



UNIVERSIDADE DO VALE DO TAQUARI – UNIVATES
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO –
PPGAD

**DESENVOLVIMENTO DE CARVÃO ATIVADO A PARTIR DE CASCAS
DE NOZ-PECAN (*Carya illinoensis*)**

Júlio César Eloy

Lajeado/RS, dezembro de 2023

Júlio César Eloy

**DESENVOLVIMENTO DE CARVÃO ATIVADO A PARTIR DE CASCAS
DE NOZ-PECAN (*Carya illinoensis*)**

Dissertação apresentada ao Programa de
Pós-Graduação em Ambiente e
Desenvolvimento da Universidade do Vale
do Taquari – Univates como requisito para
obtenção do título de Mestre em Ambiente
e Desenvolvimento

Orientadora: Prof. Dra. Simone Stülp

Lajeado, dezembro de 2023

Júlio César Eloy

**DESENVOLVIMENTO DE CARVÃO ATIVADO A PARTIR DE CASCAS
DE NOZ-PECAN (*Carya illinoensis*)**

A Banca examinadora abaixo aprova a Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ambiente e Desenvolvimento, da Universidade do Vale do Taquari - Univates, como parte da exigência para a obtenção do título de Mestre em Ambiente e Desenvolvimento:

Profa. Dra. Simone Stülp - orientadora
Universidade do Vale do Taquari – Univates

Profa. Dra. Lucélia Hoehne
Universidade do Vale do Taquari – Univates

Dra. Daniela Mueller de Lara

Dra. Ana Cristina Zoratto
Universidade Nove de Julho – Uninove

Lajeado, janeiro de 2024

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Universidade do Vale do Taquari (Univates) e ao Programa de Pós-Graduação em Ambiente e Desenvolvimento (PPGAD), pela oportunidade de absorver conhecimento e pela estrutura física disponibilizada para a realização dos ensaios.

Agradeço o Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa de mestrado concedida na modalidade MAI/DAI.

Agradeço a empresa Nozes Pitol por demonstrar interesse em buscar soluções mais sustentáveis para casca de noz pecã resultante de sua produção.

Agradeço aos dois orientadores que tive neste período, Dr. Eduardo Miranda Ethur e Dra. Simone Stülp, pelos conhecimentos compartilhados, pelo direcionamento do trabalho e principalmente pela paciência que tiveram comigo.

Agradeço a Lais Bresciani bolsista de doutorado da Prof. Dra. Simone Stülp por ajudar com os ensaios de adsorção, com o software Origin 8.5 e por sua disponibilidade.

Agradeço em especial minha esposa Vanessa, por sempre acreditar no meu potencial, que em momento algum duvidou ou colocou em dúvida minha capacidade. Sem o apoio dela não teria aceitado o desafio de ingressar no mestrado e com certeza se o apoio não fosse intensificado ao final deste trabalho, não teria força emocional para terminar de escrever esta dissertação.

RESUMO

As atuais preocupações sociais abrangem a qualidade da água disponível para consumo humano e a necessidade de otimizar os processos produtivos, com ênfase na economia circular. Reconhecemos a importância de processos produtivos circulares, que não apenas criam produtos, mas também garantem a reintegração desses produtos no ciclo produtivo, reduzindo resíduos e promovendo uma cadeia produtiva mais sustentável. Nesse contexto, este trabalho buscou transformar resíduos, especificamente a casca de Noz Pecã resultante do beneficiamento do fruto da noqueira, em carvão ativado. As etapas envolveram secagem, trituração, ativação química com solução de ácido fosfórico 40%, e carbonização a 600 °C. Análises de MEV, FTIR e DSC confirmaram a presença significativa de poros no carvão, sendo os resultados consistentes com estudos anteriores. Ensaio de adsorção comparativa com carvão ativado comercial destacaram o potencial do produto para filtrar meios aquosos. Conclui-se que a casca de Noz Pecã possui grande potencial como precursora de carvão ativado, promovendo uma abordagem sustentável na gestão de resíduos.

Palavras-Chave: Adsorção; Carvão ativado; Purificação de água; Produção verde.

ABSTRACT

Current social concerns include the quality of water available for human consumption and the need to optimize production processes, with an emphasis on the circular economy. We recognize the importance of circular production processes, which not only create products, but also guarantee the reintegration of these products into the production cycle, reducing waste and promoting a more sustainable production chain. In this context, this work sought to transform waste, specifically the Pecan shell resulting from the processing of the walnut fruit, into activated carbon. The steps involved drying, crushing, chemical activation with a 40% phosphoric acid solution, and carbonization at 600 °C. SEM, FTIR and DSC analyzes confirmed the significant presence of pores in the coal, the results being consistent with previous studies. Comparative adsorption tests with commercial activated carbon highlighted the product's potential for filtering aqueous media. It is concluded that Pecan shells have great potential as a precursor to activated carbon, promoting a sustainable approach to waste management.

Keywords: Adsorption; Activated Carbon; Water Purification; Green Production.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Amostra de cascas de noz pecã cedida pela empresa Nozes Pitol	23
Figura 2. Sistema de Peneiramento	26
Figura 3. Cadinho com Casca de Noz Pecã	27
Figura 4. Cadinho Pós Banho Ultrassônico.....	27
Figura 5. Sistema de Lavagem Carvão Ativado	29
Figura 6. Imagem MEV Carvão Ativado	35
Figura 7. Gráfico FTIR carvão ativado	37
Figura 8. Espectro de FT-IR do Carvão ativado	38
Figura 9. Gráfico DSC do Carvão Ativado.....	38
Figura 10. Gráfico de TGA (linha preta) e DSC (linha cinza) de material lignocelulósico	40
Figura 11. Gráfico da Curva de calibração do Azul de Metileno.....	40
Figura 12. Gráfico da cinética de adsorção do Carvão Ativado Comercial	42
Figura 13. Gráfico da cinética de adsorção do Carvão Ativado Comercial com Carvão Ativado a partir das Cascas de Noz Pecã	42
Figura 14. Gráfico da cinética de adsorção do Carvão Ativado Casca Noz Pecã	43
Figura 15. Foto obtida durante o ensaio de adsorção	45
Figura 16. Resultado após 150 minutos em contato	45

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Fluxograma com resumo das etapas da metodologia.	24
--	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Dados pré carbonização.....	33
Tabela 2. Média dos dados Pré Carbonização	34
Tabela 3. Dados experimentais do Carvão Ativado Comercial	44
Tabela 4. Dados experimentais do Carvão Ativado Casca de Noz Pecã.....	44

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	9
1.1	Objetivo geral.....	12
1.2	Objetivos específicos.....	13
1.3	Justificativa.....	13
2	REVISÃO DA LITERATURA	15
2.1	Carvão ativado	15
2.1.1	Estruturas porosas e propriedades	16
2.1.2	Adsorção	17
2.2	Noz-Pecã	19
2.3	Economia Circular	20
3	METODOLOGIA	23
3.1	Homogeneização da amostra	25
3.2	Ativação Química.....	26
3.3	Carbonização	28
3.4	Limpeza Carvão Ativado	28
3.5	Moagem	29
3.6	Análise Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV).....	30
3.7	Análise por espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier (FTIR).....	30
3.8	Análise por calorimetria exploratória de varredura (DSC).....	30
3.9	Cinética de adsorção do Carvão ativado.....	30
3.9.1	Obtenção da curva de calibração do Azul de Metileno	30
3.9.2	Ensaio da cinética de adsorção do Carvão ativado	31
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	32
5	CONCLUSÃO	48
6	PERSPECTIVAS FUTURAS	49
	REFERÊNCIAS.....	50

1 INTRODUÇÃO

A disponibilidade de água potável de boa qualidade é um fator importante para preservar a saúde da população, sendo de conhecimento humano as epidemias causadas pela contaminação da água, no passado, que dizimaram populações. A água desempenha um papel fundamental na sustentação da vida e tem adquirido crescente destaque no contexto político-econômico. Isso se deve ao fato de que todas as comunidades dependem da água para atender às suas necessidades alimentares e de saúde. Contudo, apesar dos esforços empreendidos para garantir o uso responsável da água, esse recurso está se tornando progressivamente mais escasso e de qualidade inferior em um curto espaço de tempo (FREITAS; BRILHANTE; ALMEIDA, 2001), Boholm e Prutzer (2017) vão além ao associar as mudanças climáticas, como um fator de risco para a qualidade da água, tendo em vista que o aumento da temperatura aumenta o crescimento microbiano, e que chuvas fortes causam inundações e transbordamento de águas residuais. Ressalta-se, portanto, que a escassez de água potável vem escalando com o passar dos anos e com e como disse (ROCHA *et al.* 2006), vemos uma multiplicação de situações de estresse nos ecossistemas em todo o planeta. Cada indivíduo consome diariamente diversos litros de água doce, e é importante ressaltar que as principais fontes de água potável, como lagos e rios, representam 1% do total da água doce disponível no mundo. A maior parte desse recurso permanece inacessível, na forma de geleiras e calotas polares (70%), outros 29% pertencem a aquíferos subterrâneos, a água doce representa apenas 2,5% da quantidade total de água no nosso planeta, 97,5% de toda água do planeta é salgada, tanto (BAIRD; CANN, 2011) quanto a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) convergem para estes dados. Além dos desafios relacionados à oferta limitada e à distribuição inadequada, é fundamental considerar

os problemas de qualidade que frequentemente tornam inviável o uso da água devido à necessidade de tecnologias dispendiosas para seu tratamento.

A falta de saneamento básico se destaca como um dos principais fatores contribuintes para essa situação, afetando ainda numerosas cidades em países em desenvolvimento e emergentes. Segundo dados da Organização das Nações Unidas (ONU), em 2020, aproximadamente 4,2 bilhões de pessoas ao redor do mundo não tinham acesso a instalações sanitárias adequadas.

A promulgação da Lei Federal n. 9.433/1997 (BRASIL, 1997) marcou o reconhecimento da água como um recurso limitado e com valor econômico, tornando essencial o seu uso racional. A implementação de taxas pelo uso da água e pela correta gestão de resíduos líquidos pode ser interpretada como um estímulo à redução da demanda, visando mitigar a escassez de recursos hídricos no país (PORTO; PORTO, 2008).

Atualmente as instalações de depuração instaladas na maioria dos centros urbanos controlam esses problemas, porém o crescente desenvolvimento industrial e agrícola faz aumentar cada vez mais a quantidade e os tipos de contaminantes ambientais (SILVA *et al*, 2012).

As estações municipais de tratamento de águas residuais (ETARs) atuais são projetadas com o objetivo de eliminar sólidos, substâncias orgânicas degradáveis e nutrientes, como compostos de nitrogênio e fósforo, das águas residuais. Isso desempenha um papel fundamental na proteção dos recursos hídricos e na promoção da boa qualidade geral das águas superficiais. As águas residuais podem ser divididas em dois principais tipos, dependendo da sua origem: domésticas e industriais. As águas domésticas provêm de atividades habitacionais e podem incluir águas fecais e saponáceas. Já as águas industriais originam-se de processos de fabricação em diversos estabelecimentos, sendo suas características influenciadas pelo tipo de processo de produção. Em alguns casos, essas águas podem conter bactérias, vírus e diversas substâncias químicas, inclusive metais pesados.

De acordo com a Resolução CONAMA 430/2011, artigo 3º, os efluentes provenientes de qualquer fonte poluidora somente podem ser lançados nos corpos receptores após passarem por tratamento adequado. Nesse contexto, cabe às empresas se adaptarem a essa exigência, visando à redução dos impactos ambientais.

Os tratamentos primário e secundário têm a capacidade de remover a maior parte da matéria orgânica e dos sólidos em suspensão presentes nas águas residuais, bem como certas substâncias potencialmente prejudiciais em concentrações mínimas. No entanto, micropoluentes, como drogas, detergentes e produtos de cuidados pessoais, não são facilmente degradáveis. A liberação desses micropoluentes pelas ETARs representa atualmente um dos maiores riscos para os corpos d'água, pois pode acarretar efeitos nocivos para os organismos aquáticos, colocando em perigo todo o ecossistema (BOEHLER *et al.*, 2012; FAROOQ *et al.*, 2021). Embora a concentração de microrganismos no lodo tenda a diminuir ao longo dos processos de tratamento de águas residuais, os tanques biológicos, onde ocorrem os processos de degradação, podem se tornar ambientes propícios para o desenvolvimento e a propagação da resistência a antibióticos. Nesse contexto, a combinação de diversos microrganismos e poluentes, incluindo antibióticos em concentrações subinibitórias, favorece mutações e a transferência de determinantes de resistência por meio de mecanismos como transferência plasmidial, transdução por bacteriófagos e transformação. Como resultado, as ETARs convencionais liberam quantidades substanciais de bactérias resistentes a antibióticos (ARB) e genes de resistência a antibióticos (ARGs) em corpos d'água naturais, mesmo que sejam eficazes na redução de nutrientes e da concentração bacteriana total. Portanto, é essencial a adoção de tratamentos capazes de eliminar ou, no mínimo, reduzir os ARGs, ARB e patógenos liberados pelas ETARs (BOEHLER *et al.*, 2012).

Dessa forma, é imprescindível a implementação de etapas avançadas de tratamento a fim de reduzir a liberação de micropoluentes nas águas superficiais. Diversas metodologias estão sendo estudadas, buscando atender aos critérios de eficiência, custo e consumo de energia em escala industrial. Entre elas, destaca-se a oxidação e adsorção por meio de ozônio e carvão ativado granular ou em pó (PAC). Estudos e testes piloto têm demonstrado que ambos esses processos de tratamento adicionais melhoram significativamente a qualidade das águas residuais tratadas em relação aos micropoluentes e seus efeitos indesejados. Além disso, contribuem para a redução do número de bactérias a níveis que atendem aos padrões de qualidade estabelecidos para águas balneárias em lagos e rios (ZHANG *et al.*, 2018).

O carvão ativado tem sido utilizado como adsorvente por séculos. A estrutura do carvão ativado põe à disposição uma área superficial de adsorção de grandes dimensões. Pode ser reproduzido a partir de uma grande variedade de matérias

primas carbonizáveis, como: carvão mineral, cascas, madeiras, lignito (e outros materiais lignocelulósicos) (BANSAL; DONET; STOECKLI, 1988; HERNÁNDEZ; LABADY; LAINE, 2014; Yu *et al.* 2022). As propriedades intrínsecas do carvão ativado que se obtém são totalmente dependentes da fonte de matéria prima utilizada. Dentre as matérias primas carbonizáveis, a casca é uma ótima opção para produção de carvão ativado, visto que em muitos processos de beneficiamento de frutos ela é classificada como um resíduo da agroindústria.

A noqueira-pecã, cientificamente conhecida como *Carya illinoensis* (Wangenh.) K. Koch, é uma árvore frutífera que predomina principalmente nas regiões temperadas do Hemisfério Norte (BRISON, 1974; SPARKS, 2005; WALKER *et al.*, 2016). Ela é uma espécie caducifólia, o que significa que perde suas folhas durante o inverno, e se caracteriza por ser uma árvore de grande porte e com longa vida produtiva. Na natureza, observa-se que seus frutos desempenham um papel significativo na dieta de diversos animais, incluindo aves, raposas, esquilos, gambás, porcos selvagens, guaxinins e até mesmo seres humanos, devido ao seu alto valor nutricional. Esse fato tem contribuído para a disseminação e o cultivo dessa árvore em todo o mundo (VÁZQUEZ; LÓPEZ, 2017). O cultivo da noqueira pecã é motivado pelo interesse em seu fruto seco, a noz-pecã, que possui significativo valor nutricional e, conseqüentemente, é comercializado. No entanto, a casca que envolve o fruto se torna um resíduo no processo de beneficiamento nas agroindústrias. Essa casca é caracterizada por sua rigidez e um lento processo de decomposição, representando cerca de 45% a 50% do peso da noz-pecã, o que a torna um desafio para a indústria. A análise da composição química da casca revela a presença de celulose (30%), hemicelulose (17%) e lignina (28%) (ABATTI, 2019). Devido a essa composição química e ao tempo prolongado de decomposição, a casca de noz-pecã se mostra uma matéria-prima interessante para a produção de carvão ativado.

