casca da acácia-negra. Já Teixeira *et al.* (2016), obteve um valor de 19,3% de carbono fixo para eucalyptus sp. Ainda segundo o autor, os valores das análises imediatas, principalmente os teores de cinzas e carbono fixo, podem apresentar diferenças significativas dependendo da idade da espécie utilizada. Observa-se também, a partir da Tabela 2, que os percentuais de carbono fixo aumentaram com a realização do tratamento químico e térmico realizado. O teor de carbono fixo representa a porcentagem da biomassa após a retirada da umidade, das cinzas e do material volátil. Ocorre, que estes valores estão diretamente relacionados às condições de produção dos materiais adsorventes. Segundo Claudino (2003), a temperatura utilizada na pirólise, eleva os teores de cinzas e de carbono fixo e diminuem o teor de matéria volátil, pois a utilização de temperaturas elevadas proporciona uma maior expansão dos gases e sua expulsão do interior do carvão. Isto

vem a fornecer um menor teor de voláteis e um maior teor de carbono fixo no produto final.

### 3.2 ANÁLISE DA ESTRUTURA CRISTALINA E DECOMPOSIÇÃO TÉRMICA DOS ADSORVENTES

Na Figura 4, são apresentadas as difratometrias de raios-X para a casca de acácia moída e seca (CAMS), ativada quimicamente (CAAQ), ativada química e termicamente (CAQT) e para o carvão ativado.

Figura 4 - Padrões de difração de raios-X para a casca de acácia moída e seca (a), ativada quimicamente (b), ativada química e termicamente (c) e carvão comercial (d).



Fonte: Autores (2021)

A Figura 4 apresenta os difratogramas obtidos para os materiais produzidos, onde é possível verificar que a intensidade dos picos dos adsorventes diminui com a realização dos tratamentos químico e térmico. Essas supressões correspondem a diminuição da cristalinidade dos materiais, o que sugere a degradação da celulose. A celulose é um polímero complexo que consiste em regiões cristalinas e amorfas. A cristalinidade é definida como a porcentagem de regiões cristalinas em relação ao material total (RAHNAMA et al. 2013; BANSAL et al. 2010)

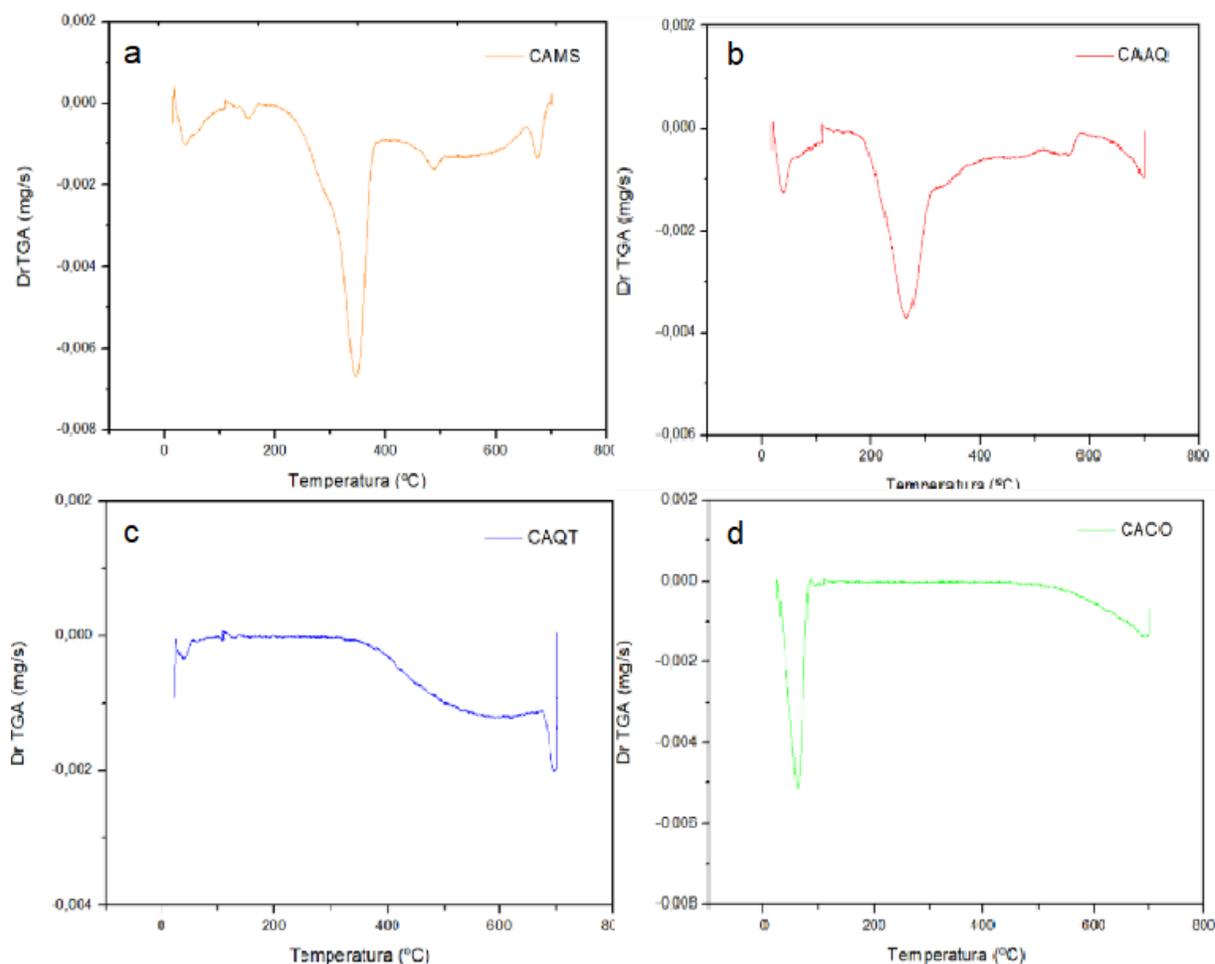
Segundo Alemdar e Sain (2008), as ligações de hidrogênio entre as moléculas de celulose são organizadas em um sistema regular, resultando em um sistema ordenado com propriedades de cristal. Neste sentido, tratamentos químicos e térmicos podem afetar a estrutura e a cristalinidade das fibras celulósicas, como é o caso do NaOH, responsável pela remoção de parte das hemiceluloses e da lignina.

A redução da cristalinidade também pode ser atribuída à redução da força de algumas ligações de hidrogênio em regiões ordenadas que resultaram parcialmente na conversão para regiões desordenadas. Segundo (LIMA *et al.*, 2018), a desorganização das regiões cristalinas das fibras de celulose é um aspecto interessante para fins de adsorção, visto que proporciona o desenvolvimento de espaços vazios que podem facilitar a adsorção.

Na análise termogravimétrica (TGA) realizada para os materiais produzidos e para o carvão comercial (Figura 5), nota-se que a casca de acácia moída e seca apresenta pelo menos dois pontos bem definidos. A primeira perda de massa abaixo de 100°C, deve-se a perda de água do material. O maior pico ocorreu em torno de 350°C, que pode ser atribuído à degradação dos grupos com oxigênio da superfície do material como a celulose e hemicelulose. Os picos verificados acima de 400°C, estão relacionados a grupos carboxílicos mais estáveis como as moléculas de lignina e requerem um maior intervalo de temperatura para a degradação (BREBU; VASILE, 2009). Ainda analisando a Figura 5, observa-se que a casca de acácia ativada quimicamente apresenta uma perda de massa abaixo dos 300°C, o que sugere a decomposição das hemiceluloses que foram tornadas menos estáveis termicamente devido ao tratamento realizado, assim como resíduos de voláteis de hidróxido de sódio. Segundo Gassan e Bledzki (1999), o tratamento alcalino de fibras

lignocelulósicas provoca uma remoção parcial da lignina e exerce maior efeito sobre a hemicelulose. A Figura 5 apresenta as análises termogravimétricas realizadas nos materiais.

Figura 5: DrTGA para a casca de acácia moída (a), ativada quimicamente (b), ativada química e termicamente (c) e carvão comercial (d).



Fonte: Autores 2021.

Quanto a casca de acácia ativada química e termicamente, observa-se uma maior estabilidade térmica em relação ao material precursor e perdas de massa mais discretas acima dos 350°C, o que pode indicar a ação do tratamento realizado na degradação dos compostos voláteis presentes na casca de acácia e a consequente formação dos sítios ativos de adsorção no interior da estrutura do material. De acordo

com Yang et al. (2007), a decomposição térmica de materiais lignocelulósicos apresenta picos de perda de massa para a hemicelulose (220 a 315°C), para a celulose (315 a 400°C) e para a lignina (100 e 900°C). Estas faixas de temperatura estão de acordo com os picos observados para as amostras moída e tratada quimicamente. Já no carvão comercial, nota-se um pico bem definido a baixo dos 100°C, atribuído a perda de água do material.

### 3.3 ANÁLISE DOS ENSAIOS DE BRANQUEAMENTO DO ÓLEO DE ARROZ

Após a obtenção dos materiais adsorventes, foram realizados os ensaios de branqueamento do óleo de arroz utilizando como adsorventes a casca de acácia: moída e seca (CAMS), ativada quimicamente (CAAQ), ativada química e termicamente (CAQT) e carvão comercial (CACO). Posteriormente, realizou-se a análise dos óleos branqueados quanto ao percentual de redução de peróxidos, acidez, carotenoides,  $\gamma$ -orizanol e cor. O resultado das análises dos ensaios de adsorção pode ser visualizado na Tabela 4, e demonstram os percentuais de redução dos compostos analisados em relação ao óleo de arroz neutralizado.

Tabela 4 - Percentual de variação de compostos de oxidação, acidez, carotenoides e  $\gamma$ -orizanol do óleo de arroz branqueado com os materiais produzidos e com o carvão vegetal.

Amostra	(%) de variação do índice Peróxido	(%) de variação de Acidez	(%) de variação de caratenoides	(%) de variação de $\gamma$ -orizanol.
CAMS	-14,61 $\pm$ 0,19 <sup>a</sup>	-11,13 $\pm$ 0,01 <sup>a</sup>	-31,65 $\pm$ 1,03 <sup>a</sup>	-35,00 $\pm$ 0,00 <sup>a</sup>
CAAQ	-27,75 $\pm$ 0,22 <sup>b</sup>	-19,80 $\pm$ 0,01 <sup>b</sup>	-69,43 $\pm$ 0,81 <sup>b</sup>	-17,50 $\pm$ 0,03 <sup>b</sup>
CAQT	-43,04 $\pm$ 0,19 <sup>c</sup>	-17,10 $\pm$ 0,00 <sup>c</sup>	-57,94 $\pm$ 1,18 <sup>c</sup>	-47,53 $\pm$ 0,02 <sup>c</sup>
CACO	-30,27 $\pm$ 0,29 <sup>d</sup>	-8,35 $\pm$ 0,01 <sup>d</sup>	-43,64 $\pm$ 0,85 <sup>d</sup>	-3,29 $\pm$ 0,00 <sup>d</sup>

Fonte: Autores (2021)

Nota: letras iguais na mesma coluna representam amostras sem diferença significativa com 95% de significância em teste Tukey.