Neste trabalho proposto, a Nozes Pitol agroindústria familiar, a Universidade do Vale do Taquari – UNIVATES e o Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq através do programa de mestrado e doutorado acadêmico para inovação MAI/DAI visam obter carvão ativado, um agente filtrante extremamente versátil e mundialmente utilizado, a partir da casca de noz-pecã, um resíduo do beneficiamento do fruto seco nas agroindústrias.

1.1 Objetivo geral

Transformar o residual (casca) do beneficiamento da noz-pecã em carvão ativado, obtendo assim um produto com capacidade filtrante para meios aquosos.

1.2 Objetivos específicos

- Realizar a obtenção do carvão por meio de um processo controlado de carbonização da amostra;
- Ativar quimicamente o carvão obtido, explorando métodos específicos para maximizar suas propriedades;
- Efetuar análises detalhadas por Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV) para observar a estrutura morfológica do material produzido;
- Utilizar a Espectroscopia no Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR) para comparar os grupos funcionais presentes no material com outros tipos de carvão, permitindo uma análise mais abrangente;
- Realizar análises por Calorimetria Exploratória por Varredura (DSC) para avaliar a estabilidade do carvão produzido, comparando-o com outros tipos de carvão;
- Obter e comparar a cinética de adsorção do carvão ativado produzido com o carvão ativado comercialmente disponível, avaliando sua eficiência no processo de adsorção em meios aquosos.

1.3 Justificativa

Com a chegada da revolução industrial, testemunhamos um notável crescimento das tecnologias e inovações nos processos industriais, resultando na produção em larga escala de produtos de alta qualidade, bem como no aumento do emprego e no crescimento da economia global. No entanto, esse avanço trouxe consigo uma crescente preocupação com o consumo de recursos naturais e a gestão dos resíduos gerados nesse processo. Isso, por sua vez, desencadeou discussões sobre os impactos ambientais associados e suas implicações para a saúde humana, uma vez que, a médio e longo prazo, as atividades industriais podem causar danos ao meio ambiente e à qualidade de vida das pessoas. Para abordar esta crescente

preocupação, a Organização das Nações Unidas (ONU) introduziu a noção de Produção Mais Limpa, bem como a redução, reciclagem e reutilização de resíduos nos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS) e na Agenda 2030. Os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável representam um apelo global à ação, visando à erradicação da pobreza, à proteção do meio ambiente e do clima, e à garantia de paz e prosperidade para todas as pessoas em todo o mundo. O Objetivo 12 estabelece metas para assegurar padrões de consumo e produção sustentáveis até 2030, com foco na redução substancial da geração de resíduos por meio dos princípios da Economia Circular. Isso implica a implementação de ações de prevenção, redução, reciclagem e reutilização de resíduos (BIERNASKI; SILVA, 2018). A Economia Circular propõe que os recursos naturais extraídos da natureza sejam mantidos em ciclos contínuos nos processos de produção, com o objetivo de extrair o máximo valor e utilidade desses recursos. Isso é realizado por meio da distinção entre ciclos técnicos e biológicos, com a intenção de eliminar o conceito de "lixo" e criar um fluxo contínuo de recursos (SEHNEM *et al.* 2020). Essa abordagem busca não apenas promover a sustentabilidade, mas também mitigar os impactos negativos do crescimento industrial e proteger o meio ambiente a longo prazo.

Desta forma, propôs-se para Agroindústria Nozes Pitol, utilizar as cascas de noz-pecã como precursora de carvão para produzir carvão ativado, deixando de olhar a casca como resíduo proveniente do processo de beneficiamento da noz e, passando a enxergá-la como matéria prima para obter outro produto com valor agregado de venda. Deste modo, caso seja possível e viável economicamente esta transformação, a agroindústria Nozes Pitol estar-se-á mais alinhada com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável propostos pela ONU, contribuindo para uma produção mais limpa devido ao aproveitamento do seu resíduo para obtenção de um produto novo em seu portfólio, favorecendo a economia circular.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Carvão ativado

A ativação do carvão pode ser realizada de duas maneiras principais: a ativação física e a ativação química. A ativação física envolve o aquecimento do material a altas temperaturas, geralmente variando entre 800 e 1.100 °C, sob a presença de gases oxidantes, como vapor d'água, dióxido de carbono ou uma combinação desses gases. Por outro lado, a ativação química consiste na impregnação do material, que ainda não passou pelo processo de pirólise, com agentes desidratantes, como cloreto de zinco, ácido fosfórico, hidróxido de sódio, seguido pela carbonização em uma atmosfera inerte. Isso ocorre em temperaturas que geralmente variam de 400 a 900 °C (BAG, TEKIN, KARAGOZ, 2020).

No processo de ativação química, o material de origem é impregnado com um agente químico (ZnCl_2 , H_3PO_4 , H_2SO_4 , KOH , NaOH), sujeito à pirólise do material impregnado e, em seguida, lavado para remover o agente ativador (BANSAL; DONET; STOECKLI, 1988; FOGLER, 1998; AHMADPOUR; DO, 1997; DUTRA, 2021). Este processo de ativação química tem como objetivo restringir a formação de alcatrão durante a decomposição pirolítica, desta forma, o carvão obtido tem maior chance de adquirir uma porosidade elevada. No processo de fabricação de carvão ativado há muitas variáveis capazes de afetar a qualidade e características do produto final, desde os precursores de carvão, os agentes ativadores, bem como as condições e tempo da pirólise, as condições de impregnação do ativador químico, sua concentração, seu tempo de contato com o precursor de carbono, tempo de pré-secagem, atmosfera entre outros. Quando há a ativação química no processo de produção de carvão ativado a proporção do agente químico em contato com o material

precursor é uma das variáveis mais importantes no processo. Há estudos para observar diferentes efeitos e outras propriedades obtidas a partir de diferentes proporções, porém as proporções mais utilizadas são de 2:1 e 4:1 (Agente químico : Precursor de carvão). A formação de poros na estrutura do carvão deve-se a dois mecanismos, sendo o primeiro mecanismo responsável pela formação dos microporos onde o agente químico irá agir diretamente nas estruturas lignocelulósicas presentes no precursor e o segundo mecanismo o responsável pelo alargamento dos poros criados, este alargamento deve-se aos efeitos químicos presente no interior dos poros e é impulsionado quando a proporção é razoavelmente alta (RODRIGUEZ-REINOZO, 1996). Outros autores como Puziy *et al.* (2002), Hayashi *et al.* (2000), Gonzalez *et al.* (1995) observaram em suas pesquisas que carvões ativados com baixas taxas de impregnação tinham maior incidência de microporos, enquanto carvões com maiores taxas de impregnação predominavam-se mesoporos, dando embasamento ao que Rodriguez-Reinozo afirmou em 1996 no que diz respeito aos mecanismos e as taxas de impregnação.

Ao falarmos de ativação física, Suarez-Garcia, Martinez-Alonso, Tascon (2002) afirma que a temperatura ótima de pirólise para a produção de carvão ativado para precursores com estruturas lignocelulósicas é de 500 °C, sendo observado nesta temperatura o maior desenvolvimento de porosidade no material.

A superfície do carvão pode apresentar características ácidas, básicas e/ou neutras, dependendo da presença de grupos funcionais. Na interação do carvão ativado (CA) com grupos ácidos, ele tem uma tendência a adsorver preferencialmente materiais básicos, enquanto os carvões com grupos básicos têm uma propensão a adsorver materiais ácidos. Assim, a natureza química da superfície do carvão desempenha um papel importante em sua capacidade de adsorção (FENG *et al.*, 2015; DUTRA, 2021).

2.1.1 Estruturas porosas e propriedades

A porosidade é uma característica de extrema relevância para a avaliação da capacidade de adsorção do carvão ativado (HEYLMANN *et al.*, 2021). Portanto, a distribuição e o tamanho dos poros se tornam parâmetros fundamentais no estudo da porosidade, uma vez que estão diretamente relacionados à área superficial disponível do material. Para classificar o tamanho dos poros no carvão ativado, a União

Internacional de Química Pura e Aplicada (IUPAC) (MCNAUGHT; WILKINSON, 1997) estabeleceu três grupos principais com base no diâmetro dos poros:

- Microporos: possuem um diâmetro médio (ϕ) menor que 2 nm. Esses microporos desempenham um papel significativo na área superficial específica do material e são responsáveis pela elevada capacidade de adsorção de moléculas de pequenas dimensões.
- Mesoporos: possuem um diâmetro médio que varia entre 2 e 50 nm. São relevantes para a adsorção de moléculas maiores, como corantes, e contribuem significativamente para a área superficial em carvões ativados impregnados com produtos químicos.
- Macroporos: possuem um diâmetro (ϕ) maior que 50 nm. Apesar de sua presença, macroporos desempenham um papel secundário na adsorção. Sua principal função é servir como vias de transporte para moléculas menores.

2.1.2 Adsorção

As tecnologias utilizadas para o tratamento de efluentes aquosos, visando a remoção de compostos orgânicos, incluem processos biológicos, incineração, oxidação e adsorção. Cada método possui suas próprias vantagens e desvantagens. No entanto, os métodos de incineração, oxidação e processos biológicos geralmente são dispendiosos e, muitas vezes, não conseguem cumprir os limites estabelecidos para a concentração de efluentes descarregados em corpos d'água, tornando a adsorção um método mais eficaz para o tratamento de efluentes (LUZ, 2012; QUEIROZ *et al*, 2023). A adsorção é um processo que se baseia na transferência de massa e envolve a habilidade de certos sólidos de concentrar substâncias específicas presentes em meios líquidos ou gasosos em sua superfície. Quanto maior for a área superficial por unidade de massa sólida, mais eficaz será o processo de adsorção. Portanto, os adsorventes geralmente consistem em sólidos com partículas porosas (NASCIMENTO *et al*, 2014). A substância que se acumula na interface do material é comumente denominada adsorvato ou adsorbato, enquanto a superfície sólida na qual

o adsorvato se acumula é chamada de adsorvente ou adsorbente. A adsorção pode ser dividida em dois principais tipos, dependendo da natureza das forças envolvidas:

- Adsorção Física: Também conhecida como fisissorção, envolve interações relativamente fracas, como interações eletrostáticas e de Van der Waals, incluindo polarização, dipolos permanentes, dipolos induzidos e quadrupolos. Essas interações são típicas da adsorção física.

- Adsorção Química: Também chamada de quimissorção, envolve ligações mais fortes, como compartilhamento ou troca de elétrons entre o adsorvente e o adsorbato, resultando em ligações covalentes ou iônicas (PAZ, GARNICA, CURBELO, 2018; NASCIMENTO *et al*, 2014).

Vários fatores podem influenciar o processo de adsorção, como temperatura, natureza e concentração do adsorbato, natureza do adsorvente, pH, tamanho de partícula, tempo de contato e velocidade de agitação (NASCIMENTO *et al*, 2014). O equilíbrio entre adsorbato e adsorvente é alcançado quando não há mais variação na concentração na fase fluida, independentemente do tempo de contato entre o adsorbente e a substância a ser adsorvida. Essas condições de equilíbrio podem ser representadas por isotermas de adsorção, que descrevem as relações entre a concentração do adsorbato e a massa do adsorvente em uma temperatura constante (PAZ, GARNICA, CURBELO, 2018). As isotermas são fundamentais para entender o tipo de adsorção e a quantidade de substância que pode ser adsorvida, auxiliando na determinação da viabilidade do processo (MILHOMEM, 2021).

A escolha do modelo de adsorção apropriado depende da afinidade entre o adsorbato e o adsorvente, do mecanismo de adsorção adotado e das propriedades individuais do substrato, como a homogeneidade da superfície e os parâmetros de porosidade (LOWELL *et al*, 2012). Isso resulta em curvas de adsorção específicas para cada sistema. As tecnologias empregadas em tratamentos para a remoção de compostos orgânicos em efluentes aquosos são processos biológicos, incineração, oxidação e adsorção. Cada processo tem suas vantagens e desvantagens, porém os métodos de incineração, oxidação e processos biológicos geralmente são caros e não conseguem alcançar os limites estabelecidos para a concentração do efluente

descartado nos corpos d'água de adsorção, tornando a adsorção um método mais efetivo para o tratamento de efluentes (LUZ, 2012).

A adsorção é uma operação que se baseia em transferência de massa, a qual descreve a habilidade de alguns sólidos em concentrar em sua superfície determinadas substâncias em meio líquido ou gasoso, possibilitando a separação dos componentes desses fluidos. Quanto maior a superfície externa por unidade de massa sólida, mais favorável será a adsorção. Por isso, geralmente os adsorventes são sólidos com partículas porosas (NASCIMENTO *et al*, 2014). A espécie que se acumula na interface do material é normalmente denominada de adsorvato ou adsorbato, e a superfície sólida na qual o adsorvato se acumula chama-se adsorvente ou adsorbente. Os dois tipos principais de adsorção são a física e a química (NASCIMENTO *et al*, 2014; PAZ, GARNICA, CURBELO, 2018).

Os materiais adsorventes têm uma ampla gama de aplicações em laboratórios e na indústria, sendo utilizados para purificação, desintoxicação, desodorização, filtração, descoloração, modificação de sabor e concentração de várias matrizes líquidas e gasosas. Sua utilidade se deve a diversas características, como baixa reatividade térmica, resistência e resistência à variação de pH, capacidade de regeneração, inércia química, alta permeabilidade e uma considerável capacidade de adsorção, graças à sua elevada porosidade interna (ALMEIDA *et al*, 2021). No entanto, o alto custo dos materiais atualmente disponíveis no mercado pode representar um obstáculo para a aplicação generalizada desses adsorventes na indústria (ALMEIDA *et al*, 2021). Por esse motivo, tem havido um grande interesse em pesquisas e desenvolvimento no sentido de criar materiais adsorventes mais eficientes e acessíveis em termos de custo.

2.2 Noz-Pecã

A popularidade e o consumo de noz-pecã no Brasil aumentaram consideravelmente nas últimas décadas, uma vez que seu preço acessível levou muitos produtores a expandirem seus pomares. A produção de noz-pecã está concentrada nas regiões sudeste e sul do Brasil (FRONZA *et al*, 2019). Em 2019, o estado do Rio Grande do Sul foi responsável por 49% da produção brasileira (LESINA, 2020).

As nozes-pecãs são saudáveis e altamente nutritivas, apresentando alto teor de lipídios (50 a 75%) e outros nutrientes, incluindo proteínas, carboidratos e minerais em sua composição química. Além disso, as pecãs são uma fonte promissora de ácidos graxos insaturados (AGI), como ácido oleico, linoleico e linolênico (SALVADOR *et al.*, 2016), com valores semelhantes aos do azeite de oliva (HEIDARPOUR; FARHOOSH, 2018).

Na composição química da casca há celulose (30%), hemicelulose (17%) e lignina (28%) (ABATTI, 2019). A inclusão de nozes-pecãs na dieta diária fornece ácidos graxos (AG) (DO PRADO *et al.*, 2013), melhora os benefícios para a saúde humana e reduz o risco de doenças cardiovasculares e outros fatores de risco, como estresse oxidativo e inflamação (MOZAFFARIAN, 2016). Além disso, as pecãs são também fontes alimentares de diferentes fitoquímicos, incluindo compostos fenólicos, flavonoides, tocoferóis e fitoesteróis (ALVES *et al.*, 2019; SALVADOR, *et al.*, 2016). Esses constituintes estão relacionados à capacidade antioxidante da fruta e protegem contra processos de oxidação de AGI e geração de radicais livres em organismos vivos (MAHAN; ESCOTT-STUMP, 2010).

Existem mais de mil variedades reconhecidas de nozes-pecãs com diferentes biometrias, qualidade e composições químicas. Esses atributos são ferramentas úteis para a diferenciação de cultivares (LAZAROTTO *et al.*, 2014). No entanto, o cultivo em diferentes regiões, fatores genéticos, estágio de maturação e práticas de manejo pós-colheita podem afetar significativamente a composição nutricional e os componentes fitoquímicos das nozes-pecãs (YANG; LIU; HALIM, 2009; WAKELING *et al.*, 2001).