Observando a Tabela 4, percebe-se que todos os adsorventes produzidos foram capazes de adsorver os peróxidos, ácidos graxos livres, carotenoides e  $\gamma$ -orizanol presente no óleo de arroz neutralizado, resultando em um percentual de diminuição desses compostos no óleo branqueado. Analisando apenas os adsorventes produzidos quanto a redução do percentual de  $\gamma$ -orizanol, percebe-se que a casca de acácia ativada quimicamente obteve o menor percentual (17,5%), o que pode ser considerado um fator positivo quando comparado com os demais, uma vez que o óleo de arroz tem sua estabilidade aumentada devido à presença deste composto, que é um antioxidante presente somente neste óleo, ao qual também se atribuiu efeito hipocolesterolêmico (SCAVARIELLO, 1997; SEETHARAMAIAH; CHANDRASEKHARA, 1993).

Quanto aos carotenoides, observa-se que a casca de acácia ativada quimicamente foi responsável pela redução de 69,43% desses compostos presentes no óleo branqueado, sendo o material com maior percentual de redução entre os utilizados. O valor encontrado é semelhante ao reportado por STRIEDER *et al.* (2015), que obteve um percentual de redução de 65% de carotenoides no óleo de arroz, utilizando como adsorvente blendas de terra e carvão ativado. Segundo Foletto *et al.* (2013), os carotenoides, juntamente com a clorofila, são os principais pigmentos responsáveis pela cor do óleo de arroz, e sua remoção possibilita a produção de um óleo de cor clara e estável, com maior aceitabilidade do consumidor.

Com relação à redução da acidez, observar-se que a casca de acácia ativada quimicamente foi o material responsável pelo maior percentual de redução, demonstrando assim, que o adsorvente produzido adsorve parte dos ácidos graxos livres presentes no óleo neutralizado. Os ácidos graxos livres presentes em concentrações elevadas no óleo, proporciona a ocorrência de uma série de reações, como a formação de sabores e odores desagradáveis. Assim, a redução da acidez indica uma melhor qualidade do óleo (ENGELMANN *et al.*, 2016).

Já para o peróxido, o adsorvente que apresentou um maior percentual de redução foi a casca de acácia ativada química e termicamente, com um valor de 43,04%. Este resultado pode ser atribuído a estrutura formada no material adsorvente em decorrência do tratamento térmico realizado, tendo está favorecido a adsorção

deste composto. Quando comparamos o valor obtido com o reportado na literatura, verificasse que este valor é maior que o encontrado por alguns autores, como Strieder (2016), que obteve um percentual de redução de 36% de peróxido no óleo de arroz, utilizando como adsorvente blendas de nylon-6 e quitosana, e Pohndorf *et al.* (2016), que obteve um percentual de redução de 40% de peróxido no óleo de arroz, utilizando como material adsorvente pó de quitosana. Já Strieder *et al.* (2015), obteve um percentual de redução de 80% de peróxidos no óleo de arroz, utilizando como adsorvente blendas de terra e carvão ativado.

A medida de cor Lovibond do óleo de arroz branqueado com os diferentes materiais adsorventes, encontram-se na Tabela 5. Segundo Menacho *et al.*, (2007), os valores mais altos de leitura do parâmetro vermelho e amarelo, traduzem maiores concentrações de carotenoides. Destaca-se, que todos os adsorventes empregados na etapa do branqueamento reduziram a cor do óleo de arroz branqueado em relação ao neutralizado, uma vez que não foi possível realizar a leitura deste, pois o óleo neutralizado apresentou-se com uma coloração muito escura, o que inviabilizou sua análise pelo equipamento utilizado. Assim, verifica-se através da tabela abaixo, que o maior valor de leitura do parâmetro vermelho foi para a amostra do óleo de arroz branqueado com a casca da acácia moída e seca. Destaca-se, que este valor está de acordo com o resultado demonstrado na Tabela 4, onde verifica-se que a casca de acácia moída e seca foi a responsável pelo menor percentual de redução de carotenoides. Esta relação também é verificada para os demais adsorventes. A retirada dos compostos que dão cor aos óleos vegetais busca mais atender uma exigência dos consumidores, do que um requisito de qualidade, uma vez que os corantes naturais não são considerados prejudiciais, e sua retirada pode até implicar na diminuição das propriedades alimentícias e nutricionais (ROHR, 1973 apud MENACHO *et al.*, 2007).

Tabela 5 – Medidas de cor lovibond em óleo de arroz branqueado com casca de acácia moída e seca (CAMS), ativada quimicamente (CAAQ), ativada química e termicamente (CAQT) e carvão comercial (CACO).

<b>Amostra</b>	<b>Vermelho</b>	<b>Amarelo</b>	<b>Azul</b>	<b>Neutro</b>
CAMS	86	70	0	0
CAAQ	70	70	0	0
CAQT	72	70	0	0
CACO	73	70	0	0

Fonte: Autores (2021)

Diante dos resultados obtidos nas Tabelas 4 e 5, pode-se afirmar que todos os materiais adsorventes produzidos apresentaram potenciais adsorptivos para serem empregados na etapa do branqueamento. No entanto, sugere-se o uso da CAAQ, uma vez que esta apresentou maior redução de carotenoides, cor e acidez, com menor perda de  $\gamma$ -orizanol. Quanto ao índice de peróxido, verifica-se que, embora não tenha sido o adsorvente mais eficiente na redução deste composto, o óleo branqueado com este material apresentou índice de peróxido de 9,8 meq/kg, bem como índice de acidez de 0,33 mgKOH/g, valores estes dentro do estabelecido pela legislação para óleos vegetais refinados de no máximo 10 meq/kg e 0,6 mgKOH/g respectivamente (BRASIL, 2005).

#### **4 CONCLUSÃO**

Os resultados para as caracterizações físicas dos adsorventes produzidos mostraram concordância com a literatura. O diâmetro de partículas para a CAMS foi de 121,7  $\mu\text{m}$ . Com a realização dos tratamentos químico e térmico esse valor foi reduzido, ficando 67,5  $\mu\text{m}$  para a CAAT e 41,6  $\mu\text{m}$  para a CAQT. A área superficial específica obtida para CAQT foi de 204,9  $\text{m}^2/\text{g}$ , com um volume total de poros de 0,09  $\text{cm}^3/\text{g}$ , enquanto que o CACO apresentou um valor da área superficial específica de 592,8  $\text{m}^2/\text{g}$ , com um volume total de poros de 0,34  $\text{cm}^3/\text{g}$ . O teor de carbono fixo aumentou de 9,89% da CAMS para 39,97% para CAQT. Quanto à análise das fases cristalinas, ocorreu a diminuição da intensidade de cristalinidade da CAMS com os tratamentos realizados, que provocaram a hidrólise e degradação da celulose. O carvão produzido apresentou característica amorfa, porém com alguns picos indicando resquícios de alguma substância cristalina. O TGA demonstrou que na CAAQ a solução alcalina provocou a degradação das hemiceluloses. Quanto na CAQT, observa-se que o tratamento químico tornou a hemicelulose menos estável

termicamente devido ao tratamento realizado. Observa-se também que curvas muito similares para a perda de massa, sugerem resquícios de hidróxido de sódio no carvão.

No que se refere aos resultados para os ensaios de branqueamento do óleo de arroz, verificou-se que todos os adsorventes produzidos apresentaram redução para o percentual de peróxidos, acidez, carotenoides,  $\gamma$ -orizanol e cor. A CAAQ foi o adsorvente que obteve o maior percentual de redução para carotenoides (69,43%) e acidez (19,80%), bem como obteve o melhor resultado para a redução da cor do óleo de arroz neutralizado. Destaca-se também, que dentre os adsorventes produzidos, a CAAQ foi a que apresentou a menor perda para o teor de  $\gamma$ -orizanol (17,5%). Quanto ao índice de peróxido, a CAQT foi a que obteve o maior percentual de redução dentre os adsorventes testados (43,04%). Ao comparar os resultados obtidos pelos adsorventes produzidos com o carvão comercial, verificou-se que este foi responsável pela redução de 30,27% do índice de peróxido, 8,35% do índice de acidez, 43,64% para o percentual de carotenoides e 3,29% para o teor de  $\gamma$ -orizanol.

Desta forma, pode-se afirmar que tanto à CAAQ quanto à CAQT apresentaram resultados satisfatórios ao serem empregados no processo de branqueamento do óleo de arroz, atingindo parâmetros de redução de peróxidos, acidez, carotenoides e cor melhores do que quando empregado o adsorvente comercial, o que demonstra, que os materiais produzidos tem potencial adsorvente.

## 5 REFERÊNCIAS

AHMARUZZAMAN, Md., "Adsorption of phenolic compounds on low-cost adsorbents: a review", **Colloid Interface Science**, v. 143, n. 1-2, p. 48-67. 2008. Doi :10.1016/j.cis.2008.07.002. Disponível em: <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S0001868608001139?token=5AC19A865D0C0E9808CD8F68338EB1548F096FCFC63DD40C3743BBA244902AF92DEC390D93F6FDF8D1E7AE255EB6C2E6>. Acesso em: 20 janeiro 2021.

AHMED, M. J.; DHEDAN, S. K. Equilibrium isotherms and kinetics modeling of methylene blue adsorption on agricultural wastes-based activated carbons, **Fluid Phase Equilib.** 2012. Disponível em: <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S0378381211006017?token=FF13DCC42D68A4496CACD34B92D8EF1D316752EA34D71C66C384758D22BEE461531C4F1037FB72555BADE71A234BABEA>. Acesso em: 24 janeiro 2021.

ALEMDAR, A.; SAIN, M. Isolation and characterization of nanofibers from agricultural residues – Wheat straw and soy hulls. **Bioresource Technology**. 2008. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852407003719?via%3Dihub>. Acesso em: 18 fevereiro 2021

ALMEIDA, V. C.; CAZETTA, A. L.; SOUZA, I.P.A.F.; BEDIN K.C.; MARTINS, A.C.; SILVA T.L. Adsorption studies of methylene blue onto ZnCl<sub>2</sub>-activated carbon produced from buriti shells (*Mauritia flexuosa* L.). **Journal of Industrial and Engineering Chemistry**. 2014. Disponível em:

<https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S1226086X14000926?token=D891D5409258539249F0D242EEE6DE14E55A7DFB918EDC96B33901063304506DE316E3515B171DB9C45D8F1F4BE6034F>. acesso em: 24 janeiro 2021.

ALMEIDA, P. S. **Análise da fluidodinâmica da casca de cacau em leite de jorro estudo experimental e simulação via cfd**. (Dissertação de Mestrado).

Universidade Federal do Espírito Santo. 2016. Disponível em:

[https://repositorio.ufes.br/bitstream/10/5356/1/tese\\_9535\\_Disserta%C3%A7%C3%A3o%20Priscilla%20S%20Almeida%20%20vers%C3%A3o%20inicial.pdf](https://repositorio.ufes.br/bitstream/10/5356/1/tese_9535_Disserta%C3%A7%C3%A3o%20Priscilla%20S%20Almeida%20%20vers%C3%A3o%20inicial.pdf). acesso em: 17 fevereiro 2021.

ANISUZZAMAN, S. M.; JOSEPH, C. G.; TAUFIQ-YAP, Y. H.; KRISHNAIAH, D.; TAY, V. V. Modification of commercial activated carbon for the removal of 2,4-dichlorophenol from simulated wastewater, **Journal of King Saud University – Science**, n. 27, p. 318–330. 2015. Doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jksus.2015.01.002>. Disponível em:

<https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S101836471500004X?token=02B0F33BC021178D0280C6C029E1C0E0AD74D2293EF4805BF07722AC58F6B65883E0EA8D4F17214F090D2E38B5244DDC>. Acesso em: 03 agosto 2020.

BANSAL, P.; HALL, M.; REALFF, M.; LEE, J. H.; BOMMARIUS, A. S. Multivariate statistical analysis of X-ray data from cellulose: a new method to determine degree of crystallinity and predict hydrolysis rates. **Bioresource Technology**. 2010. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852410001549?via%3Dihub>. Acesso em: 18 fevereiro 2021.

BOONAMNUAYVITAYA, V.; CHAIYA, C.; TANTHAPANICHAKOON, W.; JARUDILOKKUL, S. Removal of heavy metals by adsorbent prepared from pyrolyzed coffee residues and clay. **Separation and Purification Technology**. p. 11-22. 2004. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1383586603001102>. Acesso em: 19 janeiro 2021.

BRASIL, Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **resolução- rdc nº 270, de 22 de setembro de 2005**. 2005. Disponível em:

[https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/anvisa/2005/rdc0270\\_22\\_09\\_2005.html](https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/anvisa/2005/rdc0270_22_09_2005.html). Acesso em: 21 março 2021.

- BREBU, M.; VASILE, C. Thermal degradation of lignin – a review. **Cellulose chemistry and technology**. 2009. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/237090542\\_Thermal\\_degradation\\_of\\_lignin\\_-\\_A\\_Review](https://www.researchgate.net/publication/237090542_Thermal_degradation_of_lignin_-_A_Review). Acesso em: 23 janeiro 2021.
- BRUSCATTO, M. H.; BAUER, V. R. P.; RUTZ, J. K.; ZAMBIASI, R. C. Caracterización del aceite de salvado de arroz. **Revista Ciência e Tecnologia**. n. 18, p. 28-32, 2012. Disponível em: <https://www.fceqyn.unam.edu.ar/recyt/index.php/recyt/article/view/469/389>. Acesso em: 20 janeiro 2021.
- CARRIER, M. et al. Impact of the lignocellulosic material on fast pyrolysis yields and product quality. **Bioresource technology**, v. 150, p. 129-138, 2013. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852413015769>. Acesso em 17 fevereiro 2021.
- CLAUDINO, A. **Preparação de carvão ativado a partir de turfa e sua utilização na remoção de poluentes**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química). Universidade Federal de Santa Catarina, SC. 2003. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/86346/192226.pdf?sequence>. Acesso em: 17 fevereiro 2021.
- CRINE, G. Non-conventional low-cost adsorbents for dye removal: **A review**. **Bioresource Technology**, v. 97, n. 9, p. 1061-1085. 2006. Doi: doi:10.1016/j.biortech.2005.05.001. Disponível em: <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S0960852405002452?token=0664CC20AEEB488051308F02EC390AB6153DA43C69E72D48C102A5A1D11CB6D411BBEB438A7D9A0F10309E83E51C1DC2>. Acesso em: 20 janeiro 2021.
- DUKU, M. H. **Bio-oil production from Lignocellulosic biomass using fast pyrolysis in a fluidized-bed reactor**. 2014. Tese de Doutorado. NKRUMAH UNIVERSITY.
- ENGELMANN, J. I.; RAMOS, L. P.; CREXI, V. T.; MORAIS, M. M. Degumming and neutralization of rice bran oil. **Journal of Food Process Engineering**. 2016. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/jfpe.12362>. Acesso em: 24 janeiro 2021.
- ESQUERDO, L. T. **Pirólise da casca de buriti e ativação térmica de seu carvão vegetal para uso como adsorvente na adsorção do cobre II**. Trabalho de Conclusão de Curso. (graduação em Ciência e Tecnologia – Ênfase em Tecnologia Mineral). Universidade Federal do Pará. Disponível em: [https://bdm.ufpa.br:8443/jspui/bitstream/prefix/1566/1/TCC\\_PiroliseCascaBuriti.pdf](https://bdm.ufpa.br:8443/jspui/bitstream/prefix/1566/1/TCC_PiroliseCascaBuriti.pdf). Acesso em: 23 janeiro 2021.
- FIGUEREDO, G. P.; PEREIRA, A. I. S.; SILVA, J. W. Clarificação de óleos vegetais com argilas esmectitas: uma revisão. *Acta Tecnológica*, v. 9, n. 2, p.63-68. 2004.

Disponível em:

<https://portaldeperiodicos.ifma.edu.br/index.php/actatecnologica/article/view/274/209>.

FOLETTTO, E. L.; PAZ, D. S.; GÜNDEL, A. Acid-activation assisted by microwave of a Brazilian bentonite and its activity in the bleaching of soybean oil. **Applied Clay Science**. 2013. Disponível em:

<https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S0169131713002445?token=E2146BA61BEFDF67CB6B43B844D9B35E0AC389B824F3AFD846677EDB5F3D0FF89086CD6A00BAEDAD06F7D9B2F9721DC7>. Acesso em: 24 janeiro 2021.

FRANZ, M.; ARAFAT, H. A.; PINTO, N. G. Effect of chemical surface heterogeneity on the adsorption mechanism of dissolved aromatics on activated carbon.

**Carbon**, p.1807–1819. 1999. Disponível em:

<https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S0008622300000129?token=F42FB020EE97DFAE6305A0BA4EFEBBA5E4C8EE91812CC102BB842BFDD883CC7079625B280813A08322DC960C57C9CAD9>. Acesso em: 23 janeiro 2021.

GASSAN J.; BLEDZKI A. K. Composites reinforced with cellulose based fibres.

**Progress in Polymer Science**. p. 221-274. 1999. Disponível em:

<https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S0079670098000185?token=C362929FBFB07A8F39887B67A92C41D3C91CBF3FEFAF876116B6602CB24CEA4D037D3B0504C10664C0485813A00A015D>. Acesso em: 23 janeiro 2021.

GÓMEZ, E. O. **Estudo da Pirólise Rápida de Capim Elefante em Leito Fluidizado Borbulhante Mediante Caracterização dos Finos de Carvão** Tese

(Doutorado) - Curso de Pós-graduação da Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas-unicamp, Campinas, 2002. Disponível em: <http://repositorio.unicamp.br/handle/REPOSIP/257210>. Acesso em: 17 fevereiro 2021.

GUTERRES, F. P. **Adsorção de azul de metileno por zeólita sintetizada a partir das cinzas leves da gaseificação do carvão mineral de Candiota/RS**. Dissertação (Mestrado em Engenharias). UNIPAMPA. Bagé. 2019. Disponível em:

<http://dspace.unipampa.edu.br/bitstream/rii/5170/1/Fernanda%20Pedroso%20Gutierrez%20-%202019.pdf>. acesso em 20 janeiro 2021.

HAIMOURS, N.M.; EMEISH, S. Utilization of date stones for production of activated carbon using phosphoric acid. **Wasman Waste Management** 26 (2006) p. 651–660. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X05002175?via%3Dihub>. Acesso em: 19 janeiro 2021.

IRGA – **Instituto Rio Grandense do Arroz**. Abertura da Colheita do Arroz termina em Capão do Leão. Porto Alegre. 2021. Disponível em:

<https://irga.rs.gov.br/abertura-da-colheita-do-arroz-termina-em-clima-de-superacao>. Acesso em 06 maio 2021.

KRISNAWATI, H.; KALLIO, M.; KANNINEN, M. **Acacia mangium Willd.**: ecology, silviculture and productivity. Bogor: CIFOR, 2011. Disponível em: <https://www.cifor.org/knowledge/publication/3392/>. Acesso em: 06 maio 2021.

LAM, P. S.; SOKHANSANJ, S. B. X.; LIM C. J.; JAYASHANKAR, T.; REZAIE. G.; NAIMI L. J.; WOMAC, A. R. Effect of particle size and shape on physical properties of biomass grinds. In: **ASABE Annual International Meeting**. Providence, Rhode Island, 2008. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/236900912\\_Effect\\_of\\_Particle\\_Size\\_and\\_Shape\\_on\\_Physical\\_Properties\\_of\\_Biomass\\_Grinds](https://www.researchgate.net/publication/236900912_Effect_of_Particle_Size_and_Shape_on_Physical_Properties_of_Biomass_Grinds). Acesso em: 23 janeiro 2021.

LIMA, D. R.; SELLAOUI, L.; KLEIN, L.; REIS, G. S.; LIMA, E. C.; DOTTO, G. L. Physicochemical and Thermodynamic Study of Malachite Green Adsorption on Raw and Modified Corn Straw. **The Canadian Journal of Chemical Engineering**. 2018. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/cjce.22948>. Acesso em: 18 fevereiro 2021.

LINHARES, F. A.; MARCÍLIO, N. R.; MELO, P. J.; Estudo da produção de carvão ativado a partir do resíduo de casca da acácia negra com e sem ativação química. **Scientia cum Industria**. V.4, N. 2. p.74-79. 2016. Disponível em: <http://www.ucs.br/etc/revistas/index.php/scientiacumindustria/article/view/4467/pdf#>. Acesso em: 23 janeiro 2021.

LOFFREDO, R.; MACHADO, J. A.; MAGALHÃES, W. L. E.; LIMA, E. A. Rendimento e qualidade do carvão produzido pela carbonização em um novo forno metálico. **5 Congresso internacional de Bioengenharia**. Curitiba. 2010. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/881409/rendimento-e-qualidade-do-carvao-produzido-pela-carbonizacao-em-um-novo-forno-metalico>. Acesso em: 17 fevereiro 2021.

LOWELL, S.; SHIELDS, J. E. Powder Surface Area and Porosity. 3.ed. London: Chapman & Hall, (1991).

LUDTKE, F. L. **Estudo da degomagem e clarificação do óleo bruto de farelo de arroz visando refino físico. Dissertação** (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2016. Disponível em: <https://pdfs.semanticscholar.org/23e8/78780fe20b1ee81e51d119349279cbd5bd21.pdf>. Acesso em: 19 janeiro 2021.

MAIA, B. G. O.; SOUZA O.; MARANGONI C. Production and Characterization of Fuel Briquettes from Banana Leaves Waste. **Chemical Engineering Transactions**. 2014. Disponível em: <https://www.aidic.it/cet/14/37/074.pdf>. Acesso em 23 janeiro 2021.