Atualmente a casca é utilizada popularmente para a obtenção de chá para tratar intoxicações medicamentosas e resultantes do tabagismo (RECKZIEGEL, 2011).

2.3 Economia Circular

Com o avanço da economia global, a humanidade tem se deparado com uma série de desafios, incluindo o esgotamento de recursos, escassez de energia, degradação ambiental, poluição, mudanças climáticas e a extinção de numerosas espécies. Diante desses problemas, tem havido uma reavaliação do sistema de desenvolvimento atual na busca por uma abordagem econômica que leve em consideração a preservação do meio ambiente (TIOSSI, SIMON, 2021).

Nesse contexto, a economia circular emergiu como uma alternativa mais viável para substituir o atual modelo industrial. A economia circular propõe um sistema fechado no qual a relação entre a utilização de recursos e a geração de resíduos segue um ciclo contínuo, mantendo o valor dos recursos extraídos e produzidos em circulação por meio de cadeias produtivas integradas (GHISELLINI; CIALANI; ULGIATI, 2016).

O destino dos materiais deixa de ser uma questão de gerenciamento de resíduos e passa a ser considerado parte do processo de design de produtos e sistemas. Isso elimina o conceito de lixo e permite acompanhar o percurso de cada material "do berço ao berço," preservando e maximizando seu valor dentro de um fluxo cíclico (WEBSTER, 2015; SEHNEM *et al* , 2020). De acordo com Sehnem *et al.* (2020), a economia circular é um sistema industrial intencionalmente reparador ou regenerativo, trazendo benefícios tanto em termos operacionais quanto estratégicos, além de um enorme potencial de inovação, geração de empregos e crescimento econômico.

Diversos estudos vêm sendo publicados nos últimos anos sob o olhar do aproveitamento de resíduos gerados na cadeia de produção das agroindústrias e indústrias de pequeno, médio e grande porte. Dutra (2021) obteve carvão ativado a partir do resíduo de casca do eucalipto branco. Nobre *et al.* (2023) realizou um estudo sobre o potencial de produção de carvão ativado a partir de resíduos agroindustriais da região amazônica. Aznar em Estocolmo no ano de 2011 escreveu a sua tese de mestrado cujo título era a caracterização do carvão ativado produzido a partir do resíduo de café por ativação química e física. Teixeira em 2020 escreveu a sua tese de mestrado defendida em Porto Alegre sob o título obtenção e caracterização de carvão ativado a partir da casca de coco verde. Silva *et al.* publicou um estudo na revista Ciência Florestal em 2023 cuja pesquisa fora produzir, tanto em laboratório quanto no campo, carvão ativado a partir do resíduo de caroço do açaí, após produção testara os diferentes carvões ativados como filtro de água para filtração. Todos estes estudos evidenciam o olhar atento tanto da sociedade, quanto da academia em buscar a otimização dos processos, otimização esta, vindo dos resíduos gerados e não apenas o incremento de rendimento de processos produtivos já estabelecidos.

A economia circular pode ser encontrada em inúmeros artigos científicos quando procuramos por "biochar". Este termo é amplamente difundido nos dias de hoje acarretando inúmeros trabalhos científicos. "Biochar" nada mais é que a

produção de carvão através de uma biomassa (comumente um resíduo) para aplicações futuras. Cito alguns trabalhos recentes que trabalham com o biochar como Amaral *et al.* (2023) e Alvarenga *et al.* (2023), além de Oliveira, Barbosa, Mendonça (2023) que fez um artigo de revisão sobre o uso de biochars para adsorção de poluentes em águas residuais, sendo possível observar a quantidade de referências atuais utilizadas em seu trabalho.

3 METODOLOGIA

Para a realização do trabalho, utilizou-se as cascas de noz pecã cedidas pela agroindústria Nozes Pitol localizada no município de Anta Gorda no Rio Grande do Sul. A amostra cedida pela empresa é da variedade Barton, vindas do talhão 5, com umidade de colheita igual a 8% e umidade de quebra igual a 5%. Foi cedido 3 sacos conforme Figura 1, com aproximadamente 25 quilogramas de cascas (residual da agroindústria) cada.

Figura 1. Amostra de cascas de noz pecã cedida pela empresa Nozes Pitol

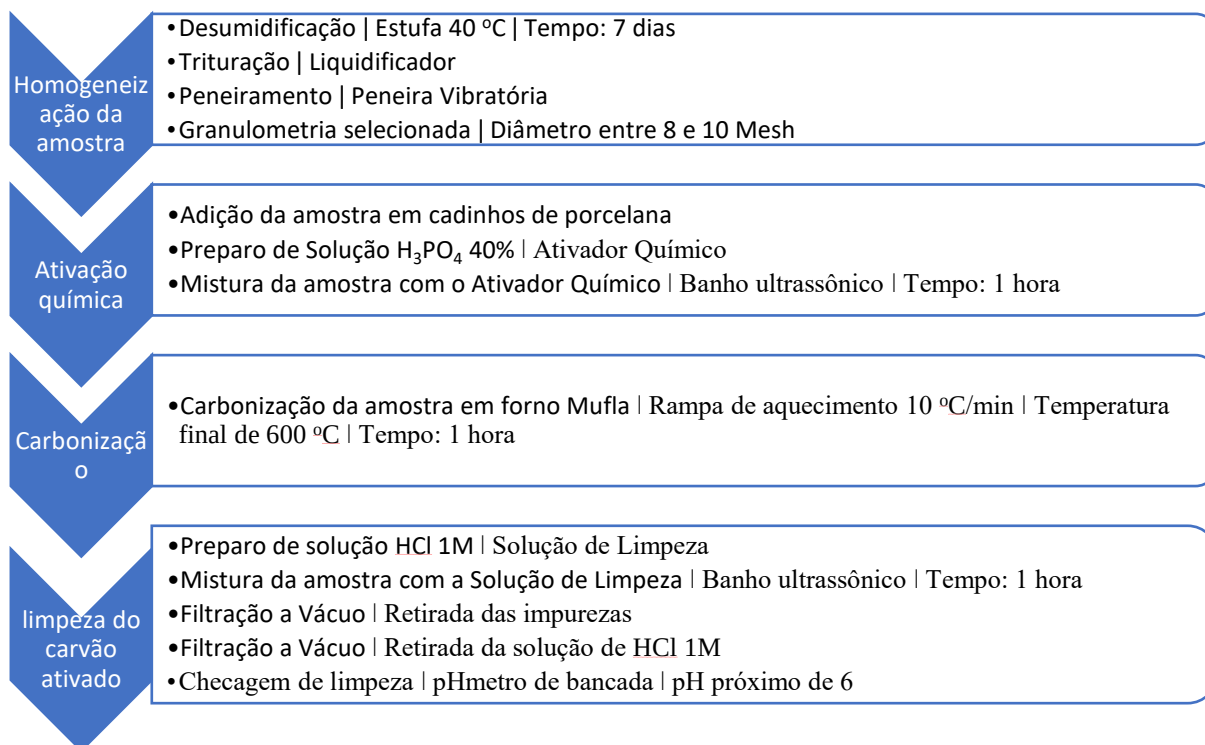


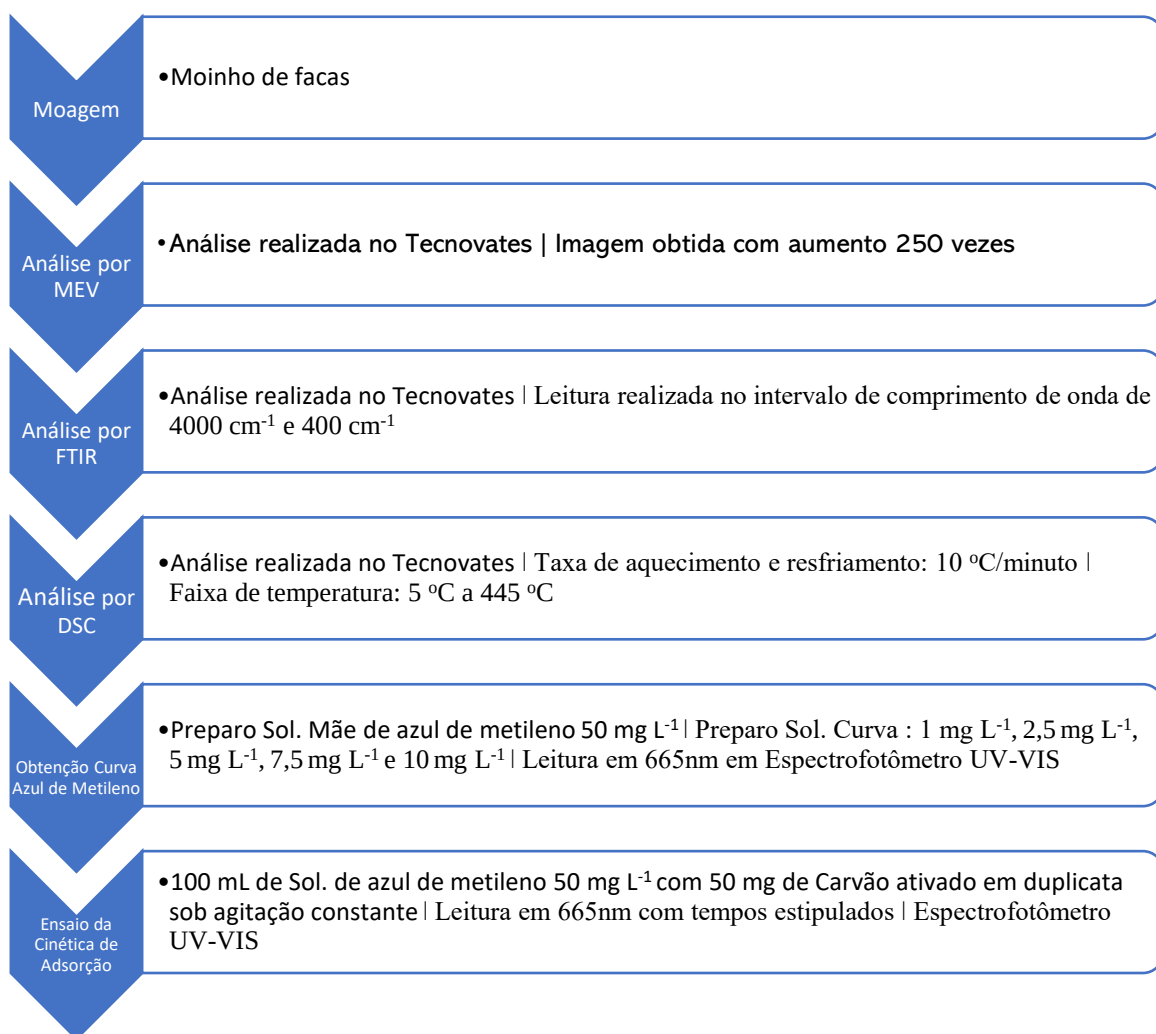
Fonte: Autor, 2023.

Neste trabalho, para a obtenção do carvão desejado realizou-se a homogeneização da amostra precursora de carvão (casca de noz pecã), ativação

química, carbonização e caracterização do carvão ativado obtido. Abaixo é possível observar um fluxograma (gráfico 1) para melhor visualização do trabalho realizado nesta pesquisa.

Gráfico 1. Fluxograma com resumo das etapas da metodologia.





Fonte: Autor, 2023.

3.1 Homogeneização da amostra

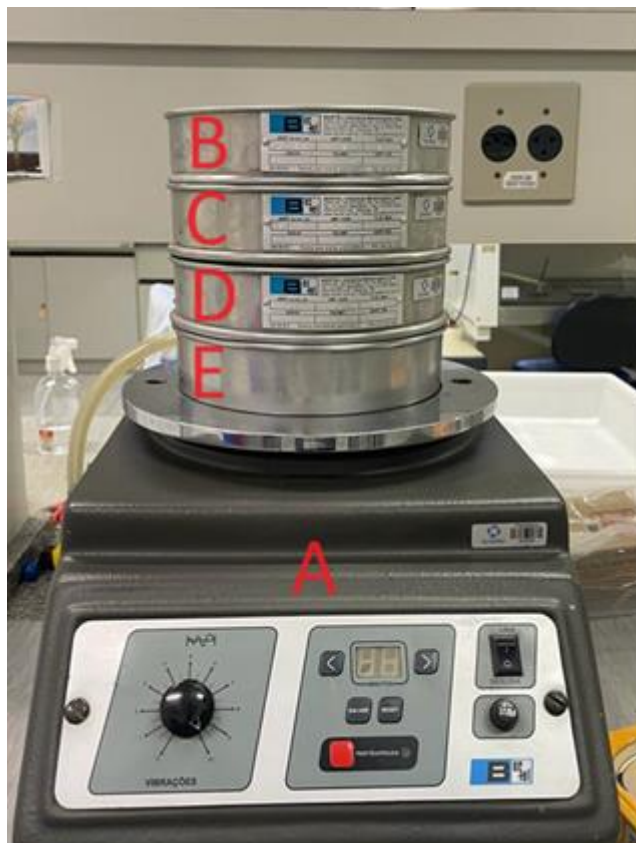
Ao inspecionar visualmente a amostra recebida, percebeu-se a presença de umidade e a não homogeneidade da amostra, contendo pedaços pequenos, médios e grandes de casca, além de pequenos pedaços de nozes pecã perdidas no processo de beneficiamento.

Para a eliminação da umidade presente nas cascas de noz pecã, optou-se por colocar a amostra recebida em uma estufa (Estufa Biopar) com temperatura controlada ($40\text{ }^{\circ}\text{C}$) durante uma semana.

Para a homogeneização da amostra optou-se pelo uso de um liquidificador industrial para a trituração da casca seguido por um processo de peneiramento com o auxílio de um agitador de peneiras da marca Bertel, utilizando peneiras da mesma

marca de diâmetros 8 Mesh (Figura 2. B), 10 Mesh (Figura 2. C) e 24 Mesh (Figura 2. D) conforme Figura 2.

Figura 2. Sistema de Peneiramento



A) Base Vibratória; B) Peneira Mesh 8; C) Peneira Mesh 10; D) Peneira Mesh 24; E) Base.

Fonte: Autor, 2023

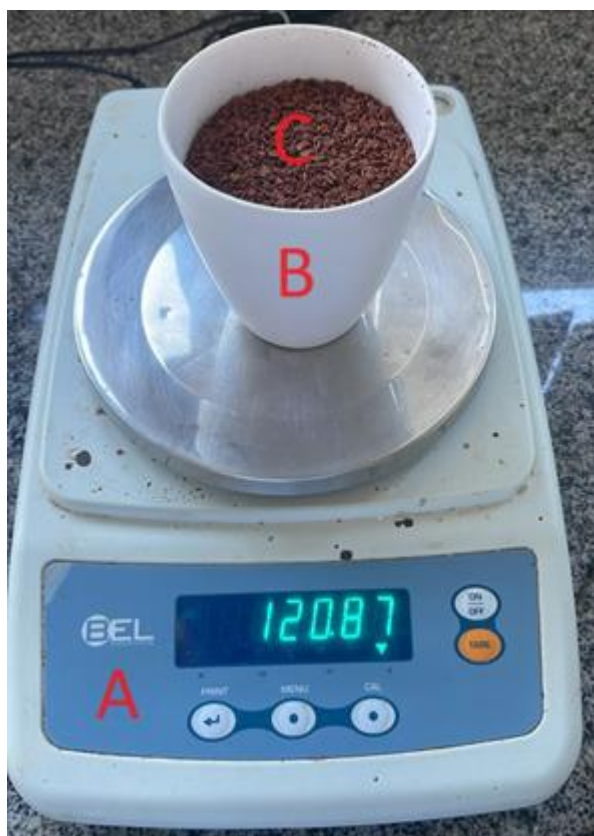
Com o peneiramento obteve-se porções homogêneas com tamanhos distintos (retidos em cada peneira).