MANDARINO, J. M. G.; ROESSING, A. C. Tecnologia para produção do óleo de soja: descrição das etapas, equipamentos, produtos e subprodutos. Londrina: **Embrapa Soja**, 2001. Disponível em:

<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPSO/18455/1/doc171.pdf>.

MANI, S.; TABIL, L. G.; SOKHANSANJ, S. Evaluation of compaction equations applied to four biomass species. **canadian biosystems engineering**. 2004. Disponível em: <https://library.csbe-scgab.ca/docs/journal/46/c0404.pdf>.

MARTON, J. M.; FELIPE, M. G. A.; SILVA, J. B. A.; JÚNIOR, A. P. Avaliação de carvões ativos e das condições de adsorção no tratamento do hidrolisado hemicelulósico de bagaço de cana empregando planejamento de experimentos. **Revista Analytica**. 2003. Disponível em:

MAULINA, S.; IRIANSYAH. M. Characteristics of activated carbon resulted from pyrolysis of the oil palm fronds powder. **IOP Conference Series: Materials Science and Engineering** 2018. Disponível em: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/309/1/012072/pdf>. Acesso em: 17 fevereiro 2021.

MCKENDRY, P. Energy production from biomass: overview of biomass. **Bioresource technology**. 2002. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852401001183?via%3Dihub>. Acesso em: 17 fevereiro 2021.

MELO, S. S. **Produção do Carvão Ativado a partir da Biomassa Residual da Castanha do Brasil (Bertholletia Excelsa L.) para Adsorção do Cobre (II)**. Dissertação de Mestrado, (Pós Graduação em Engenharia Química) Belém. Universidade Federal do Pará. 2012. Disponível em: <http://repositorio.ufpa.br/jspui/handle/2011/4636>. Acesso em: 23 janeiro 2021.

MENDOZA, Z. M. S. H.; BORGES, P. H. M.; RIBEIRO A. S.; FERNANDES, F. B. Aspectos gerais sobre adesivos para madeira. **Multitemas**. Campo Grande, 2017. Disponível em: <https://www.multitemas.ucdb.br/multitemas/article/view/1412/1378>. Acesso em: 08 maio 2021

MENEZES, M. J. S. **Poder Calorífico e Análise Imediata da Maravalha de Pinus (Pinus Sp) e Araucária (Araucaria Angustifolia) de Reflorestamento Como Resíduos de Madeira**. Dissertação de Mestrado. (Mestrado em Energia na Agricultura), Universidade Estadual do Oeste do Paraná – Unioeste. Cascavel. 2013. Disponível em: [http://131.255.84.101/media/Dissertacao\\_Marta\\_J\\_S\\_Menezes.pdf](http://131.255.84.101/media/Dissertacao_Marta_J_S_Menezes.pdf). Acesso em: 17 fevereiro 2021.

MONTE, M. L.; MONTE, M. L.; POHNDORF, R. S.; CREXI, V. T.; PINTO, L. A. A. Bleaching with blends of bleaching earth and activated carbon reduces color and oxidation products of carp oil. **Eur. J. Lipid Sci. Technol**. 2015. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/ejlt.201400223>. Acesso em: 24 janeiro 2021.

PATRICIO, J. S.; HOTZA, D.; NONI JÚNIOR, A. Argilas adsorventes aplicadas à clarificação de óleos vegetais. **Cerâmica**, v. 60, p.171-178, 2014. Disponível em

<https://www.scielo.br/pdf/ce/v60n354/a02v60n354.pdf>. Acesso em: 19 janeiro 2021.

PAVLOVIC, D. M.; CURKOVIC, L.; MACAN, J.; ZIZEK, K. Eggshell as a New Biosorbent for the Removal of Pharmaceuticals From Aqueous Solutions. **Clean Soil Air Water**. 2017. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/clen.201700082>. Acesso em: 19 janeiro 2021.

PESTANA, V.R. **Avaliação da qualidade do óleo de arroz e do conteúdo de ocoferóis e orizanol durante o processo de refino**. Dissertação (Mestrado em tecnologia agroindustrial). Universidade Federal de Pelotas, 2007. Disponível em: <https://www.yumpu.com/pt/document/read/29954652/vanessa-pestana-2007>.

RAHNAMA, N.; MAMAT, S.; SHAH, U. K.; LING, F. H.; RAHMAN, N. A. A.; ARIFF, A. B. Effect of Alkali Pretreatment of Rice Straw on Cellulase and Xylanase Production by Local *Trichoderma harzianum* SNRS3 under Solid State Fermentation. **BioResources**. 2013. Disponível em: [https://ojs.cnr.ncsu.edu/index.php/BioRes/article/view/BioRes\\_08\\_2\\_2881\\_Rahnama\\_Alkali\\_Pretreatment\\_Rice\\_Straw/2107](https://ojs.cnr.ncsu.edu/index.php/BioRes/article/view/BioRes_08_2_2881_Rahnama_Alkali_Pretreatment_Rice_Straw/2107). Acesso em: 18 fevereiro 2021.

REIS, A. A.; MELO, I. C. N. A.; PROTÁSIO, T. P.; TRUGILHO, P. F.; CARNEIRO, A. C. O. Efeito de Local e Espaçamento na Qualidade do Carvão Vegetal de um Clone de *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake. **Floresta e Ambiente**, Lavras/MG, v. 5, n. 19, p.497-505. 2012. Disponível em: [https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S2179-80872012000400012&script=sci\\_abstract&tlng=pt](https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S2179-80872012000400012&script=sci_abstract&tlng=pt). Acesso em: 17 fevereiro 2021.

ROSALES, E.; MEIJIDE, J.; TAVARES, T.; PAZOS, M.; SANROMÁN, M. A. Grapefruit peelings as a promising biosorbent for the removal of leather dyes and hexavalent chromium. **Process Safety and Environmental Protection**. p. 61–71. 2016. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0957582016000586?via%3Dihub>. Acesso em: 19 janeiro 2021.

SANTOS, F. A.; FRANKENBERG, C. L.C.; PIRES, M. J. R. Materiais biossorbentes e seus requisitos de Conformidades para tratamento de efluentes industriais. **Anais do 12º Encontro Brasileiro sobre Adsorção**, 2018. Disponível em: [https://repositorio.pucrs.br/dspace/bitstream/10923/12600/2/MATERIAIS\\_BIOSSORVENTES\\_E\\_SEUS\\_REQUISITOS\\_DE\\_CONFORMIDADES\\_PARA\\_TRATAMENTO\\_DE\\_EFLUENTES\\_INDUSTRIAIS.pdf](https://repositorio.pucrs.br/dspace/bitstream/10923/12600/2/MATERIAIS_BIOSSORVENTES_E_SEUS_REQUISITOS_DE_CONFORMIDADES_PARA_TRATAMENTO_DE_EFLUENTES_INDUSTRIAIS.pdf). Acesso em: 23 janeiro 2021.

SCAVARIELLO, E. M. S. **Recuperação de y - orizanol da borra de neutralização de óleo de farelo de arroz**. dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 1997 Disponível em: [http://repositorio.unicamp.br/jspui/bitstream/REPOSIP/256075/1/Scavariello\\_ElieteMalfattiSerra\\_M.pdf](http://repositorio.unicamp.br/jspui/bitstream/REPOSIP/256075/1/Scavariello_ElieteMalfattiSerra_M.pdf). acesso em 24 janeiro 2021.

SEETHARAMAIAH, G. S.; CHANDRASEKHARA, N. Comparative hypocholesterolemic activities of oryzanol, curcumin and ferulic acids in rats. **Journal of Food Science and Technology**. 1993. Disponível em: <http://ir.cftri.com/320/>. Acesso em: 24 janeiro 2021.

SIGNORELLI, S. C. M.; SILVA, T. L.; SANTOS, K. J. L.; SOLETTI, J. I.; VIEIRA M. G. A. Determinação da massa específica de biomassa de plantas do nordeste do Brasil e seus biocarvões e avaliação da afinidade metálica para os íons  $\text{Cu}^{+2}$ ,  $\text{Ni}^{+2}$  e  $\text{Cr}^{+3}$ . **XII Congresso Brasileiro de Engenharia Química em Iniciação Científica**. São Paulo. 2017. Disponível em: XII Congresso Brasileiro de Engenharia Química em Iniciação Científica. Acesso em: 23 janeiro 2021.

SILVA, B.; MARTINS, M.; ROSCAC, M.; ROCHAA, V.; LAGO, A.; NEVES, I. C.; TAVARES, T. Waste-based biosorbents as cost-effective alternatives to commercial adsorbents for the retention of fluoxetine from water. **Separation and Purification Technology**. 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1383586619314467?via%3Dihub>. Acesso em: 19 janeiro 2021.

SILVA, E. M. **Obtenção, caracterização e utilização do carvão de serragem como adsorvente para purificação de água**. Dissertação de mestrado (Mestrado em Engenharia Ambiental). Universidade Federal do Tocantins. Palmas. 2018. Disponível em: <http://repositorio.uft.edu.br/bitstream/11612/1058/1/Evanuzia%20Miranda%20da%20Silva%20-%20Disserta%C3%A7%C3%A3o.pdf>. Acesso em: 17 fevereiro 2021.

SILVA, E. O.; SANTOS, V. D.; ARAUJO, E. B.; GUTERRES, F. P.; ZOTTIS, R.; FLORES, W. H.; ALMEIDA, A. R. F. Removal of methylene blue from aqueous solution by ryegrass straw. **International Journal of Environmental Science and Technology**. 2020. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s13762-020-02718-9>. Acesso em: 20 janeiro 2021.

SILVA, J. **Estudo da eficiência e da aplicabilidade de carvão ativado resultante de pirólise de casaca de arroz em barreiras reativas na remoção de contaminantes em solo**. Tese de Doutorado (doutorado em engenharia). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2009. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/18292>. Acesso em: 17 fevereiro 2021.

STRIEDER, M. M.; BORBA, V. S.; PINHEIRO, C. P.; POHNDORF R. S.; PINTO, L. A. A. Otimização de branqueamento de óleo de farelo de arroz com blendas de adsorventes. **XI Congresso brasileiro de engenharia química em iniciação científica**. 2015. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/300147658\\_OTIMIZACAO\\_DE\\_BRANQUEAMENTO\\_DE\\_OLEO\\_DE\\_FARELO\\_DE\\_ARROZ\\_COM\\_BLENDAS\\_DE\\_ADSORVENTES](https://www.researchgate.net/publication/300147658_OTIMIZACAO_DE_BRANQUEAMENTO_DE_OLEO_DE_FARELO_DE_ARROZ_COM_BLENDAS_DE_ADSORVENTES). Acesso em: 21 março 2021.

TAVARES, M. A. M. A expressiva quebra nas safras nacional e regional de arroz exige reflexões, decisões e mudanças. **Planeta arroz**. 2019. Disponível em: [https://www.planetaarroz.com.br/artigos/285/A\\_expressiva\\_quebra\\_nas\\_safras\\_nacional\\_e\\_regional\\_de\\_arroz\\_exige\\_reflexoes\\_decisoese\\_mudancas](https://www.planetaarroz.com.br/artigos/285/A_expressiva_quebra_nas_safras_nacional_e_regional_de_arroz_exige_reflexoes_decisoese_mudancas) . Acesso em 20 de janeiro de 2021.

TEIXEIRA, C. M.; MARTINS, M. P.; YAMAMOTO, H.; CHRISOSTOMO, W; YAMAJI, F. M. Caracterização química de resíduos de eucalyptus sp. de floresta de curta rotação para a produção de bioenergia. **Rev. Virtual Quim**. 2016. Disponível em: <http://static.sites.s bq.org.br/rvq.s bq.org.br/pdf/v8n5a24.pdf>.

VYAZOVKIN, S.; BURNHAMB, A. K.; CRIADO, J. M.; PÉREZ-MAQUEDA, L. A.; POPESCU, C.; SBIRRAZZUOLI, N. ICTAC Kinetics Committee recommendations for performing kinetic computations on thermal analysis data. *Thermochimica Acta*, v. 520 p.1-19, 2011. Disponível em: <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S0040603111002152?token=0666EF5971CC1273E2A6350FF78D3D0F7AE32218D485E50A42AD79A598F11BEAD1CB45763BCA85DF9CE21E1465699F92>. Acesso em: 20 janeiro 2021.

WERLANG. E. B.; SCHNEIDER. R. C. S.; RODRIGUEZ. A. L.; CAROLINA NIEDERSBERG WERLANG. C. N. Produção de carvão ativado a partir de resíduos vegetais. **Revista Jovens Pesquisadores** - Santa Cruz do Sul, 1. p. 156-167: Vol. III. 2013. Disponível em: <https://online.unisc.br/seer/index.php/jovenspesquisadores/article/view/3600/2675>. Acesso em: 17 fevereiro 2021.

YACOB, A. R.; SWAIDAN, H. A. Phosphoric Acid Effect on Prepared Activated Carbon from Saudi Arabia's Date Frond Waste. **Applied Mechanics and Materials**. 2012. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/241439090\\_Phosphoric\\_Acid\\_Effect\\_on\\_Prepared\\_Activated\\_Carbon\\_from\\_Saudi\\_Arabia's\\_Date\\_Frond\\_Waste](https://www.researchgate.net/publication/241439090_Phosphoric_Acid_Effect_on_Prepared_Activated_Carbon_from_Saudi_Arabia's_Date_Frond_Waste). Acesso em: 17 fevereiro 2021.

YANG H, YAN R, CHEN H, LEE D H, ZHENG C. Characteristics of Hemicellulose, Cellulose and Lignin Pyrolysis. **Fuel**. p. 1781-1788. 2007. Disponível em: <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S001623610600490X?token=44EDF75C429566B4DB0BBE8C82569688DC28D5D662BCD2E11D93375123B21B54551FB975B416C1A6DDF46C5119DA8024>. Acesso em: 24 janeiro 2021.

Z. Wang, Y. Gou, K. Yu, H. Xu, Effects of activation conditions on preparation of porous carbon from rice husk. **Carbon**. p. 1645–1687. 2003. Disponível em: <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S0008622303000848?token=68DF70283AEC15DFCF26CC4C10579E4A09562EEC977CDE6CA3A423C6FF06F32FE14DD9BBD04D2F065837F4B7E1DFDF2>. Acesso em: 24 janeiro 2021.

## 5 CONCLUSÕES GERAIS DA DISSERTAÇÃO

Conclui-se que a produção dos materiais adsorventes foi bem-sucedida, onde os resultados obtidos demonstraram que o resíduo gerado pela extração do tanino da casca da acácia negra apresenta características favoráveis para ser usado como matéria prima viável para a produção de material adsorvente a ser utilizado na etapa do branqueamento do óleo de arroz. Assim, verifica-se que o desenvolvimento deste trabalho contribuiu com um estudo que beneficia a região sul do Estado do Rio Grande do Sul, pois demonstrou a viabilidade da utilização de resíduos da acacicultura, o que agrega valor, minimiza o impacto ambiental e aponta uma alternativa para a indústria. Ressalta-se ainda, que a realização deste trabalho contribuiu para alavancar a pesquisa na UNIPAMPA, com a interação de docentes, pesquisadores, alunos de graduação e pós-graduação.

## 6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Sugere-se que em trabalhos futuros sobre este tema sejam abordados os seguintes itens:

- a) Realizar planejamento experimental fatorial para otimização das condições de processo dos carvões ativados para diferentes agentes ativantes, variando-se a razão de impregnação, concentração de solução, temperatura e tempo de pirólise;
- b) Realizar outras análises como MEV, FTIR e FRX;
- f) Estudos do branqueamento do óleo de arroz com variação do percentual de massa de adsorvente em razão da massa de óleo;
- g) Realizar estudos de adsorção com outros óleos vegetais;
- h) Realizar estudos de potencial de carga zero.

## REFERÊNCIAS

ABOISSA – **Óleos vegetais**. Produto: Farelo de arroz. São Paulo, 2019. Disponível em: <https://www.aboissa.com.br/en/news/article/1884-o-farelo-de-arroz-na-nutricao-animal>. Acesso em: 24 jun. 2021, 08:52:30.

ABREU, Marcela Breves. **Preparação de carvão ativado de bagaço de cana-de-açúcar e sua aplicação na adsorção de Cd(II) e Cu(II)**. Trabalho de conclusão de Curso (Graduação em Tecnologia e Processos Químicos), UTFPR. Apucarana, 2013. Disponível em: [http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/3404/1/AP\\_COPEQ\\_2012\\_2\\_02.pdf](http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/3404/1/AP_COPEQ_2012_2_02.pdf). Acesso em: 03 ago. 2020, 08:19:20.

AGEFLOR – Associação Gaúcha de Empresas Florestais. **As indústrias de base florestal no Rio Grande do Sul: Anos base 2015**. Porto Alegre, 2016. Disponível em <http://www.ageflor.com.br/noticias/wp-content/uploads/2017/08/A-INDUSTRIA-DE-BASE-FLORESTAL-NO-RS-2017.pdf>. Acesso em: 21 jul. 2020, 14:23:10.

AGEFLOR – Associação Gaúcha de Empresas Florestais. **Mapas - A indústria de base florestal no Rio Grande do Sul: Anos base 2016**. Porto Alegre, 2017. Disponível em <http://www.ageflor.com.br/noticias/biblioteca/mapas-a-industria-de-base-florestal-no-rs-2017>. Acesso em: 21 jul. 2020, 14:32:23.

AGEITEC - Agência Embrapa de Informação Tecnológica. **Arroz-beneficiamento**. Brasília, DF, 2014. Disponível em <https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/arroz/arvore/CONT000fok5vmke02wyiv80bhgp5pu0flzl6.html>. Acesso em: 21 jul. 2020, 15:30:18.

AGEITEC - Agência Embrapa de Informação Tecnológica. **Arroz-beneficiamento**. Brasília, DF, 2017. Disponível em <https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/arroz/arvore/CONT000fe7457q102wx5eo07qw4xezy8czjj.html>. Acesso em: 21 jul. 2020, 15:47:31.

AHMARUZZAMAN, Md., “Adsorption of phenolic compounds on low-cost adsorbents: a review”, *Colloid Interface Science*, v. 143, n. 1-2, p. 48-67. Assam, Índia, 2008. Disponível em: <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S0001868608001139?token=5AC19A865D0C0E9808CD8F68338EB1548F096FCFC63DD40C3743BBA244902AF92DEC390D93F6FDF8D1E7AE255EB6C2E6>. Acesso em: 24 jun. 2020, 09:36:18.

ALNEI, Reinaldo. Plantio de Acácia Negra está em plena expansão. **Jornal Ibiá**. Monte Negro, 2019. Disponível em: <https://jornalibia.com.br/destaque/plantio-de-acacia-negra-esta-em-plena-expansao/>. Acesso em: 06 mai. 2021, 16:30:45.

AKSU, Zümriye; ERTUGRUL, Sevgi; DÖNMEZ, Gönül. Methylene Blue biosorption by *Rhizopus arrhizus*: Effect of SDS (sodium dodecylsulfate) surfactant on biosorption properties. **Chemical Engineering Journal**, v. 158, n. 3, p. 474–481. Ancara, 2010. Disponível em:

<https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S1385894710000501?token=90BBF3238BEEBB14554DB239777CDA9215D8DC72061C9E9E01BC193D41495B64CD798804BE3DAD81727BAA4390857E8F>. Acesso em: 03 ago. 2020, 13:45:06.

Anisuzzaman, S. M.; Joseph, C. G.; Taufiq-Yap, Y. H.; Krishnaiah, D.; Tay, V. V. Modification of commercial activated carbon for the removal of 2,4-dichlorophenol from simulated wastewater, **Journal of King Saud University – Science**, n. 27, p. 318–330. Riad, 2015. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S101836471500004X?via%3Dihub>. Acesso em: 03 ago. 2020. 14:25:12.

ANVISA – Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **RDC Nº 482**, DE 23 DE SETEMBRO DE 1999. Regulamento Técnico para Fixação de Identidade e Qualidade de Óleos e Gorduras Vegetais. Brasília, DF, 1999. Disponível em: [https://freitag.com.br/files/uploads/2018/02/portaria\\_norma\\_499.pdf](https://freitag.com.br/files/uploads/2018/02/portaria_norma_499.pdf). Acesso em: 03 ago. 2020, 16:15:12.

ATTIAS, Nina; SIQUEIRA, Marinez Ferreira; BERGALLO, Helena de Godoy. **Acácias australianas no Brasil: histórico, formas de uso e potencial de invasão**. Portal de Revistas do ICMBBio (Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade). Biodiversidade Brasileira. 3(2). p. 74-96. Rio de Janeiro, 2013. Disponível em: <https://core.ac.uk/reader/228999912>. Acesso em: 03 ago. 2020, 11:56:20.

BARROS, Almíria da Roda Beckhauser. **Remoção de íons metálicos em água utilizando diversos adsorventes**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – UFSC. Florianópolis. 2001. Disponível em: <https://core.ac.uk/download/pdf/30362699.pdf>. Acesso em: 03 ago. 2020, 13:11:46.

BASSINELLO, Priscila Zaczuk; CASTRO, Emílio da Maia. **Arroz como alimento**. Informe agropecuário - EMBRAPA. v. 25, n. 222, p-101-108. Belo Horizonte, 2004. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/212777/1/BassinelloIA.pdf>. Acesso em: 03 ago. de 2020, 18:12:05.