3.2 Ativação Química

Para a ativação química das cascas de noz pecã optou-se pela adaptação da metodologia utilizada na tese de mestrado de Aznar em 2011. Previamente fez-se testes no laboratório para escolher o ativador químico do trabalho, testou-se os ativadores químicos, NaOH, KOH, H₂SO₄, H₃PO₄ e Cloreto de Zinco em 4 concentrações distintas, ao fim dos testes elegeu-se o H₃PO₄ 40% como ativador químico. Preparou-se então, uma solução de ácido fosfórico 40%. Em cadinhos de porcelana adicionou-se entre 120 e 135 gramas, massa medida com balança de

precisão (Marca Bel, modelo mark 3500) de cascas de noz pecã que passaram pela peneira de Mesh 8 e ficaram retidas na peneira de Mesh 10 ilustrado na Figura 3, adicionou-se também a solução de H_3PO_4 40% em volume suficiente para sobrepor as cascas de noz pecã e por fim colocou-se os cadinhos em banho ultrassônico (Marca Unique, modelo MA-058) por uma hora.

Figura 3. Cadinho com Casca de Noz Pecã



A) Balança de Precisão; B) Cadinho de Porcelana; C) Casca Noz Pecã, >8<10 Mesh.
Fonte: Autor, 2023

Após uma hora de banho ultrassônico nos cadinhos que continham o ácido fosfórico 40% e as cascas de noz pecã, retirou-se o excesso de ácido fosfórico dos cadinhos como é possível ver na Figura 4, condicionou-se então a amostra para o processo seguinte: A carbonização.

Figura 4. Cadinho Pós Banho Ultrassônico



Balança de Precisão; B) Cadinho de Porcelana; C) Casca Noz Pecã com Ativador.
Fonte: Autor, 2023

3.3 Carbonização

A etapa de carbonização iniciou-se colocando os cadinhos com as amostras dentro da mufla (Marca Marconi, modelo MA 385/2) desligada e em temperatura ambiente. Com a mufla fechada e com o sistema de exaustão operante, ligou-se o equipamento e procedeu-se com o incremento de temperatura a uma taxa de 10 °C a cada minuto, esta operação foi realizada manualmente até atingir a temperatura desejada de 600 °C.

Após o atingimento e estabilização da temperatura em 600 °C, manteve-se as amostras no forno mufla por um período de uma hora (AZNAR, 2011). O condicionamento para a próxima etapa deu-se quando as amostras atingiram temperatura ambiente.

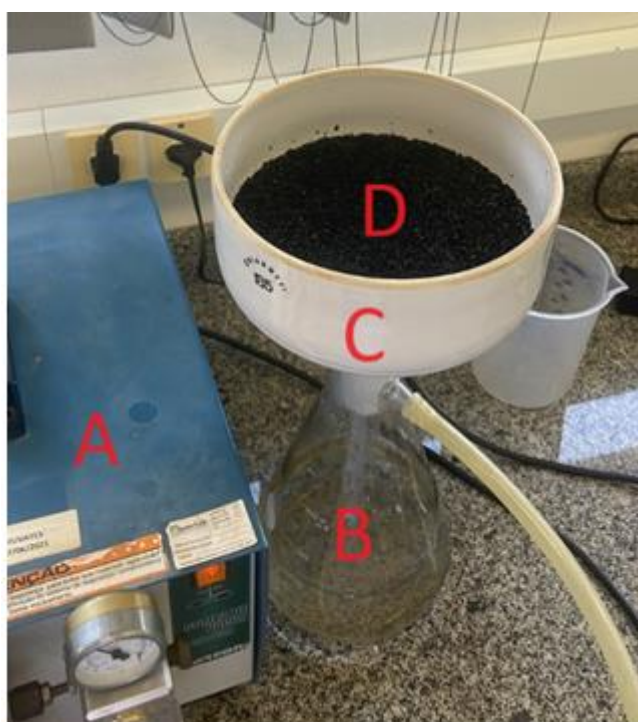
3.4 Limpeza Carvão Ativado

Após o processo de carbonização da casca de noz-pecã, as amostras transformaram-se em carvão ativado quimicamente pela solução de H_3PO_4 40%, neste momento realizou-se a limpeza do carvão, ou seja, removeu-se todo o resíduo de material não carbonizado, impurezas e contaminantes ainda presentes.

Efetuuou-se a limpeza da amostra a partir de uma solução de HCl 1 mol/L. Adotou-se o mesmo procedimento da ativação química. Desta vez trocou-se a solução de H_3PO_4 40% por HCl 1 mol/L.

Após limpeza do carvão ativado com a solução ácida de HCl 1 molar, fez-se necessário a remoção do HCl 1 molar do carvão. O processo de remoção do residual ácido se deu utilizando do mesmo sistema, desta vez, passou-se água deionizada pelo carvão e analisou-se o pH da solução resultante da filtração até pH próximo a 6.

Figura 5. Sistema de Lavagem Carvão Ativado



A) Bomba à Vácuo B) Kitassato C) Funil de Buchner D) Carvão Ativado retido no papel filtro
Fonte: Autor, 2023

Com o carvão livre de impurezas transferiu-se o mesmo para uma bandeja plástica e colocou-o em estufa a 40 °C para secagem durante 1 semana.

3.5 Moagem

Com o carvão ativado limpo e seco iniciou-se o processo de moagem do mesmo, esta etapa teve como objetivo moer em tamanhos menores (pó) o carvão ativado que até o momento apresentava tamanho maior que 8 Mesh e menor que 10

Mesh. Para isso utilizou-se um moinho de facas (Marca Marconi, modelo MA-340). Esta moagem foi suficiente para submeter para análises no MEV, FTIR e DSC.

Posteriormente para o ensaio de cinética de adsorção, fez-se necessário uma moagem mais fina, para isto, utilizou-se graal e pistilo. Esta necessidade deveu-se a comparação entre o carvão obtido neste trabalho com um carvão ativado comercial o qual apresentava granulometria nitidamente menor que a granulometria obtida com a moagem realizada no moinho de facas.

3.6 Análise Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

As imagens de MEV foram obtidas através do Tecnovates em um microscópio da marca Zeiss Evo, modelo LS10. A imagem foi obtida a partir do método de alto vácuo em uma voltagem de 10 kV, com aumento de 250 vezes.

3.7 Análise por espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier (FTIR)

Os grupos funcionais na superfície de carvão foram examinados por um espectrofotômetro de infravermelho de transformada de Fourier (FTIR) da marca Shimadzu modelo IRAffinity-1. As amostras foram preparadas por mistura com KBr e prensadas formando uma pastilha. Os espectros foram obtidos na região 4000 a 400 cm^{-1} com resolução de 4 cm^{-1} e 64 varreduras. Esta análise foi realizada no Tecnovates.

3.8 Análise por calorimetria exploratória de varredura (DSC)

Este estudo realizou a análise no Tecnovates que dispõe de um equipamento da Perkin Elmer modelo DSC 4000, a amostra foi inserida em um porta amostras de alumínio e prensada. A taxa de aquecimento foi de 10 °C por minuto, partindo de 5 °C indo até 445 °C, voltando o resfriamento até 5 °C na mesma taxa, com atmosfera inerte de nitrogênio.

3.9 Cinética de adsorção do Carvão ativado

3.9.1 Obtenção da curva de calibração do Azul de Metileno

Para obtenção da curva de calibração do azul de metileno, preparou-se soluções de 1 mg L⁻¹, 2,5 mg L⁻¹, 5 mg L⁻¹, 7,5 mg L⁻¹ e 10 mg L⁻¹ a partir de uma solução mãe de 50 mg L⁻¹, lidas em espectrofotômetro de absorção molecular na região do ultravioleta/visível Biomate 3 com comprimento de onda ajustado para 665 nm (FREITAG, 2013). Tratou-se os dados no programa Origin 8.5 para obter a equação da reta e seu coeficiente de determinação (R²). Com esta reta é possível determinar a concentração em mg L⁻¹ das amostras com o passar do tempo de contato no ensaio da cinética de adsorção.

3.9.2 Ensaio da cinética de adsorção do Carvão ativado

Para o ensaio da cinética de adsorção do carvão ativado produzido a partir das cascas de noz pecã, assim como para o ensaio do carvão ativado comercial (Marca Labsynth), utilizou-se do mesmo espectrofotômetro com o mesmo o comprimento de onda citado no item 3.9 desta dissertação para a leitura das amostras realizadas em duplicata. O procedimento experimental iniciou-se ao pesar em béqueres de 125 mL cerca de 50 mg em balança analítica Shimadzu (Modelo AUX220) de cada carvão ativado em duplicata. Após pesagem, adicionou-se 100 mL de solução de azul de metileno com concentração de 50 mg L⁻¹ colocando os béqueres em chapa magnética para agitação. O tempo de ensaio estipulado foi de 150 minutos, e as coletas das amostras ocorreram nos tempos, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 12,5, 15, 20, 30, 40, 60, 90, 120 e 150 minutos. Para buscar maior semelhança ao carvão ativado comercial, fez-se necessário o uso de graal e pistilo para diminuir o tamanho do carvão ativado produzido. Alíquotas de 2,5 mL de amostra foram retiradas para cada leitura no espectrofotômetro, para inibir a presença de carvão ativado na cubeta fez-se necessário o uso de um filtro de seringa 0,45 µm previamente. Os dados obtidos foram tratados no software Origin 8.5 para obtenção da cinética de adsorção. Utilizou-se o artigo (LIMA *et al*, 2020) como referência. Comparou-se os resultados experimentais com as cinéticas de Pseudo Primeira Ordem e primeira ordem.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ao abrir as amostras recebidas da agroindústria Nozes Pitol, detectou-se a necessidade de homogeneizá-las, visto que havia disparidade de tamanho entre as cascas, bem como presença de pequenos pedaços de nozes. Porém, antes da homogeneização, colocou-se uma porção da amostra em uma bandeja plástica e posteriormente em estufa com temperatura controlada em 40 °C por 7 dias. Optou-se por esta primeira secagem para garantir um melhor resultado no processo de trituração da casca que viria logo a seguir, visto que a umidade presente na casca e principalmente nos pequenos pedaços de noz pecã poderia vir a formar uma massa úmida que poderia forçar excessivamente o motor do triturador (liquidificador industrial) além de dificultar o processo seguinte que seria o peneiramento. A pré-secagem da amostra se mostrou eficaz pois foi possível dar continuidade no trabalho sem observarmos os problemas que a umidade poderia nos trazer nos processos seguintes.

Para homogeneizarmos a amostra, montou-se um sistema de peneiramento com 3 peneiras de diferentes diâmetros conectadas a uma base vibratória seguindo a ordem de maior diâmetro no topo (8 Mesh, 2,36 mm), seguida pela peneira intermediária (10 mesh, 1,70 mm) e por último a menor peneira (24 mesh, 0,710 mm), utilizou-se um recipiente entre a última peneira e a base vibratória para recolher todo material menor que 24 mesh. Além do sistema de peneiramento fez-se a trituração da amostra com um liquidificador industrial para obter-se um tamanho menor da amostra inicial. Colocou-se pouca amostra, cerca de $\frac{1}{4}$ da capacidade do copo do liquidificador e utilizou-se o liquidificador no modo pulsar com o intuito de diminuir ao máximo o tamanho das cascas e ao mesmo tempo garantir o mínimo possível de formação do pó (trituração excessiva), devido a esta preocupação, fez-se necessário triturar várias

vezes a amostra que ficava retida na primeira peneira de Mesh 8. O processo mostrou-se eficaz tendo em vista que obteve-se uma boa quantidade de amostra peneirada retidas nas peneiras de interesse e pouca formação de pó resultante da trituração excessiva.

Previamente fez-se um experimento de bancada testando diversos ativadores químicos e observou-se que ativadores químicos básicos (NaOH e KOH) reagiram fortemente com as cascas antes da carbonização e a reação continuou dentro do forno mufla afetando o rendimento do produto (carvão ativado), fez-se também testes com ativadores ácidos (H_2SO_4 e H_3PO_4) e com o ZnCl_2 , ao adicionar estes carvões em solução 10 ppm de azul de metileno observou-se que H_3PO_4 e ZnCl_2 obtiveram melhor desempenho para adsorver o azul de metileno, ao buscar as literaturas recentes, percebeu-se um movimento para não utilizar ZnCl_2 como ativador químico visto que o zinco é um metal pesado e é observado nas análises de MEV, desta forma optou-se pelo H_3PO_4 . O processo de impregnação do agente químico (H_3PO_4 40%) com o precursor de carvão (casca de noz pecã) ocorreu diretamente em cadinho de porcelana, as quantidades de casca e agente de impregnação estão descritas na Tabela 1.

Tabela 1. Dados pré carbonização

Nº do Cadinho	Cadinho (g)	Cadinho + Casca + H_3PO_4 40% sem excesso (g)	Casca (g)	Ativador Químico (g)
1	123,1	433,27	120,87	189,29
2	117,45	452,43	132,64	202,35
3	119,48	434,82	135,17	180,18
4	125,73	448,29	135,92	186,64

Fonte: Autor, 2023

Não se teve a preocupação em colocar exatamente a mesma quantidade de precursor e ativador em cada cadinho pois o objetivo era produzir a maior quantidade de carvão possível em uma única fornada, por este motivo utilizou-se 4 cadinhos (quantidade que entrava no forno mufla), após o processo de carbonização da amostra, juntou-se as 4 quantidades de carvão ativado obtido em apenas 1 frasco,

desta forma trabalharemos os resultados conforme a média dos 4 cadinhos descrito na Tabela 2.

Tabela 2. Média dos dados Pré Carbonização

Média Cadinhos (g)	Média Cadinhos + Cascas + H ₃ PO ₄ 40% (g)	Média Cascas (g)	Média Ativador Químico (g)
121,44	442,2	131,15	189,62

Fonte: Autor, 2023.

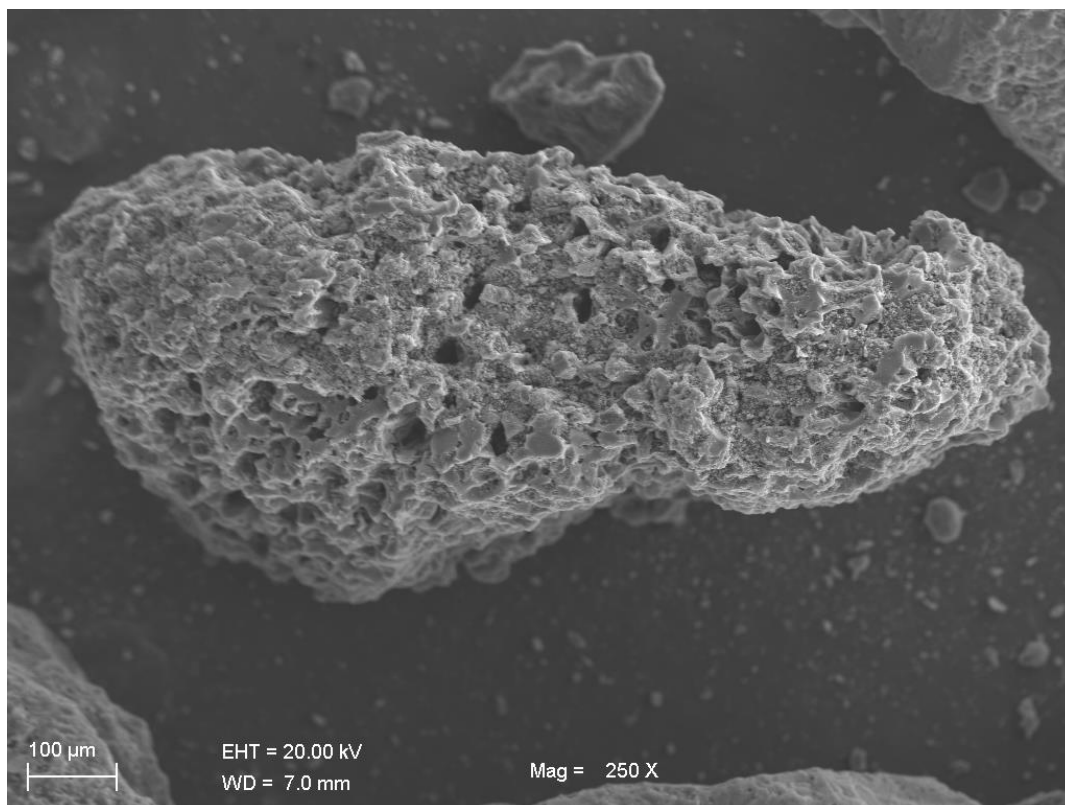
A carbonização foi realizada tendo como base a tese de mestrado desenvolvida por Aznar (2011) na Suécia em que o autor ativou química e fisicamente pó de café fazendo sua caracterização ao final do trabalho. Por não dispormos dos mesmos equipamentos utilizados pelo autor em questão, optou-se por adaptarmos o procedimento de carbonização. A principal adaptação foi utilizar o forno mufla sem a adição controlada de um gás inerte durante a carbonização. Verificou-se durante o período de revisão de bibliografia aplicado neste projeto que o uso de gás inerte na produção de carvão ativado foi utilizado em todos os trabalhos consultados, inclusive autores que tiveram a mesma limitação de não possuírem o forno com a capacidade de injetar gás inerte como observado no trabalho de Cordeiro *et al.* (2022), onde adaptou-se a injeção fazendo o uso de um cilindro de N₂ acoplado a uma pipeta pasteur, esta foi posicionada no orifício de observação (localizado na porta) do forno mufla. Moreno-Castilla *et al.* (2001) explica que o uso de gás inerte se deve ao fato que a pirólise de matérias lignocelulósicos em atmosferas inertes produz carvões não grafitizáveis. Stoeckli (1990) afirma que o gás inerte ajuda no arraste de elementos sem carbono liberados durante a pirólise em forma de gás e que formam o alcatrão, tais como oxigênio, nitrogênio, hidrogênio, desta forma, ao inibir a formação do alcatrão favorece-se a formação de um esqueleto de carbono rígido.