BOLAND, Douglas John *et al.* **Forest trees of Australia. Melbourne**: Nelson-CSIRO, Sydney, 1984. Disponível em: [file:///C:/Users/Rogério%20Camargo/Desktop/Disserta%C3%A7%C3%A3o/Forest%20Trees%20of%20Australia%20by%20D.J.%20Boland,%20M.I.H.%20Brooker,%20G.M.%20Chippendale,%20N.%20Hall,%20B.P.M.%20Hyland,%20R.D.%20Johnston,%20D.A.%20Kleinig,%20\(z-lib.org\).pdf](file:///C:/Users/Rogério%20Camargo/Desktop/Disserta%C3%A7%C3%A3o/Forest%20Trees%20of%20Australia%20by%20D.J.%20Boland,%20M.I.H.%20Brooker,%20G.M.%20Chippendale,%20N.%20Hall,%20B.P.M.%20Hyland,%20R.D.%20Johnston,%20D.A.%20Kleinig,%20(z-lib.org).pdf). Acesso em: 04 ago. 2020, 17:15:10.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Projeções do agronegócio: Brasil 2016/17 a 2026/27**. Brasília: MAPA/SPA, 2017. Disponível em: <file:///C:/Users/Rogério%20Camargo/Downloads/projecoes-do-agronegocio-2018.pdf>. Acesso em: 04 ago. 2020, 10:10:31.

BRUSCATTO, Mariângela; BAUER, Vanessa Pestana; RUTZ, Josiane; ZAMBIASI, Rui. Caracterización del aceite de salvado de arroz. **Revista Ciência e Tecnologia**, n. 18, p. 28-32. Pelotas, 2012. Disponível em: [http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1851-75872012000200005&lng=en&tlng=en&gathStatIcon=true](http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1851-75872012000200005&lng=en&tlng=en&gathStatIcon=true). Acesso em: 03 ago. 2020, 10:50:12.

CASATI, Mayke Ochner. **Utilização de bagaço de cana-de-açúcar como adsorvente na clarificação de óleo de soja**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Alimentos). UNIPAMPA. Bagé. 2017. Disponível em: <file:///C:/Users/Rogério%20Camargo/Desktop/Disserta%C3%A7%C3%A3o/referencias%20arroz/Casati%202017.pdf>. Acesso em: 04 ago. 2020

COELHO, Gabriela Farias *et al.* Uso de técnicas de adsorção utilizando resíduos agroindustriais na remoção de contaminantes em água. **Journal of Agronomic Science**, v. 3, p. 291–317. Maringá, 2014. Disponível em: <http://www.dca.uem.br/V3NE/21.pdf>. Acesso em: 03 ago. 2020, 09:20:14.

CONAB-Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira 2012/2013 – Décimo levantamento**. Brasília, 2013. Disponível em: [file:///C:/Users/Rogério%20Camargo/Downloads/Boletim\\_Graos\\_julho\\_2013%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/Rogério%20Camargo/Downloads/Boletim_Graos_julho_2013%20(1).pdf). Acesso em: 21 jul. 2020, 22:18:50.

COUTINHO, Fernanda; GOMES, Ailton; TEIXEIRA, Viviane Gomes. Principais métodos de caracterização da porosidade de resinas a base de divinilbenzeno, **Química Nova**, v. 24, n. 6, p. 808-818. Rio de Janeiro, 2001. Disponível em: [http://static.sites.s bq.org.br/quimicanova.s bq.org.br/pdf/Vol24No6\\_808\\_18.pdf](http://static.sites.s bq.org.br/quimicanova.s bq.org.br/pdf/Vol24No6_808_18.pdf). Acesso em: 03 ago. 2020, 15:16:58.

COONEY, David. **Adsorption Design for Wastewater Treatment**. Florida: CRC Press, 1999. Disponível em: [https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=jS3BVK1T3ilC&oi=fnd&pg=PA1&dq=COONEY,+D.+O.+Adsorption+Design+for+Wastewater+Treatment&ots=fpzhMWZJ9u&sig=VVNN0fBsjaHsH-F5\\_allKW-wB-E#v=onepage&q=COONEY%2C%20D.%20O.%20Adsorption%20Design%20for%20Wastewater%20Treatment&f=false](https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=jS3BVK1T3ilC&oi=fnd&pg=PA1&dq=COONEY,+D.+O.+Adsorption+Design+for+Wastewater+Treatment&ots=fpzhMWZJ9u&sig=VVNN0fBsjaHsH-F5_allKW-wB-E#v=onepage&q=COONEY%2C%20D.%20O.%20Adsorption%20Design%20for%20Wastewater%20Treatment&f=false). Acesso em: 04 ago. 2020, 15:09:20.

CREMASCO, Marco Aurélio. **Operações unitárias em sistemas particulados e fluidomecânicos**. São Paulo: Blucher, 2012. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?id=9NeMDwAAQBAJ&printsec=frontcover&dq=Opera%C3%A7%C3%B5es+unit%C3%A1rias+em+sistemas+particulados&hl=pt-BR&sa=X&ved=2ahUKEwjdhJnu64HrAhXpDrkGHRQPbfAQ6AEwAHoECAIQAg#v=onepage&q=Opera%C3%A7%C3%B5es%20unit%C3%A1rias%20em%20sistemas%20particulados&f=false>. Acesso em: 04 ago. 2020, 19:06:59.

CRINE, Gregorio. Non-conventional low-cost adsorbents for dye removal: A review. **Bioresource Technology**, v. 97, n. 9, p. 1061-1085. Besançon, 2006. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852405002452>. Acesso em: 03 ago. 2020, 18:50:20.

D'ARCE, Maria Aparecida Bismara. Extração e refino de óleos vegetais: Preparo do grão. In: OETTERER, M.; D'ARCE, M. A. B. R.; SPOTO, M. H. F. **Fundamentos de Ciência e Tecnologia de Alimentos**. Manole. p. 300-351. Barueri, 2006. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?id=sSdwGdNkfJIC&pg=PA323&dq=Extra%C3%A7%C3%A3o+e+refino+de+%C3%B3leos+vegetais&hl=pt-BR&sa=X&ved=2ahUKEwjQmsKz7IHrAhUxK7kGHeaiCwMQ6AEwAHoECAEQAg#v=onepage&q=Extra%C3%A7%C3%A3o%20e%20refino%20de%20%C3%B3leos%20vegetais&f=false>. Acesso em: 04 ago. 2020, 21:20:36.

DEMIRAL, Hakan; DEMIRAL, İknur; KARABACAKOĞLU, Belgin; TUMSEK, Fatma. Production of activated carbon from olive bagasse by physical activation. **Chemical Engineering Research and Design**. v. 89. p. 206-213. Eskisehir, 2011. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S026387621000167X>. Acesso em: 03 ago. 2020, 15:41:12.

DENG, Hui; ZHANG, Genlin; XU, Xiaolin; TAO, Guanghui; DAI, Jiulei. Optimization of preparation of activated carbon from cotton stalk by microwave assisted phosphoric acid-chemical activation. **Journal of Hazardous Materials**, v. 182, p. 217–224. Xinjiang, 2010. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304389410007582>. Acesso em: 04 ago. 2020, 19:50:30.

DIAS, Joana; ALVIM-FERRAZ, Maria; ALMEIDA, Manuel; RIVERA-UTRILLA, José.; SÁNCHEZ-POLO, Manuel. Waste materials for activated carbon preparation and its use in aqueous-phase treatment: A review. **Journal of Environmental Management**, v. 85, p. 833–846. Granada, 2007. Doi: 10.1016/j.jenvman.2007.07.031. Disponível em: <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S0301479707002964?token=7B31F2AF531498A4DEA04FD2209E4B183F7CD4B5F6D83A902ADA2FAA50975A6A04DB26A86D81FD6FF60B8939382CC7B2>. Acesso em: 03 ago. 2020, 16:20:17.

DOMINGUES, Valentina Maria Fernandes. **Utilização de um produto natural (cortiça) como adsorvente de pesticidas piretróides em águas. 2005.** Tese (Doutorado em Engenharia Química) - FEUP. Porto. 2005. Disponível em: <https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/12811/2/Texto%20integral.pdf>. Acesso em: 03 ago. 2020, 15:20:12

DUNLOP, R.W.; GOODRICKE, T.; CLARKE, C.R.E. **Open-pollinated family variation in growth, wood, and dissolving pulp properties of *Acacia mearnsii*.** In: FOREST GENETICS FOR THE NEXT MILLENNIUM. Proceedings Pietermaritzburg: ICFR. p. 103-110. Durban. 2000. Disponível em: [https://scholar.google.com.br/scholar?q=Open-pollinated+family+variation+in+growth,+wood,+and+dissolving+pulp+properties+of+Acacia+mearnsii&hl=pt-BR&as\\_sdt=0&as\\_vis=1&oi=scholart](https://scholar.google.com.br/scholar?q=Open-pollinated+family+variation+in+growth,+wood,+and+dissolving+pulp+properties+of+Acacia+mearnsii&hl=pt-BR&as_sdt=0&as_vis=1&oi=scholart). Acesso em: 04 ago. 2020, 13:18:20.

DUTTA, Binay Kumar. **Principles of mass transfer and separation processes.** New-Delhi: PKI Learning Private Limited. Canada. 2009. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/cjce.20228>. Acesso em: 03 ago. 2020, 11:14:50.

FERNANDES, Roseli. **Adsorventes alternativos para remoção de fenol em solução aquosa.** 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – UFSC. Florianópolis, 2005. Disponível em: <https://pdfs.semanticscholar.org/ea3c/46f5bd4e43d44fa26a40dd8b8a055bae4f33.pdf>. Acesso em: 03 ago. 2020, 17:15:08.

FIGUEREDO, Gilvan Pereira; PEREIRA, Álvaro Itáuna Schalcher; SILVA, José Wilson. Clarificação de óleos vegetais com argilas esmectitas: uma revisão. **Acta Tecnológica**, v. 9, n. 2, p.63-68. São Luis. 2004. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/343175593\\_Clarificacao\\_de\\_oleos\\_vegetais\\_com\\_argilas\\_esmectitas\\_uma\\_revisao](https://www.researchgate.net/publication/343175593_Clarificacao_de_oleos_vegetais_com_argilas_esmectitas_uma_revisao). Acesso em: 03 ago. 2020, 19:20:16.

FRANZ, Marcus; ARAFAT, Hassan. A.; PINTO, Neville. G. Effect of chemical surface heterogeneity on the adsorption mechanism of dissolved aromatics on activated carbon. **Carbon**, p.1807–1819. Cincinnati. 1999. Disponível em: <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S0008622300000129?token=F42FB020EE97DFAE6305A0BA4EFEBBA5E4C8EE91812CC102BB842BFDD883CC7079625B280813A08322DC960C57C9CAD9>. Acesso em: 03 ago. 2020, 12:15:14.

FONSECA, Jaime Roberto; CUTRIM, Veridiano dos Anjos; GUSMÃO, Andressa Rodrigues Elias; FARIA, Jackeline Marques. **Descritores Botânicos, Agronômicos e Fenológicos do Arroz (*Oryza sativa* L.).** documentos 226. Embrapa. Santo Antônio de Goiás. 2008. Disponível em: [https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/doc\\_226\\_000fyvibndf02wx5ok0ejlyhdmukfs5o.pdf](https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/doc_226_000fyvibndf02wx5ok0ejlyhdmukfs5o.pdf). Acesso em: 04 ago. 2020, 09:16:54.

GERGOVA, Katia, ESER, Semih., Effects of activation method on the pore structure of activated carbons from apricot stones. **Carbon**, v.34, p.879-888. Pensilvânia. 1996. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0008622396000280#!>. Acesso em: 03 ago. 2020, 10:10:18.

GIRGIS, Badie. S.; ABDEL-NASSER, A El-hendawy. Porosity development in activated carbons obtained from date pits under chemical activation with phosphoric acid. **Microporous and Mesoporous Materials**, v. 52, n. 2, p. 105–117. Ad Doqi. 2002. Disponível em

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1387181101004814>:. Acesso em: 03 ago. 2020, 15:16:45.

GONÇALVES, Fabrício Gomes; LELIS, Roberto Carlos Costa. Propriedades de duas resinas sintéticas após adição de tanino modificado. **Floresta e Ambiente**, v. 16, p. 1-7. Rio de Janeiro. 2009. Disponível em:

<https://www.floram.org/article/588e221ce710ab87018b4664/pdf/floram-16-2-1.pdf>. Acesso em: 03 ago. 2020, 19:20:56.

GUTERRES, Fernanda Pedroso. **Adsorção de azul de metileno por zeólita sintetizada a partir das cinzas leves da gaseificação do carvão mineral de Candiota/RS**. Dissertação (Mestrado em Engenharias). UNIPAMPA. Bagé. 2019. Disponível em:

[file:///C:/Users/Rogério%20Camargo/Desktop/Disserta%C3%A7%C3%A3o/DISSERTA%C3%87%C3%83O%20Fernanda%20Guterres%20V-FINAL%20\(7\).pdf](file:///C:/Users/Rogério%20Camargo/Desktop/Disserta%C3%A7%C3%A3o/DISSERTA%C3%87%C3%83O%20Fernanda%20Guterres%20V-FINAL%20(7).pdf). Acesso em: 04 ago. 2020, 15:20:32.

HEYLMANN, Kelly Kathleen Almeida . **Produção, caracterização e aplicação de carvão ativado de caroço de pêssigo no tratamento de efluente têxtil**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária). UFPEL. Pelotas. 2015. Disponível em: <https://wp.ufpel.edu.br/esa/files/2016/03/TCC-Kelly-Heylmann-1.pdf>. Acesso em: 04 ago. 2020, 22:15:18.

HIGA, Rosana Clara Victória; WREGGE, Marcos Silveira; MOCHIUTTI, Silas; MORA, Admir Lopes; HIGA, Antonio Rioyei; SIMON, Augusto Arlindo. **Acácia-negra**. Embrapa Amapá - Capítulo em livro científico (ALICE). p. 313-319. Colombo. 2009. Disponível em: <https://docplayer.com.br/34080517-Acacia-negra-1-introducao.html>. Acesso em: 04 ago. 2020, 17:45:12.

HOONG, Yeohbeng; PARIDAH, Md Tahir; LUGMAN, Chuah Abdullah; LOH, Yuehfeng. Fortification of sulfited tannin from the bark of Acacia mangium with phenol–formaldehyde for use as plywood adhesive. **Industrial Crops and Products**. p. 416-421. Seri Kembangan. 2009. Disponível em:

<https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S0926669009001253?token=9AD86A728D05EF3FCC656680F9AEB16335773B838AEB57B8AAC095A95105C495FE3F73408FD8E8056B9792ACE52F08D4>. Acesso em: 04 ago. 2020, 08:35:15.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura**. Brasília. 2018. Disponível em:

<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/9105-producao-da-extracao-vegetal-e-da-silvicultura.html?edicao=25472&t=resultados>.

Acesso em: 04 ago. 2020, 17:15:19.

IRGOVEL- **Industria Riograndense de Óleos Vegetais**. Porto Alegre. 2020.

Disponível em: <https://irgovel.com.br/>. Acesso em: 04 jul. 2020, 15:14:05.

JULIANO, Bienvenido. **Rice in human nutrition**. Rome. FAO, 1993. Disponível em:

<http://www.fao.org/3/t0567e/T0567E00.htm>. Acesso em 14 de jul. de 2020, 18:30:25.

JUNIOR, Manuel Alves de Sousam. **Análise das características físico-químicas, organolépticas e recicláveis dos óleos e gorduras residuais e seu gerenciamento no Brasil**. Dissertação (Mestrado em Tecnologias Aplicáveis à Bioengenharia) FTCS. Salvador. 2011. Disponível em:

<http://portal.ftc.br/bioenergia/dissertacoes/Disserta%C3%A7%C3%A3o%20Manuel%20A%20de%20Souza%20JUnior.pdf>. Acesso em: 04 agosto 2020, 14:11:15.

JUNIOR, Silas Batista Gosmes. **Avaliação técnica e econômica da aplicação de óleo vegetal de crambe como isolante elétrico em comparação com óleo de soja**. Dissertação (Desenvolvimento de Tecnologia). IEP. Curitiba PR, 2010.

Disponível em: <https://docplayer.com.br/27220956-Avaliacao-tecnica-e-economica-da-aplicacao-de-oleo-vegetal-de-crambe-como-isolante-eletrico-em-comparacao-com-oleo-de-soja.html>. Acesso em: 04 ago. 2020,17:15:25.

JUNIOR, Orlando Ferreira Cruz. **Produção de carvão ativado a partir de produtos residuais de espécies nativas da região amazônica**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica e de Materiais) UTFP. Curitiba. 2010. Disponível em:

<https://docplayer.com.br/7208585-Producao-de-carvao-ativado-a-partir-de-produtos-residuais-de-especies-nativas-da-regiao-amazonica.html>. Acesso em: 15 Abr. 2021, 13:20:17.

KARNITZ JÚNIOR, Osvaldo. **Modificação química do bagaço de cana e celulose usando anidro do EDTA. Uso destes materiais na adsorção de metais pesados em solução aquosa**. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos). UFOP. Ouro Preto. 2007. Disponível em:

[https://www.repositorio.ufop.br/bitstream/123456789/2308/1/DISSERTA%C3%87%C3%83O\\_Modifica%C3%A7%C3%A3oQu%C3%ADmicaBaga%C3%A7o.pdf](https://www.repositorio.ufop.br/bitstream/123456789/2308/1/DISSERTA%C3%87%C3%83O_Modifica%C3%A7%C3%A3oQu%C3%ADmicaBaga%C3%A7o.pdf). Acesso em: 04 ago. 2020, 11:19:09.

LOPES, Luiz Gerson. Compêndio online Gerson Luiz Lopes. **Laboratório de manejo florestal**. São Paulo. 2016. Disponível em:

<https://sites.unicentro.br/wp/manejoflorestal/11070-2/>. Acesso em: 21 de jul. de 2020, 15:14:20.

LORENZETT, Daniel Benitti; NEUHAUS Mauricio; SCHWAB, Natalia Teixeira Schwab. **Gestão de resíduos e a indústria de beneficiamento de arroz. Revista Gestão Industrial.** v. 08, n. 01, p. 219-232. Ponta Grossa. 2012. Disponível em: <file:///C:/Users/Rogério%20Camargo/Downloads/838-4079-1-PB.pdf>. Acesso em: 04 ago. 2020, 15:06:20.

LUDTKE, Fernanda Luisa. **Estudo da degomagem e clarificação do óleo bruto de farelo de arroz visando refino físico.** Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – UFSM. Santa Maria, 2016. Disponível em: <https://pdfs.semanticscholar.org/23e8/78780fe20b1ee81e51d119349279cbd5bd21.pdf>. Acesso em: 04 ago. 2020, 18:20:16.

LUNARDI, Heloíse. **Adsorção do corante azul de metileno em carvão ativado produzido a partir de endocarpo de butiá Yatay.** 2016. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Química) - UNIPAMPA. 2016. Disponível em: <https://proceedings.science/enemp/papers/producao-de-carvao-ativado-a-partir-de-endocarpos-de-butia-yatay-para-adsorcao-de-azul-de-metileno?lang=pt-br>. Acesso em: 27 jun. 2020, 22:30:02.

MANDARINO, Jose Marcos Gontijo; ROESSING, Antonio Carlos. **Tecnologia para produção do óleo de soja: descrição das etapas, equipamentos, produtos e subprodutos.** Embrapa Soja. Londrina. 2001. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPSO/18455/1/doc171.pdf>. Acesso em: 04 ago. 2020, 15:20:50.

MANGUEIRA, Erivone Soedja Veriato. **Produção de carvão ativado a partir do endocarpo de coco baía (*Cocos nucifera*) aplicado ao processo de adsorção do herbicida metribuzim.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana e Ambiental). UFP. João Pessoa. 2014. Disponível em: <https://repositorio.ufpb.br/jspui/bitstream/tede/5539/1/arquivototal.pdf>. Acesso em: 04 ago. 2020, 06:45:20.

MASLIN, Bruce. **The role and relevance of taxonomy in the conservation and utilization of Australian Acacia.** *Conservation Science*, n. 4, p.1-9 Australia. 2002. Disponível em: <https://library.dbca.wa.gov.au/static/Journals/080559/080559-04.005.pdf>. Acesso em: 04 ago. 2020, 15:14:56.

MCCABE, Warren; SMITH, Julian.C. **Unit Operations of Chemical Engineering.** Fifth edition. McGraw – Hill International. New York. 1993. Disponível em: <https://ostad.nit.ac.ir/payaidea/ospic/file2634.pdf>. Acesso em: 04 ago. 2020, 11:20:50.

MENEZES, Maraisa Lopes. **Remoção do corante reativo azul 5G a partir de soluções aquosas utilizando o bagaço do maracujá amarelo como adsorvente.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – UEM. Maringá. 2010. Disponível em: <http://livros01.livrosgratis.com.br/cp120934.pdf>. Acesso em: 04 ago. 2020, 14:11:20.

MORA, Ademir Lopes. **Aumento da produção de sementes geneticamente melhoradas de *Acacia mearnsii* de Wild. (Acácia-negra) no Rio Grande do Sul.** Tese (Doutorado em Ciência Florestal). UFP. Curitiba. 2002. Disponível em: <https://acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/25380/T%20-%20MORA%2C%20ADMIR%20LOPES.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 04 ago. 2020, 16:30:25.

MOREIRA, Sarah de Abrel. **Adsorção de íons metálicos de efluente aquoso usando bagaço do pedúnculo de caju: estudo de batelada e coluna de leito fixo.** Dissertação (Mestrado em Saneamento Ambiental) UFC, Fortaleza, 2008. Disponível em: [http://www.repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/17229/1/2008\\_dis\\_samara%c3%bajo.pdf](http://www.repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/17229/1/2008_dis_samara%c3%bajo.pdf). Acesso em: 04 ago. 2020, 17:15:17.