Como observado no item 2.1 deste trabalho, a ativação química já funciona como um inibidor de formação de alcatrão durante o processo de pirólise do precursor de carvão e ela foi realizada neste trabalho utilizando H₃PO₄ 40%, por este motivo decidiu-se dar continuidade neste trabalho sem o fluxo de gás inerte e comparar com os carvões de outros trabalhos. Outra adaptação necessária para este trabalho foi a necessidade de se fazer manualmente a rampa de aquecimento da pirólise, já que o forno disponível na universidade não tem a opção de rampa de aquecimento. Esta

rampa de aquecimento é de suma importância pois conforme dito por Rodriguez-Reinoso e Molina-Sabio (1996), há três estágios no processo de carbonização. Sendo o primeiro, responsável pela perda desidratação (perda da água) da amostra que ocorre entre 26 e 196 °C. No segundo estágio ocorre a pirólise primária, onde há uma grande liberação de gases originários das substâncias voláteis presentes na amostra, este estágio ocorre entre 196 °C e 496 °C, neste estágio ocorre a maior perda de massa da amostra. Por fim, no terceiro estágio ocorre a consolidação da estrutura do carvão, as temperaturas deste estágio estão entre 496 °C e 846 °C. Tendo em vista que nosso material precursor de carvão (casca de noz pecã) é rico de macromoléculas de lignina e que sua temperatura ótima de pirólise é 500 °C conforme visto neste trabalho no item 2.1, decidiu-se adotar 600 °C para a temperatura final de pirólise, já que a temperatura ótima (500 °C) está muito próxima do segundo estágio de carbonização (196 °C e 496 °C), com 600 °C garante-se que o carvão irá entrar na terceira fase da carbonização garantindo sua consolidação. Assim, como o trabalho de Aznar (2011), optou-se por manter a amostra por 600 °C por 1 hora. Após a produção do carvão, ele foi submetido para tratamento conforme descrito nos itens 3.4 e 3.5 deste trabalho.

O primeiro resultado que temos do carvão ativado é a imagem (Figura 6) gerada pelo microscópio eletrônico de varredura (MEV), esta análise foi realizada em laboratório externo (Tecnovates).

Figura 6. Imagem MEV Carvão Ativado



Fonte: Autor, 2023.

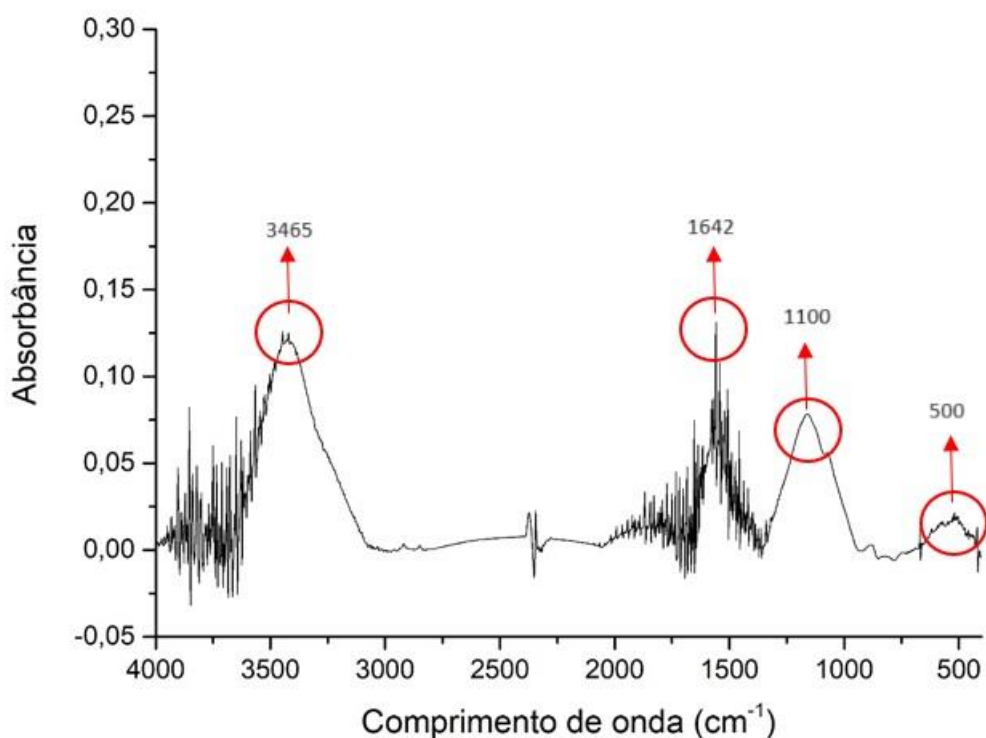
Na imagem é possível notar uma superfície porosa no carvão ativado, esta porosidade no indica que há formação de canais neste material, aumentando sua superfície de contato e favorecendo interações químicas entre o adsorvente e o adsorvato aumentando sua capacidade de adsorção, indicando que o processo de fabricação do carvão foi bem-sucedida. A escala desta imagem é de 100 μm , portando é possível observar apenas os macroporos presentes no carvão ativado.

Realizou-se espectroscopia de absorção com transformada de Fourier na região do infravermelho (FTIR) em laboratório externo (Tecnovates) o resultado obtido é apresentado na Figura 7. Ao analisar o gráfico obtido, e comparando com a literatura já publicada, foi possível encontrar semelhança com o resultado da tese de doutorado apresentada por Santos (2021), que avaliou a eficiência dos processos oxidativos avançados na regeneração de carvão ativado saturado com poluente orgânico, seu gráfico de FTIR do carvão ativado é apresentado na Figura 8. Ressalta-se, porém, que há grandezas distintas no Eixo Y dos gráficos, sendo um gráfico representado por absorbância e outro por transmitância. Observou-se 4 picos de equivalência, sendo eles em 3465 cm^{-1} , 1642 cm^{-1} , 1100 cm^{-1} e 500 cm^{-1} . Na região 3465 cm^{-1} , atribui-se ao estiramento do grupo -OH (HADJITTO; PRODRUMOU; PASHALIDIS, *et al.*, 2014;

RAJAPAKSHA et al., 2014) que pode estar relacionado com grandes quantidades de ácidos carboxílicos, derivados de ácidos carboxílicos e fenóis, além de certa quantidade de água adsorvida na estrutura do material (OLIVEIRA et al, 2017), 1642 cm^{-1} representa uma banda característica de carbonila (SALEH, 2011) de grupamentos cetona e lactonas (ésteres cíclicos). 1100 cm^{-1} diz sobre à frequência de estiramento de ligações C-O em ácidos carboxílicos, éteres, álcoois ou fenóis, e na faixa próxima a 500 cm^{-1} há ainda a possibilidade de ocorrência de estiramentos C-C naturais de grafite (GAREZO; BAKTI, 2017).

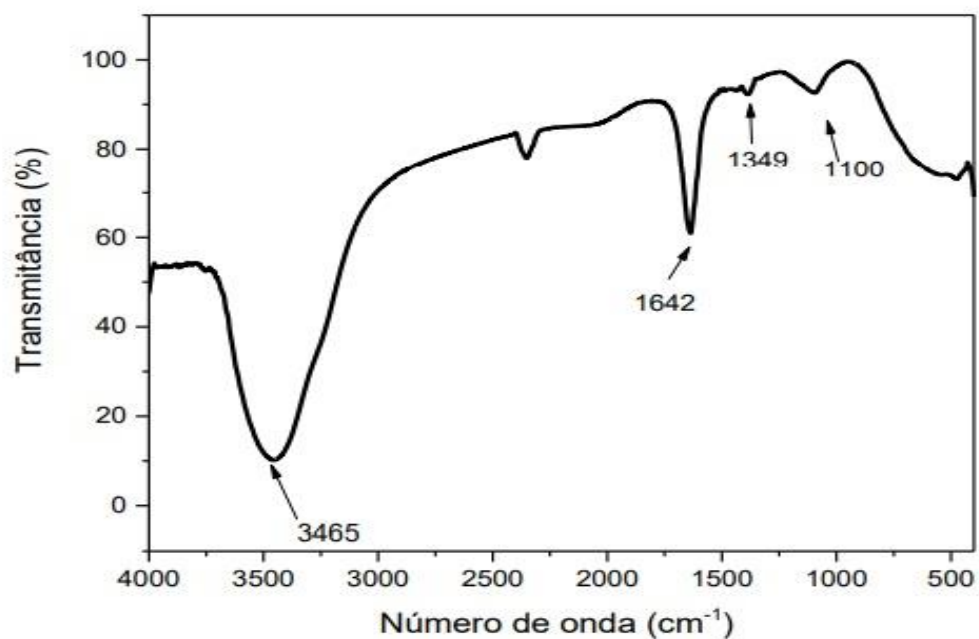
Há uma banda presente no gráfico da figura 8 que não pode ser observada neste trabalho na região de 1349 cm^{-1} , esta banda pode ser atribuída à vibração de dobramento de moléculas de C-H, que ocorrem em abundância na matéria prima precursora do carvão, mas que reduzem durante seu processo de queima (Brito, et al., 2019) o que pode significar uma pirólise bem sucedida nas cascas de noz pecã, ou estiramento assimétrico de C-O oriundos de éteres e ésteres aromáticos (SONG, et al., 2010).

Figura 7. Gráfico FTIR carvão ativado



Fonte: Autor, 2023

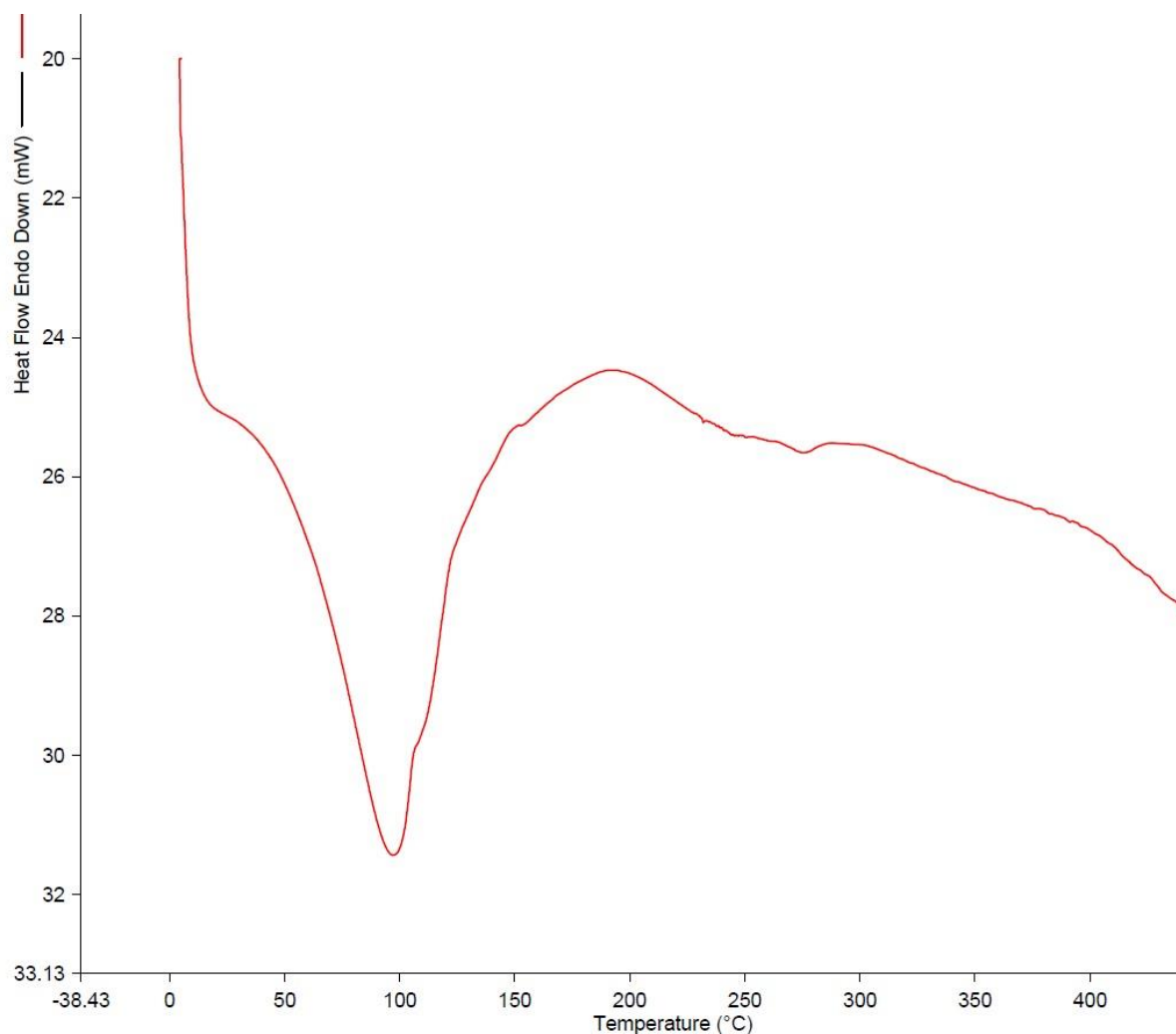
Figura 8. Espectro de FT-IR do Carvão ativado



Fonte: Santos (2021).

O carvão ativado obtido a partir das cascas de noz pecã foi submetido a análise de calorimetria exploratória de varredura (DSC) também em laboratório externo (Tecnovates), conforme descrito no item 3.8 deste trabalho. O gráfico obtido está exposto na Figura 9.

Figura 9. Gráfico DSC do Carvão Ativado

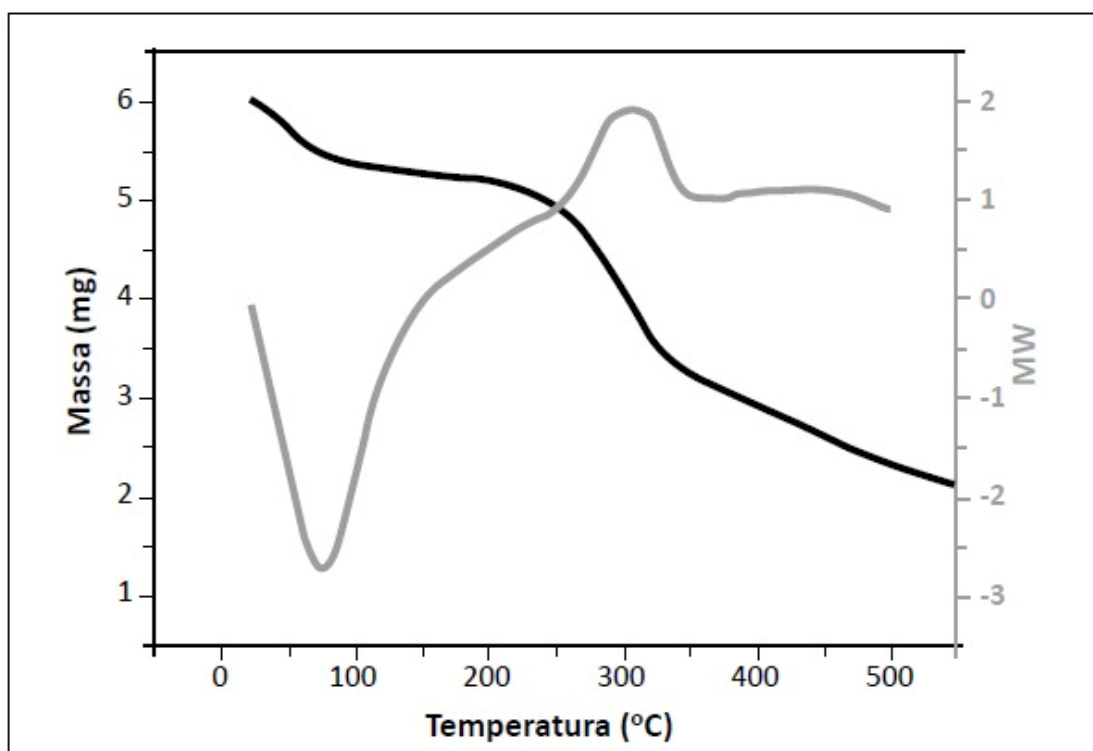


Fonte: do Autor, 2023

Ao buscar interpretação do gráfico obtido através de literaturas publicadas encontrou-se um gráfico de DSC com TGA de Nascimento *et al.* (2014). Observou-se através da comparação entre os gráficos de DSC da Figura 9 e Figura 10, que o carvão ativado apresenta um pico na região dos 100 °C este pico está relacionado com a perda da umidade (evaporação de água) existente na amostra, evidenciado no gráfico como uma reação endotérmica (Formação de vale), observou-se também um pequeno pico exotérmico (formação de crista) na região dos 200 °C, mais acentuado no gráfico de Nascimento e menos acentuado neste trabalho, ainda conforme Nascimento, este pico está relacionado à perda de material lignocelulósico da amostra, mostrando que o carvão ativado obtido no presente trabalho converteu bem o material lignocelulósico durante a pirólise, por fim observa-se que a ausência de outros picos, indicando que há muito pouco material volátil presente no carvão ativado, indicando que o mesmo é resistente termicamente, conforme descrito no item 3.8

deste trabalho. Com este resultado para a Análise de DSC é possível afirmar que a temperatura final (600 °C) estabelecida para a pirólise do precursor de carvão, assim como o tempo estabelecido (1 hora) foram suficientes para alcançar o terceiro estágio do processo de carbonização conforme citado anteriormente neste trabalho.

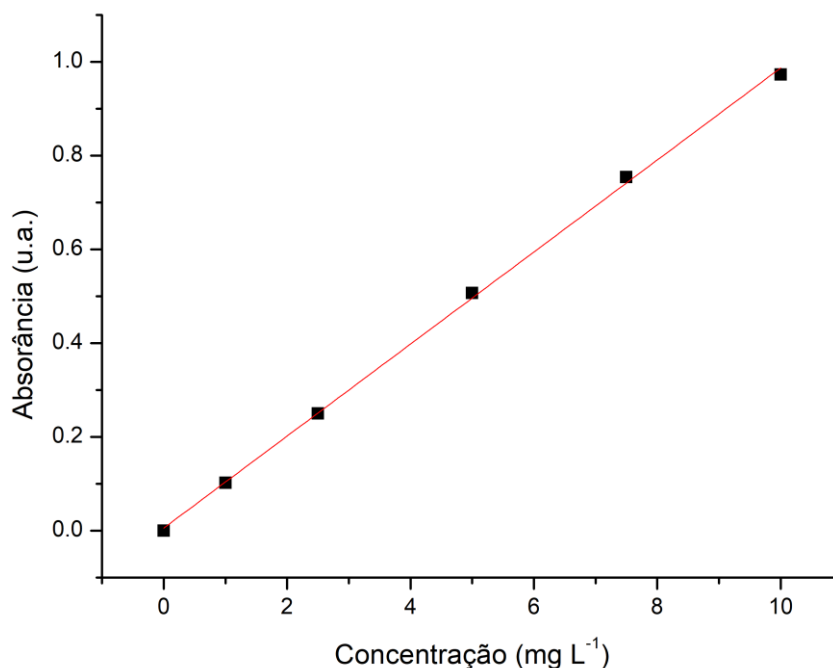
Figura 10. Gráfico de TGA (linha preta) e DSC (linha cinza) de material lignocelulósico



Fonte: NASCIMENTO *et al.* (2014).

Para os ensaios de cinética de adsorção previamente foi realizada a curva de calibração do azul de metileno, visto na Figura 11. O coeficiente de determinação (R^2) foi de 0,99915, com slope igual a 0,09812 e o intercept igual a 0,0058.

Figura 11. Gráfico da Curva de calibração do Azul de Metileno

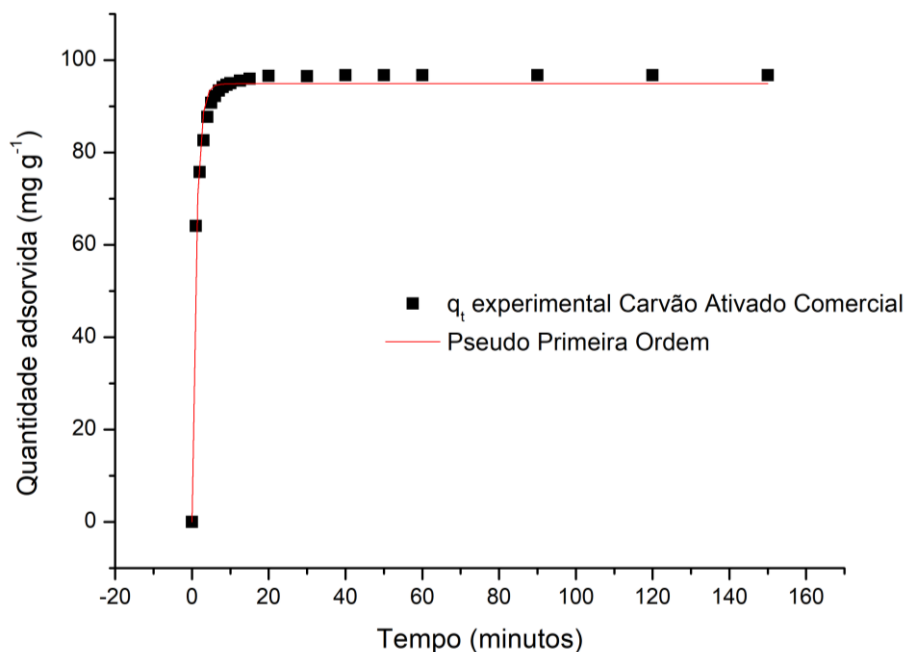


Fonte: Autor, 2023.

Quanto aos ensaios de cinética química, fez-se o tratamento dos dados de forma a obter gráficos comparando os resultados experimentais (média das duplicatas) com modelos cinéticos, desta forma, obtivemos a Figura 12 que é representada pelos resultados experimentais do carvão ativado com o modelo cinético de Pseudo Primeira Ordem, sendo possível observar que o modelo se ajusta muito bem ao resultado obtido para o carvão ativado comercial, seu coeficiente de determinação (R^2) foi de 0,98082. Ao plotarmos os resultados experimentais do carvão ativado produzido através das cascas de Noz Pecã (Figura 13), observou-se comportamento parecido, porém não tão bem ajustado quanto ao carvão ativado comercial, seu R^2 foi de 0,84741 para o modelo de cinética de Pseudo Primeira Ordem. A partir destes resultados, aplicamos o modelo cinético de Primeira Ordem para os resultados experimentais do Carvão Ativado produzido neste trabalho, obtendo o gráfico apresentado na Figura 14, o coeficiente de determinação a este modelo foi de 0,91334, o que nos sugere que o carvão ativado produzido neste trabalho tem uma tendência a seguir o modelo de Primeira Ordem, porém cabe ressaltar que estamos comparando um carvão ativado comercial já estabelecido e otimizado com um carvão obtido a partir de um resíduo industrial sob as variáveis definidas neste trabalho, sendo possível alterar algumas variáveis, como agente

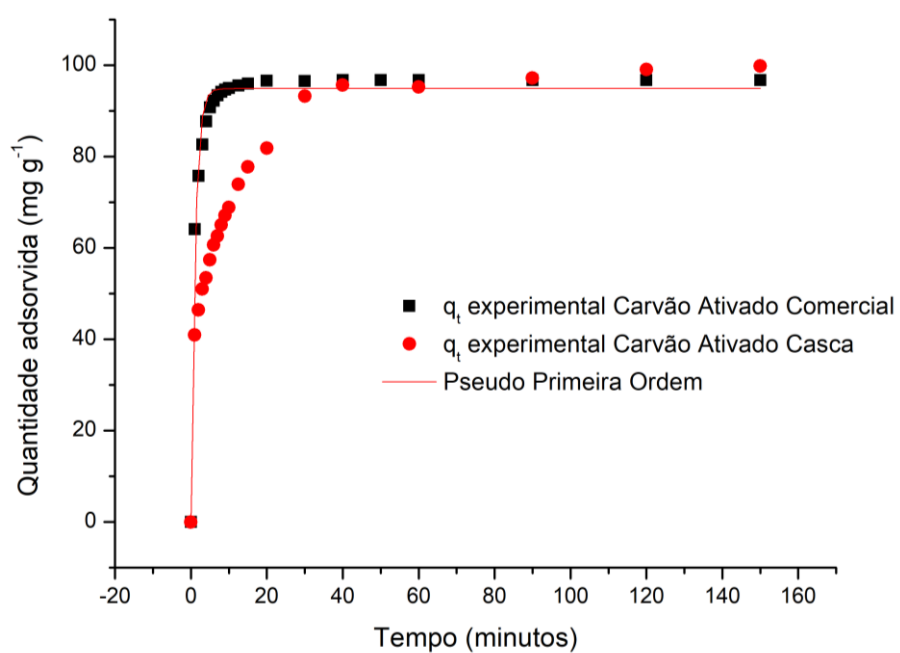
oxidante, taxa de impregnação, tempo e temperatura máxima de pirólise para observar uma melhora ou não na adequação ao modelo de Pseudo Primeira Ordem.

Figura 12. Gráfico da cinética de adsorção do Carvão Ativado Comercial



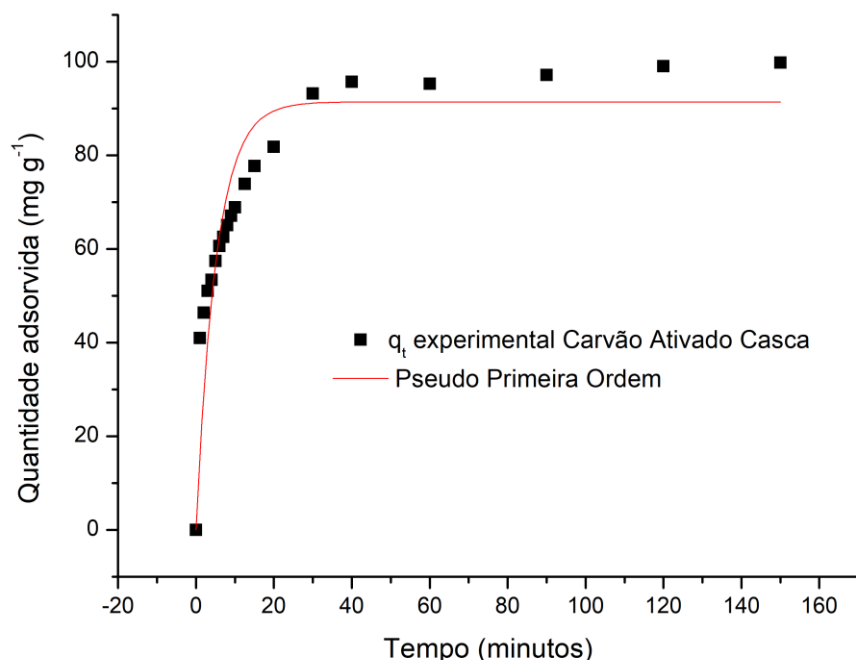
Fonte: Autor, 2023

Figura 13. Gráfico da cinética de adsorção do Carvão Ativado Comercial com Carvão Ativado a partir das Cascas de Noz Pecã



Fonte: Autor, 2023

Figura 14. Gráfico da cinética de adsorção do Carvão Ativado Casca Noz Pecã



Fonte: Autor, 2023

Outro resultado interessante obtido neste trabalho foi o q_t que é a quantidade adsorvida do azul de metileno em um tempo t , onde foi possível observar que o carvão ativado comercial tem uma capacidade de adsorver 96,73258 mg de azul de metileno por grama após 150 minutos conforme observado na Tabela 3, enquanto o carvão ativado produzido neste trabalho é capaz de adsorver 99,81877 mg de azul de metileno por grama após 150 minutos conforme observado na Tabela 4, sugerindo que o carvão produzido neste trabalho é capaz de adsorver uma maior quantidade de azul de metileno que o carvão comercial, apesar de o carvão comercial ser capaz de adsorver uma maior quantidade de azul de metileno numa menor quantidade de tempo. É possível observar que tanto o carvão ativado comercial quanto o carvão ativado de casca de noz pecã são capazes de remover uma grande quantidade de azul de metileno da água e que com 30 minutos de contato sob agitação eles já haviam removido mais de 90% do azul de metileno da água. A figura 15 evidencia a intensidade da cor azul da solução de azul de metileno, na Figura 16 é possível observar a cor resultante da solução após 150 minutos de contato da solução de azul de metileno com os carvões ativados.