MURARO, Pérsio; CAMELO, Caeverton de Oliveira; DENIS, Fabiola Arenhardt. Aproveitamento da casca de arroz (CA) no município de Bagé-RS. **VI Simpósio da Ciência do Agronegócio.** FA. Porto Alegre. 2018. Disponível em: <https://www.ufrgs.br/cienagro/wp-content/uploads/2018/10/Aproveitamento-da-casca-de-arroz-CA-no-munic%C3%ADpio-de-Bag%C3%A9-RS.pdf>. Acesso em: 03 ago. 2020, 12:20:15.

NASCIMENTO, Ronaldo Ferreira; LIMA, Ari Clecius Alves; VIDAL, Carla Bastos; MELO, Diego de Quadros; RAULINO, Giselle Santiago Cabral. **Adsorção: aspectos teóricos e aplicações ambientais.** Fortaleza. 2014. Disponível em: <http://www.repositorio.ufc.br/handle/riufc/53271>. Acesso em: 04 ago. 2020, 18:25:30.

NIEDERSBERG, Carolina. **Ensaio de adsorção com carvão ativado produzido a partir da casca do tungue (*Aleurites fordii*), resíduo do processo de produção de óleo.** Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental). USCS. Santa Cruz do Sul. 2012. Disponível em: <https://docplayer.com.br/10428444-Ensaio-de-adsorcao-com-carvao-ativado-produzido-a-partir-da-casca-do-tungue-aleurites-fordii-residuo-do-processo-de-producao-de-oleo.html>. Acesso em: 04 ago. 2020, 15:42:05.

OETTERER, Marília *et al.* **Fundamentos de ciência e tecnologia de alimentos.** Manole. 1ª edição. p.612. São Paulo. 2006. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?id=sSdwGdNkfJIC&printsec=frontcover&dq=Fundamentos+de+ci%C3%Aancia+e+tecnologia+de+alimentos.&hl=pt-BR&sa=X&ved=2ahUKEwjAkLSW8IHrAhVyILkGHZroAVsQ6AEwAHoECAQQAg#v=onepage&q=Fundamentos%20de%20ci%C3%Aancia%20e%20tecnologia%20de%20alimentos.&f=false>. Acesso em: 04 agosto 2020.

OLIVEIRA, Cristina Gomes. **Proposta de modelagem para a clarificação de óleos vegetais – experimentos cinéticos e simulação do processo indústria.**

Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) UFSC, Florianópolis. 2001.

Disponível em:

<https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/81983/211676.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 04 ago. 2020, 11:20:30.

OLIVEIRA, Elisangela Antonieta. **Estudo do potencial de utilização da biomassa de Luffa cylindrica na descontaminação de efluentes contendo íons metálicos e corantes têxteis.**

Tese (Doutorado em Ciências) – UEM. Maringá. 2007. Disponível em:

<http://repositorio.uem.br:8080/jspui/bitstream/1/3925/1/000166122.pdf>. Acesso em: 04 ago. 2020, 16:56:12.

ORTHOEFER, F. T. Rice bran oil: Healthy lipid source. **Food Technology**, v. 50,

n.12, p. 62-64, 1996. Disponível em: <https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=US201301525061>.

Acesso em: 04 ago. 2020, 17:10:20.

PATRICIO, J. S.; HOTZA, D.; NONI JÚNIOR, A. Argilas adsorventes aplicadas à

clarificação de óleos vegetais. **Cerâmica**, v. 60, p.171-178, 2014. Disponível em

<https://www.scielo.br/pdf/ce/v60n354/a02v60n354.pdf>. Acesso em: 04 agosto 2020.

PAUCAR-MENACHO, L. M.; SILVA, L. H.; SANTANNA, A. S.; GONÇALVES, L. A. G.

Refining of rice bran oil (*Oryza sativa* L.) to preserve γ-oryzanol. **Ciência e**

**Tecnologia de Alimentos**. v. 27. p. 45-53. 2007. Disponível em:

<https://www.scielo.br/pdf/cta/v27s1/a09v27s1.pdf>. Acesso em: 04 agosto de 2020.

PESTANA, Vanessa Ribeiro. **Avaliação da qualidade do óleo de arroz e do**

**conteúdo de tocoferóis e orizanois durante o processo de refino.** Dissertação

(Mestrado em tecnologia agroindustrial). UFPEL. Pelotas. 2007. Disponível em:

[http://dctaufpel.com.br/ppgcta/manager/uploads/documentos/dissertacoes/vanessa\\_pestana\\_2007.pdf](http://dctaufpel.com.br/ppgcta/manager/uploads/documentos/dissertacoes/vanessa_pestana_2007.pdf). Acesso em: 04 ago. 2020, 12:15:20.

QUEIROZ, Lorena Aires Lombardi *et al.* Macauba pulp oil bleaching using

commercial adsorbent and activated carbon from endocarp of the own fruit. **JCEC.**

Viçosa. 2016. Disponível em:

<https://periodicos.ufv.br/jcec/article/view/2446941602022016057/pdf>. Acesso em: 12 mar. 2021, 11:15:20.

ROOSTAEI, Nadia; TEZEL, Handan. Removal of phenol from aqueous solutions by adsorption. **Journal of Environmental Management**, v. 70, n. 2, p. 157–164. Ottawa 2004. Disponível em:

<https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S0301479703002032?token=CDE98C5A07FEE17040E61469B7FC9171821355CF29C36BD57FC65D7FE13E3CF175499101BB4A4756E3065F01011C0F36>. Acesso em: 04 ago. 2020,13:12:50.

RUTHVEN, Douglas. **Principles of adsorption process**. New York: Wiley, 1984. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/01676989859003765>. Acesso em: 04 ago. 2020, 14:54:05.

SABAH, Eyup. Decolorization of vegetable oils: Chlorophyll-a adsorption by acid-activated sepiolite. **Journal of Colloid and Interface Science**. Afyon. 2007. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0021979707000884?via%3Dihub>. Acesso em: 10 mai. 2021, 19:17:15.

SCHNEIDER, Paulo Roberto; TONINI, Hélio. Utilização de variáveis dummy em equações de volume para *Acacia mearnsii* de Wild. **Ciência Florestal**, v. 13, n. 2, p. 121-129. Santa Maria. 2003. Disponível em: [file:///C:/Users/Rogério%20Camargo/Downloads/53413213%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/Rogério%20Camargo/Downloads/53413213%20(1).pdf). Acesso em: 04 ago. 2020, 18:25:30.

SEAPDR – Secretaria da Agricultura, Pecuária e Desenvolvimento Rural. **Pesquisas potencializam produção de mudas de acácia-negra**. Porto Alegre. 2019. Disponível em: <https://estado.rs.gov.br/pesquisas-da-agricultura-potencializam-producao-de-mudas-de-acacia-negra>. Acesso em: 04 ago. 2020, 12:10:15.

SEIGLER, David. **Economic potential from Western Australian Acacia species: secondary plant products**. Conservation Science Western Australia. p. 109-116. Urmaba. 2002. Disponível em: [https://scholar.google.com.br/scholar?q=Economic+potential+from+Western+Australian+Acacia+species&hl=pt-BR&as\\_sdt=0&as\\_vis=1&oi=scholart](https://scholar.google.com.br/scholar?q=Economic+potential+from+Western+Australian+Acacia+species&hl=pt-BR&as_sdt=0&as_vis=1&oi=scholart). Acesso em: 04 ago. 2020, 15:12:10.

SILVA, Elenara Oliveira. **Carvão ativado obtido a partir da palha de azevém (*Lolium multiflorum* Lam.) para a adsorção do corante azul de metileno**. Dissertação (Mestrado em Engenharias). UNIPAMPA. Bagé. 2019. Disponível em: <file:///C:/Users/Rogério%20Camargo/Desktop/Disserta%C3%A7%C3%A3o/Disserta%C3%A7%C3%A3o%20-%20Elenara%20Silva%202019.pdf>. Acesso em 04 ago. 2020, 20:15:30.

SOUSA, Micaelle Ciane Sobrinho. **Adsorção de azul de metileno utilizando carvão ativado produzido a partir do endocarpo do coco babaçu (*Attalea speciosa*)**. Trabalho de Conclusão de curso (Graduação em Engenharia Química). UNIPAMPA. Bagé. 2018. Disponível em: <http://dspace.unipampa.edu.br:8080/jspui/bitstream/riu/4603/1/TCCII%20-Micaelli-Adsor%C3%A7%C3%A3o-carv%C3%A3o-ativado.pdf>. Acesso em: 04 ago. 2020, 21:12:30.

SPGG – Secretaria de Planejamento Governança e Gestão. Atlas Socioeconômico do RS: **O Rio Grande do Sul é atualmente o maior produtor de arroz em casca do Brasil. 3. ed.** Porto Alegre, 2018. Disponível em: <https://atlassocioeconomico.rs.gov.br/arroz>. Acesso em: 04 ago. 2020, 15:20:14.

STRIEDER, Monique; PINHEIRO, Claudio; BORBA, Verônica; POHNDORF, Ricardo; CADAVAL JR, Tito; PINTO, Luiz. Bleaching optimization and winterization step evaluation in the refinement of rice bran oil. **Separation and Purification Technology**, v. 175. p. 72-78. Rio Grande. 2017. Disponível em: <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S1383586616306505?token=58DCC4B04E236B1198EDD31A55B6442235A7A5BA501F312A73BCA548C6BEBFB4DE69ADABA3FD999B3BFF431F0CE6CF62>. Acesso em: 04 ago. 2020, 15:15:20.

TAVARES, Marco Aurélio Marques. **A expressiva quebra nas safras nacional e regional de arroz exige reflexões, decisões e mudanças.** Planeta arroz. Cachoeira do Sul. 2019. Disponível em: [https://www.planetaarroz.com.br/artigos/285/A\\_expressiva\\_quebra\\_nas\\_safras\\_nacional\\_e\\_regional\\_de\\_arroz\\_exige\\_reflexoes\\_decisoes\\_e\\_mudancas](https://www.planetaarroz.com.br/artigos/285/A_expressiva_quebra_nas_safras_nacional_e_regional_de_arroz_exige_reflexoes_decisoes_e_mudancas). Acesso em: 21 de jul. de 2020, 19:15:05..

VOLESKY, Bohumil. **Sorption and biosorption**, BV-Sorbex. Montreal. 2003. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&id=oJ5FAQAAIAAJ&dq=Sorption+and+biosorption+volesky&focus=searchwithinvolume&q=Sorption+and+biosorption+volesky>. Acesso em: 04 ago. 2020, 13:25:30.

VYAZOVKIN, Sergey; BURNHAMB, Alan; CRIADO, José; PÉREZ-MAQUEDA, Luis; POPESCU, Crisan; SBIRRAZZUOLI, Nicolas. ICTAC Kinetics Committee recommendations for performing kinetic computations on thermal analysis data. **Thermochimica Acta**, v. 520 p.1-19. Birmingham. 2011. Disponível em: <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S0040603111002152?token=0666EF5971CC1273E2A6350FF78D3D0F7AE32218D485E50A42AD79A598F11BEAD1CB45763BCA85DF9CE21E1465699F92>. Acesso em: 04 ago. 2020,17:14:36.

WEBER, W. J. **Physicochemical processes for water quality control.** New York: John Wiley & Sons. 1972.