Tabela 3. Dados experimentais do Carvão Ativado Comercial

Tempo (min.)	Abs (Amostra 1)	Abs (Amostra 2)	Média Abs Comercial	Desvio padrão	Concentração (mg g ⁻¹)	% Adsorvida	q _t mg g ⁻¹
1	1,784	1,532	1,658	0,1782	16,84	66%	64,08007
2	1,209	0,92	1,0645	0,2044	10,79	78%	75,76841
3	0,844	0,584	0,714	0,1838	7,22	86%	82,67113
4	0,527	0,388	0,4575	0,0983	4,60	91%	87,72262
5	0,356	0,249	0,3025	0,0757	3,02	94%	90,77517
6	0,267	0,19	0,2285	0,0544	2,27	95%	92,23252
7	0,185	0,15	0,1675	0,0247	1,65	97%	93,43385
8	0,141	0,116	0,1285	0,0177	1,25	97%	94,20191
9	0,109	0,103	0,106	0,0042	1,02	98%	94,64503
10	0,078	0,098	0,088	0,0141	0,84	98%	94,99952
12,5	0,052	0,069	0,0605	0,0120	0,56	99%	95,5411
15	0,017	0,059	0,038	0,0297	0,33	99%	95,98421
20	0,007	0,006	0,0065	0,0007	0,01	100%	96,60457
30	0,003	0,016	0,0095	0,0092	0,04	100%	96,54549
40	0	0	0	0,0000	-0,06	100%	96,73258
60	0	0	0	0,0000	-0,06	100%	96,73258
90	0	0	0	0,0000	-0,06	100%	96,73258
120	0	0	0	0,0000	-0,06	100%	96,73258
150	0	0	0	0,0000	-0,06	100%	96,73258

Fonte: Autor, 2023

Tabela 4. Dados experimentais do Carvão Ativado Casca de Noz Pecã

Tempo (min.)	Abs (Amostra 1)	Abs (Amostra 2)	Média Abs Casca	Desvio padrão	Concentração (mg g ⁻¹)	% Adsorvida	q _t
1	2,913	2,895	2,904	0,0127	29,45	41%	40,98589
2	2,543	2,627	2,585	0,0594	26,71	47%	46,43225
3	2,338	2,4	2,369	0,0438	24,40	51%	51,0454
4	2,178	2,282	2,23	0,0735	23,20	54%	53,44342
5	2,031	2,085	2,058	0,0382	21,19	58%	57,4469
6	1,995	1,927	1,961	0,0481	19,58	61%	60,65781
7	1,875	1,832	1,8535	0,0304	18,61	63%	62,58843
8	1,774	1,71	1,742	0,0453	17,37	65%	65,06774
9	1,629	1,609	1,619	0,0141	16,34	67%	67,12029
10	1,543	1,522	1,5325	0,0148	15,45	69%	68,88832
12,5	1,37	1,275	1,3225	0,0672	12,94	74%	73,90791
15	1,248	1,086	1,167	0,1146	11,01	78%	77,74882
20	1,044	0,884	0,964	0,1131	8,95	82%	81,85391
30	0,573	0,324	0,4485	0,1761	3,24	94%	93,23436
40	0,365	0,203	0,284	0,1146	2,01	96%	95,69335
60	0,119	0,224	0,1715	0,0742	2,22	96%	95,26659
90	0,03	0,129	0,0795	0,0700	1,26	97%	97,1972

120	0,004	0,037	0,0205	0,0233	0,32	99%	99,06684
150	0	0	0	0,0000	-0,06	100%	99,81877

Fonte: Autor, 2023

Figura 15. Foto obtida durante o ensaio de adsorção



Fonte: Autor, 2023

Figura 16. Resultado após 150 minutos em contato



Fonte: Autor, 2023

Moreira em sua dissertação apresentada em 2010 trabalhou com casca de noz pecã, o carvão obtido através da casca e um carvão ativado comercial, fez-se uso dos três materiais para observar a eficiência quanto a remoção de níquel da água, tendo como resultado uma maior eficiência quando transformou a casca em carvão, este teve um resultado próximo ao carvão ativado comercial. Costa *et al.* (2015) produziram, caracterizaram e aplicaram o carvão ativado obtido de cascas de nozes em solução de azul de metileno para observar sua adsorção, verificaram que mais de 80% foi adsorvido em um período de tempo aproximado de 250 minutos.

Os resultados obtidos neste trabalho foram satisfatórios para comprovar o potencial da casca de noz pecã como precursora de carvão, visto que os resultados obtidos mostram a transformação da casca em um carvão ativado estabilizado, poroso

e com características semelhantes a outros carvões ativados, ao compararmos com outros trabalhos publicados.

5 CONCLUSÃO

Conclui-se que a casca de noz pecã apresenta potencial como adsorvente, se transformada em carvão ativado. Se mostra cada vez mais atrativa não somente para a academia, como também para as indústrias e agroindústrias que geram e/ou recebem este tipo de material. Pode vir a agregar valor econômico, caso a casca seja descartada como resíduo, ou até mesmo, aumentar o valor agregado através da transformação da casca em outro produto comercial.

Apesar da literatura levar em consideração altas temperaturas para a produção de carvão ativado, quando o precursor de carvão for a casca de noz pecã, não há necessidade de temperaturas acima de 600 °C, tornando a pirólise mais econômica.

Com base nos resultados obtidos a partir dos ensaios de adsorção comparando um carvão ativado comercial com o carvão ativado produzido neste trabalho observou-se seu potencial como agente filtrante em meios aquosos. Concluiu-se também a necessidade de mais ensaios e um estudo mais aprofundado para determinar com precisão sua cinética de adsorção.

Por fim, da maneira adaptada que este carvão foi obtido, visto as metodologias aplicadas para a carbonização, é possível vislumbrar uma produção em maior quantidade se atendo à ativação química, simplificando o processo de pirólise já que o produto deste trabalho (carvão ativado) foi concebido sem a aplicação de atmosfera inerte durante a pirólise. Esta simplificação no processo de obtenção de carvão ativado abre portas para testes em outros fornos, com maior capacidade e de uma maneira mais econômica, podendo vir a romper a barreira existente entre a academia/indústrias e agroindústrias/pequenas indústrias possibilitando o encontro da economia circular nas pequenas comunidades.

6 PERSPECTIVAS FUTURAS

Com os resultados obtidos neste trabalho, observou-se a possibilidade de dar continuidade a este estudo, visando sair de um material com uso potencial para adsorção, indo para um material comprovadamente eficaz e com polivalência de uso, visto que os resultados obtidos são promissores. Desta forma, listo abaixo algumas possibilidades de continuidade para o trabalho.

- Realizar mais ensaios de cinética para obtenção da cinética que representa este processo de adsorção;
- Ensaios com o carvão ativado como agente filtrante em soluções fortificadas com diversos poluentes ambientais;
- Obtenção do pH de ponto de carga zero deste carvão para fazer ensaios em meios com diferentes valores de pH, visando otimizar o processo de adsorção;
- Produção em fornos convencionais (maior escala e menor custo);
- Utilização deste carvão em filtração de gases.

REFERÊNCIAS

- ABATTI, L.; **Efeito do pó de casca de noz-pecã nas propriedades de bandas de rodagem de pneus**. Dissertação de Mestrado, UCS. Caxias do Sul, RS, Brasil, 2019. Disponível em <https://repositorio.ucs.br/xmlui/handle/11338/4947;jsessionid=9A8A8064C3A3F57BD B398F1E59FCECA5>. Acessado em: 01 out. 2023.
- AHMADPOUR, A.; DO, D. D. The preparation of activated carbon from macadamia nutshell by chemical activation. **Carbon**, Elmsford, v. 35, n. 12, p. 1723-1732, June 1997. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0008622397001279>. Acessado em: 01 out. 2023.
- ALMEIDA, M. A.; COATTI, L., GHANI, Y. A.; COLOMBO, R. Desenvolvimento de carvão ativado a partir de bagaço de cana-de-açúcar e sua aplicação na adsorção de ácido orgânico. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, v. 4, n. 3, p. 2955-2965, 2021. Disponível em: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BJAER/article/view/32841>. Acessado em: 01 out. 2023.
- ALVARENGA, A. C.; PASSOS, R. R.; ANDRADE, F. V.; MENDONÇA, E. de S.; RANGEL, O. J. P.; MOSA, L. L. Chemical attributes of an Oxisol added with conilon coffee straw biochar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 58, e03019, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1590/S16783921.pab2023.v58.03019>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/pab/a/4PprPK9jdjrck5gZ5y69VYJ/>. Acessado em: 03 out. 2023.
- ALVES, J. S.; CONFORTIN, T. C.; TODERO, I.; RODRIGUES, A. S.; RIBEIRO, S. R.; BOEIRA, C. P.; MAZUTTI, M. A.; ROSA, C. S. Simultaneous extraction of oil and bioactive compounds from pecan nut using pressurized solvents. **The Journal of Supercritical Fluids**, v. 153, Article 104598, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2019.104598https://doi.org/10.1016/j.supflu.2019.104598>. Acessado em: 01 out. 2023.
- AMARAL, M. A. F. S.; FUSINATO, M. D.; DA CUNHA, M. E.; COLL, J. P. R.; LACERDA, J. H. G. L.; FILHO, P. J. S. Evaluation of the Adsorbent Potential of Biochar obtained by Pyrolysis to remove Emerging Contaminants. **Brazilian Journal**

of **Analytical Chemistry** 2023, v. 10, n. 41, p. 80-89, 2023. Disponível em: <https://brjac.com.br/artigos/brjac-31-2023.pdf>. Acessado em: 01 out. 2023.

AZNAR, J. S. **Characterization of activated carbon produced from coffee residues by Chemical and physical activation**. Tese (Mestrado em Engenharia Química) - Royal Institute of Technology KTH. Estocolmo, 65 p. 2011. Disponível em: <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:414291/FULLTEXT01.pdf>. Acessado em: 03 out. 2023.

BAG, O.; TEKIN, K.; KARAGOZ, S. Microporous activated carbons from lignocellulosic biomass by KOH activation. **Fullerenes, Nanotubes and Carbon Nanostructures**, v. 28, n. 12, p. 1030-1037, 2020. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/1536383X.2020.1794850>. Acessado em: 03 out. 2023.

BAIRD, C.; CANN, M. **Química Ambiental**. 4ª ed. Porto Alegre: Bookman, 844 p., 2011.

BANSAL, R. C.; DONET, J. B.; STOECKLI, F. **Active Carbon**. New York: Marcel Dekker, 1988.

BIERNASKI, I.; SILVA, C. L. Main variables of Brazilian public policies on biomass use and energy. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 61, p. e18000310, 2018. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/babt/a/KHCgMFjvKHLtP8Zp9SZ538v/?format=pdf&lang=en>. Acessado em: 01 out. 2023.

BOHOLM, Å.; PRUTZER, M. Experts' understandings of drinking water risk management in a climate change scenario. **Climate Risk Management**, v. 16, p.133–144, 2017. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212096316300225>. Acessado em: 03 out. 2023.

BOEHLER, M., ZWICKENPFLUG, B., HOLLENDER, J., TERNES, T., JOSS, A., SIEGRIST, H. Removal of micropollutants in municipal wastewater treatment plants by powder-activated carbon. **Water Science and Technology**, v. 66, n. 10, p. 2115-2121, 2012. Disponível em: <https://iwaponline.com/wst/article-abstract/66/10/2115/14603/Removal-of-micropollutants-in-municipal-wastewater>. Acessado em: 04 out. 2023.

BRASIL, Lei n. 9433, de 8 de janeiro de 1997. **Dispõe sobre a Política Nacional de Recursos Hídricos**.

BRISON, F. R. **Pecã Culture**. Austin, Texas: Capital Printing, 300 p.,1974.

CORDEIRO, S. G; WEBER, A. C; COSTA, B.; DAHMER, B. R; KUHN, D; ETHUR, E. M; CORBELLINI, V. A; HOEHNE, L. Adsorption of emerging pollutant by Pecan shell-based biosorbent. **Applied Sciences**, v. 12, n. 18, p. 9211, 2022. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2076-3417/12/18/9211>. Acessado em: 04 out. 2023.

DUTRA, D. K. R. **Obtenção de Carvão Ativado a partir do resíduo de casca de eucalipto Branco**. Monografia (Graduação em Química Industrial). Universidade do Vale do Taquari – Univates, Lajeado, RS, junho, 2021.

FENG, J.; ZHU, J.; LV, W.; LI, J.; YAN, W. Effect of hydroxyl group of carboxylic acids on the adsorption of Acid Red G and Methylene Blue on TiO₂. **Chemical Engineering Journal**, v. 269, p. 316–322, 2015. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1385894715001461>. Acessado em: 04 out. 2023.

FOGLER, H. S. **Elements of Chemical Reaction Engineering**, ed. 3, Prentice – Hall PTR, 1998.

FREITAG, J. **Adsorção do corante azul de metileno na rama de mandioca (manihot esculenta crantz)**. Monografia (Tecnologia em Processos Químicos). Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR. Toledo, PA, 41 p., 2013. Disponível em: https://riut.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/15885/2/TD_COPEQ_2013_1_08.pdf. Acessado em: 04 out. 2023.

FREITAS, M. B.; BRILHANTE, O. M.; ALMEIDA, L. M.; Importância da análise de água para a saúde pública em duas regiões do Estado do Rio de Janeiro: enfoque para coliformes fecais, nitrato e alumínio. **Caderno de Saúde Pública**. v.17, n.3, p. 651-660, 2001. Disponível em: https://www.scielo.org/article/ssm/content/raw/?resource_ssm_path=/media/assets/csp/v17n3/4647.pdf. Acessado em: 03 out. 2023.

FRONZA, D.; HAMANN, J. J.; BOTH, V.; ANESE, R. O.; MEYER, E. A. Pecan cultivation: general aspects. **Ciência Rural**, v. 48, n. 2, p. 1–9, 2019. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cr/a/r4GZhB8T6rWGKG8MnycpCjD/>. Acessado em: 04 out. 2023.

GAREZO, P. L.; BAKUI, A. I. Characterization of active carbon prepared from coconuts shells usin FTIR, XRD, and SEM techniques. **Jurnal ilmiah pendidikan fisika Al-Biruni**, v. 7, p. 33-39, 2017. Disponível em: <https://garuda.kemdikbud.go.id/documents/detail/911892>. Acessado em: 04 out. 2023.

GHISELLINI, P.; CIALANI, C.; ULGIATI, S. A review on circular economy: the expected transition to a balanced interplay of environmental and economic systems. **Journal of Cleaner Production**, n. 114, p. 11-32, 2016. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652615012287>. Acessado em: 04 out. 2023.

GONZALEZ, J. C.; GONZALEZ, M. T.; MOLINA-SABIO, M.; RODRIGUEZ-REINOSO, F.; SEPULVEDA-ESCRIBANO, A. Porosity of activated carbons prepared from different lignocellulosic materials. **Carbon**, v. 33, p. 1175-1188, 1995. Disponível em: <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/1995Carbo..33.1175G/abstract>. Acessado em: 04 out. 2023.

HADJITTO, L.; PRODROMOU, M.; PASHALIDIS, I. Activated biochar derived from cactus fibres – Preparation, characterization and application on Cu (II) removal from aqueous solutions. **Bioresource technology**, v. 159, p. 460 - 464, 2014. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960852414003782>. Acessado em: 04 out. 2023.

HAYASHI, J. I.; KAZEHAHA, A.; MUROYAMA, K.; WATKINSON, A. P. Preparation of activated carbon from lignina by Chemical activation. **Carbon** v. 38, n. 13, p. 1873-1878, 2000. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0008622300000270>. Acessado em: 04 out. 2023.

HEIDARPOUR, M.; FARHOOSH, R. A preliminary Rancimat-based kinetic approach of detecting olive oil adulteration. **LWT – Food Science and Technology**, v. 90, p. 77-82, 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0023643817308940>. Acessado em: 04 out. 2023.

HERNÁNDEZ, A. M.; LABADY, M.; LAINE, J. Granular Activated Carbon from Wood Originated from Tropical Virgin Forest. **Open Journal of Forestry**, v. 4, n. 3, 2014. Disponível em: https://www.scirp.org/html/5-1620166_44658.htm. Acessado em: 07 out. 2023.

HEYLMANN, K. K. A.; LOPES, B. V.; AFONSO, T. F.; DEMARCO, C. F.; CADAVAL JUNIOR, T. R.; QUADRO, M. S.; ANDREAZZA, R. Produção, caracterização e aplicação de carvão ativado de caroço de pêssego no tratamento de efluente têxtil. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 26, p. 485-494, 2021. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/esa/a/BDGvWxvThxwwwMg9ZwhXyjcd/?lang=pt>. Acessado em: 07 de out. 2023.

MCNAUGHT, A. D.; WILKINSON, A. **Compendium of Chemical Terminology**. 2. ed. Oxford: Blackwell Science, 1997. Disponível em: <https://goldbook.iupac.org/>. Acessado em: 10 de out. 2023.

LAZAROTTO, M.; BOVOLINI, M. P.; MUNIZ, M. F. B.; HAKAKAWA, R.; REINIGER, L. R. S.; SANTOS, A. F. Identification and characterization of pathogenic *Pestalotiopsis* species to pecan tree in Brazil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 49, p. 440-448, 2014. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/pab/a/zsJQnYYz3GKNH5XyZJRWhnC/?lang=en>. Acessado em: 10 de out. 2023.

LESINA, E. Cultivo da noz-pecã se expande e ganha espaço no Rio Grande do Sul. **Jornal do comércio**, Porto Alegre, 9 de fev. de 2020. Economia. Disponível em: https://www.jornaldocomercio.com/_conteudo/economia/2020/02/724121-cultivo-da-noz-peca-se-expande-eganha-espaco-no-rio-grande-do-sul.html#:~:text=Devido%20ao%20clima%20e%20ao,segundo%20informe%20t%C3%A9cnico%20da%20Embrapa. Acessado em: 10 de out. 2023.

LIMA, A. F.; FAGNANI, H. M. C.; SANTOS, W. L. F.; BARROS, M. A. S. D. Adsorção de azul de metileno em hidrocarvões de resíduos têxteis. **Matéria (Rio de Janeiro)**,

v. 25, p. e-12885, 2020. Disponível em:
<https://www.scielo.br/j/rmat/a/pHK9FwKSzmqG5zBgj5jZxy/?lang=pt&format=html>.
 Acessado em: 10 de out. 2023.

LOWELL, S.; SHIELDS, J. E.; THOMAS, M. A.; THOMMES, M. **Characterization of porous solids and powders: surface area, pore size and density**. Springer Science & Business Media, 2012. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=lwvSBwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA7&dq=LOWELL,+S.%3B+SHIELDS,+J.+E.%3B+THOMAS,+M.+A.%3B+THOMMES,+M.+Characterization+of+porous+solid+s+and+powders:+surface+area,+pore+size+and+density.+&ots=2q8Lb3U8UL&sig=0yi4HzSDDJqRwXgihsKT7GgAHA#v=onepage&q=LOWELL%2C%20S.%3B%20SHIELDS%2C%20J.%20E.%3B%20THOMAS%2C%20M.%20A.%3B%20THOMMES%2C%20M.%20Characterization%20of%20porous%20solids%20and%20powders%3A%20surface%20area%2C%20pore%20size%20and%20density.&f=false>. Acessado em: 10 de out. 2023.

LUZ, A. D. **Aplicação de coluna de adsorção em leito fixo para a remoção de compostos BTX multicomponentes presentes em efluentes petroquímicos**. Tese (Doutorado em Engenharia Química) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 192 p. 2012. Disponível em:
<https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/100668/309613.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acessado em: 04 de out. 2023.

MAHAN, L. K., ESCOTT-STUMP, S. **Krause: alimentos, nutrição e dietoterapia**. (12. ed., 1382 p. Rio de Janeiro: Elsevier. 2012.

MOREIRA, D. R. **Desenvolvimento de adsorventes naturais para tratamento de efluentes de galvanoplastia**. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Tecnologia de Materiais) - Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 79 p., 2010. Disponível em: <https://tede2.pucrs.br/tede2/handle/tede/3158>. Acessado em: 04 de out. 2023.

MORENO-CASTILLA, C.; CARRASCO-MARIN, F.; LOPEZ-RAMON, M. V.; ALVAREZ-MERINO, M. A. Chemical and physical activation of olive-mill waste water to produce activated carbons. **Carbon**, v. 39, n. 9, p. 1415-1420, 2001. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0008622300002682>. Acessado em: 04 de out. 2023.

MOZAFFARIAN, D. Dietary and policy priorities for cardiovascular disease, diabetes, and obesity: A comprehensive review. **Circulation**, v. 133, n. 2, p. 187-225, 2016. Disponível em:
<https://www.ahajournals.org/doi/full/10.1161/CIRCULATIONAHA.115.018585>.
 Acessado em: 04 de out. 2023.

NASCIMENTO, R. F. D.; LIMA, A. C. A. D.; VIDAL, C. B.; MELO, D. D. Q.; RAULINO, G. S. C. S. C. **Adsorção: Aspectos teóricos e aplicações ambientais**. 2. ed. Fortaleza: Imprensa Universitária, 256 p. 2014. Disponível em:
<https://repositorio.ufc.br/handle/riufc/53271>. Acessado em: 10 de out. 2023.

NOBRE, J. R. C.; QUEIROZ, L. S.; CASTRO, J. P.; PEGO, M. F. F.; HUGEN, L. N.; COSTA, C. E. F.; PARDAUIL, J. J. R.; NASCIMENTO, L. A. S.; FILHO, G. N. R.; ZAMIAN, J. R.; SOUZA, E. C.; BIANCHI, M. L. Potential of agro-industrial residues from the Amazon region to produce activated carbon. **Heliyon**, v. 9, n. 7, 2023. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC10362268/>. Acessado em: 10 de out. 2023.

OLIVEIRA, A. R.; BARBOSA, T. A.; MENDONÇA, L. C. Adsorption of pollutants in wastewater using biochar: a systematic review. **Research, Society and Development**, [S. l.], v. 12, n. 4, p. e23712441228, 2023. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/41228>. Acessado em: 28 jan. 2024.

OLIVEIRA, G. F.; ANDRADE, R. C. D., TRINDADE, M. A. G., ANDRADE, H. M. C., & CARVALHO, C. T. D. Thermogravimetric and spectroscopic study (TG–DTA/FT–IR) of activated carbon from the renewable biomass source babassu. **Química Nova**, v. 40, p. 284-292, 2017. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/qn/a/gDVPSJLXDYfpyskhCJ4FXXL/?lang=en>. Acessado em: 11 out. 2023.

PAZ, J. E. M.; GARNICA, A. I. C.; CURBELO, F. D. Estudo Da Adsorção De Chumbo Utilizando Como Adsorvente Bagaço De Cana De Açúcar Ativado. **HOLOS**, v. 8, p. 3-18, 2018. Disponível em: <https://www2.ifrn.edu.br/ojs/index.php/HOLOS/article/view/7544>. Acessado em: 20 out. 2023.

POLETTTO, T.; HAMANN, J. J.; MACIEL, C. G.; WALKER, C.; LAZAROTTO, M.; BAGGIOTTO, C.; MUNIZ, M. F. B.; POLETTTO, I. Análise de características dos frutos de cultivares de Nogueira-pecã cultivadas no Rio Grande do Sul. In: Anais do XVI Simpósio de Ensino, Pesquisa e Extensão - Aprender a Empreender na educação e na Ciência, **Anais...**, v. 16, 2012. Disponível em: <http://docplayer.com.br/24503320-Analise-de-caracteristicas-dos-frutos-de-cultivares-de-nogueira-peca-cultivadas-no-rio-grande-do-sul-1.html>. Acessado em: 11 out. 2023.

PORTO, M. F. A.; PORTO, R. L. **Gestão de Bacias Hidrográficas**. Estudos Avançados. São Paulo: ISSN, 2008.

DO PRADO, A. C. P.; MANION, B. A.; SEETHARAMAN, K.; DESCHAMPS, F. C.; ARELLANO, D. B.; BLOCK, J. M. Relationship between antioxidant properties and chemical composition of the oil and the shell of pecan nuts [*Carya illinoensis* (Wangenh) C. Koch]. **Industrial Crops and Products**, v. 45, p. 64-73, 2013. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0926669012006334>. Acessado em: 11 out. 2023.

PUZIY, A. M.; PODDUBNAYA, O. I.; MARTINEZ-ALONSO, A.; SUÁREZ-GARCÍA, F.; TASCÓN, J. M. D. Synthetic carbons activated with phosphoric acid: II. Porous structure. **Carbon**, v. 40, n. 9, p. 1507-1519, 2002. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0008622301003189>. Acessado em: 11 out. 2023.

SONG, X.; LIU, H.; CHENG, L.; QU, Y. Surface modification of coconut-based activated carbon by liquid-phase oxidation and its effects on lead ion adsorption. **Desalination**, v. 255, n. 1-3, p. 78-83, 2010. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0011916410000330>. Acessado em: 11 out. 2023.

QUEIROZ, M. S.; SALA, L. P.; DA SILVA, I. C.; FARIAS, C. T. T.; CAVALCANTI, L. A. P. AVALIAÇÃO DO TRATAMENTO DE EFLUENTES POR ADSORÇÃO EM MATERIAIS LÍGNOCELULÓSICOS. **Revista Foco**, v. 16, n. 4, p. e1657-e1657, 2023. Disponível em: <https://ojs.focopublicacoes.com.br/foco/article/view/1657>. Acessado em: 11 out. 2023.

RAJAPAKSHA, A. U.; VITHANAGE, M.; ZHANG, M.; AHMAD, M.; MOHAN, D.; CHANG, S. X.; OK, Y. S. Pyrolysis condition affected sulfamethazine sorption by tea waste biochars. **Bioresour. Technol.**, v. 166, p. 303-308, 2014. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960852414006889>. Acessado em: 11 out. 2023.

RECKZIEGEL, P. **Efeitos benéficos do extrato das cascas de noz pecã (*Carya illinoensis*) sobre parâmetros bioquímicos e comportamentais de camundongos expostos ao fumo passivo**. Dissertação (Mestrado em Farmacologia) – Universidade Federal de Santa Maria, 98 p., 2011. Disponível em: <https://repositorio.ufsm.br/handle/1/8965>. Acessado em: 15 out. 2023

ROCHA, C. M. B. M.; RODRIGUES, L. S.; COSTA, C. C.; OLIVEIRA, P. R.; SILVA, I. J.; JESUS, E. F. M.; ROLIM, R. G. Avaliação da qualidade da água e percepção higiênico-sanitária na área rural de Lavras, Minas Gerais, Brasil, 1999-2000. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 22, p. 1967-1978, 2006. Disponível em: https://www.scielo.org/article/ssm/content/raw/?resource_ssm_path=/media/assets/csp/v22n9/21.pdf. Acessado em: 10 de out. 2023.

RODRIGUEZ-REINOSO, F.; MOLINA-SABIO, M. Activated carbons from lignocellulosic materials by Chemical and/or physical activation: an overview. **Carbon**, v. 30, n. 7, p. 1111-1118, 1992. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/000862239290143K>. Acessado em: 10 de out. 2023.

SALEH, T. A. The influence of treatment temperature on the acidity of MWCNT oxidized by HNO_3 or a mixture of $\text{HNO}_3/\text{H}_2\text{SO}_4$. **Applied Surface Science**, v. 257, n. 17, p. 7746-7751, 2011. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S016943321100554X>. Acessado em: 15 out. 2023

SALVADOR, A. A.; PODESTÁ, R.; BLOCK, J. M.; FERREIRA, S. R. S. Increasing the value of pecan nut [*Carya illinoensis* (Wangenh) C. Koch] cake by means of oil extraction and antioxidant activity evaluation. **The Journal of Supercritical Fluids**, v. 116, p. 215-222, 2016. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0896844616301644>. Acessado em: 15 out. 2023.

SANTOS, D. H. D. S. **Avaliação da eficiência dos processos oxidativos avançados na regeneração de carvão ativado saturado com poluente orgânico**. Tese (Doutorado em Materiais) – Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 162 p. 2021. Disponível em: <https://www.repositorio.ufal.br/handle/123456789/8096>. Acessado em: 16 out. 2023.

SEHNEM, S.; PEREIRA, S. C. F.; JABBOUR, C. J. C.; GODOI, L. R. SUSTAINABLE MANAGEMENT FROM THE INNOVATION PERSPECTIVE AND CIRCULAR ECONOMY: THE NATIVE CASE/GESTAO SUSTENTAVEL NA PERSPECTIVA DA INOVACAO E DA ECONOMIA CIRCULAR: O CASO NATIVE/GESTION SOSTENIBLE DESDE LA PERSPECTIVA DE LA INNOVACION Y ECONOMIA CIRCULAR: EL CASO NATIVO. **Revista Eletrônica de Estratégia e Negócios**, v. 13, n. 3, p. 77-113, 2020. Disponível em: <https://go.gale.com/ps/i.do?id=GALE%7CA652003265&sid=googleScholar&v=2.1&it=r&linkaccess=abs&issn=19843372&p=IFME&sw=w&userGroupName=anon%7Ec677772c&aty=open-web-entry>. Acessado em: 16 out. 2023.

SILVA, E. R. A. **Agenda 2030**: ODS-Metas nacionais dos objetivos de desenvolvimento sustentável. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada – IPEA. 2018. Disponível em: <https://repositorio.ipea.gov.br/handle/11058/8855>. Acessado em: 15 out. 2023.

SILVA, G. G.; NAVAL, L. P.; DI BERNARDO, L.; DANTAS, A. D. B. Tratamento de água de reservatórios por dupla filtração, oxidação e adsorção em carvão ativado granular, **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 17, p. 71-80, 2012. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/esa/a/C54LvNwPcQtt9h4wvkCnXhy/?lang=pt&format=html>. Acessado em: 15 out. 2023.

SILVA, M. S.; VIANA, T. H. C.; GOUVEIA, C. L.; PETERS, L. P.; MAIA, G. B. S.; RODRIGUEZ, A. F. R. Produção e aplicação de filtro de baixo custo com carvão ativado a partir do resíduo de caroço de açaí nativo. **Ciência Florestal**, v. 33, p. e71315, 2023. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cflo/a/W8yxGhWFMKNGKJD4834xyzK/>. Acessado em: 16 out. 2023.

SPARKS, D. Adaptability of pecã as a species. **HortScience**, v. 40, n. 5, p. 1175–1189, 2005.

STOECKLI, H. F. Microporous carbons and their characterization: The present state of the art. **Carbon**, v. 28, n. 1, p. 1-6, 1990. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/000862239090086E>. Acessado em: 20 out. 2023.

STOPPE, A. C. R.; FAIAD, J. C.; CUNHA, L. M. P.; SANTOS, K. G.; VIEIRA NETO, J. L. Remoção do Corante Azul de Metileno no Tratamento de Efluentes por Adsorção em Carvão de Coco Verde e Carvão Ativado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SISTEMAS PARTICULADOS, ENEMP. **Anais eletrônicos...**, Belém, 2019. Disponível em: <https://proceedings.science/enemp/enemp->

2019/trabalhos/remocao-do-corante-azul-de-metileno-no-tratamento-de-efluentes-por-adsorcao-em-c?lang=pt-br>. Acessado em: 03 fev. 2024.

SUAREZ-GARCIA, F.; MARTINEZ-ALONSO, A.; TASCÓN, J. M. D. Pyrolysis of apple pulp: effect of operation conditions and chemical additives. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**, v. 62, n. 1, p. 93-109, 2002. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0165237000002163>. Acessado em: 15 out. 2023.

TIOSSI, F. M.; SIMON, A. T. Economia Circular: suas contribuições para o desenvolvimento da Sustentabilidade. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 2, p. 11912-11927, 2021. Disponível em: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/24108/19301>. Acessado em: 16 out. 2023.

VÁZQUEZ, R. C.; LÓPEZ, R. U. **Retos y oportunidades para el aprovechamiento de la Nuez pecanera en México**. Governo de Mexico. Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco (CIATEJ), p. 2, 2016.

WAKELING, L. T.; MASON, R. L.; D'ARC, B. R.; CAFFIN, N. A. Composition of pecan cultivars Wichita and western Schley [*Carya illinoensis* (Wangenh.) K. Koch] grown in Australia. **Journal of agricultural and food chemistry**, v. 49, n. 3, p. 1277-1281, 2001. Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/jf000797d>. Acessado em: 15 out. 2023.

WALKER, C.; MUNIZ, M. F. B.; MARTINS, R. R. O.; MEZZOMO, R.; ROLIM, J. M.; BLUME, E. First report of species in the *Cladosporium cladosporioides* complex causing pecã leaf spot in Brazil. **Journal of Plant Pathology**, v. 98, n. 2, p. 369-377, 2016. Disponível em: <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/full/10.5555/20173230984>. Acessado em: 16 out. 2023.

WEBSTER, K. **The Circular Economy: A Wealth of Flows**. Ellen MacArthur Foundation Publishing, 2010 p. 2015. Disponível em: https://books.google.com.br/books/about/The_Circular_Economy.html?id=c7QujgEACAAJ&redir_esc=y. Acessado em: 16 out. 2023.

YANG, J.; LIU, R. H.; HALIM, L. Antioxidant and antiproliferative activities of common edible nut seeds. **LWT-Food Science and Technology**, v. 42, n. 1, p. 1-8, 2009. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0023643808001771>. Acessado em: 25 out. 2023.

YU, S.; WANG, L.; LI, Q.; ZHANG, Y.; ZHOU, H. Sustainable carbon materials from the pyrolysis of lignocellulosic biomass. **Materials Today Sustainability**, v. 19, p. 100209, 2022. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2589234722001014>. Acessado em: 20 out. 2023.

ZHANG, J.; MAO, F.; LOH, K. C.; GIN, K. Y. H.; DAI, Y.; TONG, Y. W. Evaluating the effects of activated carbon on methane generation and the fate of antibiotic resistant

genes and class I integrons during anaerobic digestion of solid organic wastes.

Bioresource technology, v. 249, p. 729-736, 2018. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960852417319119?via%3Dihub>. Acessado em: 25 out. 2023.