

Produção de carvão ativado através de resíduos da Castanheira-do-Brasil (*Bertholletia excelsa* Bonpl.) voltados na solução para o tratamento de águas

Production of activated carbon using Castanheira-do-Brasil (*Bertholletia excelsa* Bonpl.) waste as a solution for water treatment

Producción de carbón activado utilizando residuos de Castanheira-do-Brasil (*Bertholletia excelsa* Bonpl.) como solución para el tratamiento de aguas

Recebido: 23/08/2022 | Revisado: 06/09/2022 | Aceito: 10/09/2022 | Publicado: 18/09/2022

Adenes Teixeira Alves

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6802-1914>
Universidade Federal do Amazonas, Brasil
E-mail: professoradenes@hotmail.com

Ires Paula de Andrade Miranda

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0414-2183>
Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Brasil
E-mail: iresandrade54@gmail.com

Dimas José Lasmar

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0473-9876>
Universidade Federal do Amazonas, Brasil
E-mail: dimas_lasmar@ufam.edu.br

Jardson dos Santos Reis

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0008-9995>
Universidade Federal do Amazonas, Brasil
E-mail: jardsonreis@ufam.edu.br

Felipe de Sá Machado

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9146-880X>
Universidade Federal do Amazonas, Brasil
E-mail: machado.felipe38@gmail.com

Douglas Dário Miranda Rabelo

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2724-1109>
Universidade Federal do Amazonas, Brasil
E-mail: douglas_rabelo98@hotmail.com

Jamal da Silva Chaar

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2697-0278>
Universidade Federal do Amazonas, Brasil
E-mail: jchaar@gmail.com

Resumo

O uso de carvão ativado é evidenciado pelo aumento do escopo de utilidades baseadas em carbono em várias aplicações industriais, incluindo antídotos farmacêuticos, remediação de águas residuais, aquicultura e remoção de toxinas. O carvão ativado produzido a partir de resíduos de biomassa por vários métodos e condições de processamento está surgindo como um adsorvente promissor para remediação do ecossistema, devido à extensa descarga de poluentes. O objetivo da presente pesquisa foi desenvolver a partir de testes laboratoriais a produção do carvão ativado através de resíduos da castanheira-do-brasil (*Bertholletia excelsa* Bonpl. Lecythidaceae) relacionados a solução de tratamento de águas potável. Os resultados dos testes indicaram que o resíduo de ouriço da castanheira possui mais vantagem de queima e produção do carvão comparado ao resíduo da casca da castanha, onde foi possível verificar na amostra da casca da castanha altas taxas de perdas de massa (20.92%) relacionadas a absorção de água, o que não é bom para produção de qualquer tipo de carvão, em relação a amostra do ouriço da castanheira, a taxa de perdas de massa foi de 5.21% relacionadas a absorção de água, bem menor que na casca da castanha, o que torna visível na produção de carvão e para o consumo em qualquer outro ramo.

Palavra-chave: Biomassa vegetal; Amazônia; Biotecnologia; Ativação física.

Abstract

The use of activated carbon is evidenced by the increasing scope of carbon-based utilities in various industrial applications, including pharmaceutical antidotes, wastewater remediation, aquaculture, and toxin removal. Activated carbon produced from biomass residues by various processing methods and conditions is emerging as a promising adsorbent for ecosystem remediation, due to the extensive discharge of pollutants. The objective of the present research

was to develop, from laboratory tests, the production of activated carbon using Brazil nut (*Bertholletia excelsa* Bonpl. Lecythidaceae) residues related to a drinking water treatment solution. The results of the tests indicated that the chestnut urchin residue has more advantage in burning and charcoal production compared to the nut shell residue, where it was possible to verify in the nut shell sample high rates of mass loss (20.92%) related to water absorption, which is not good for the production of any type of charcoal, in relation to the chestnut urchin sample, the mass loss rate was 5.21% related to water absorption, much lower than in the chestnut shell, which makes it visible in the production of coal and for consumption in any other branch.

Keyword: Vegetable biomass; Amazon; Biotechnology; Physical activation.

Resumen

El uso de carbón activado se evidencia por el creciente alcance de los servicios públicos basados en carbón en diversas aplicaciones industriales, incluidos los antidotos farmacéuticos, la remediación de aguas residuales, la acuicultura y la eliminación de toxinas. El carbón activado producido a partir de residuos de biomasa mediante varios métodos y condiciones de procesamiento está emergiendo como un adsorbente prometedor para la remediación de ecosistemas, debido a la extensa descarga de contaminantes. El objetivo de la presente investigación fue desarrollar, a partir de pruebas de laboratorio, la producción de carbón activado a partir de residuos de castaña (*Bertholletia excelsa* Bonpl. Lecythidaceae) relacionados con una solución de tratamiento de agua potable. Los resultados de las pruebas indicaron que el residuo de erizo de castaña tiene más ventaja en la quema y producción de carbón en comparación con el residuo de cáscara de nuez, donde fue posible verificar en la muestra de cáscara de nuez altas tasas de pérdida de masa (20,92%) relacionadas con la absorción de agua, que no es bueno para la producción de ningún tipo de carbón vegetal, en relación a la muestra de erizo de castaña, la tasa de pérdida de masa fue del 5,21% relacionada con la absorción de agua, muy inferior a la de la cáscara de castaña, lo que lo hace visible en la producción de carbón y para consumo en cualquier otro ramo.

Palabras clave: Biomasa vegetal; Amazonas; Biotecnología; Activación física.

1. Introdução

A remoção de poluentes ligados a águas residuais afetadas por produtos industriais além de produtos de higiene pessoal, plásticos, entre outros, transformou-se um dos principais desafios para cientistas do mundo todo, exigindo assim, o desenvolvimento de um método de tratamento sustentável, eficiente, flexível e economicamente viável nas bacias hidrográficas (Miranda, et al., 2021). Vários métodos, como biodegradação, eletroquímica, catálise, ozonização, coagulação, floculação e filtração por membrana, vem sendo usados extensivamente para a remoção de produtos poluentes em águas residuais. Porém, a formação de subprodutos tóxicos e o alto custo de operação ou manutenção são as principais desvantagens dos métodos citados acima (Suriyanon et al., 2015).

A adsorção é considerada um método promissor para a remoção de poluentes em águas residuais por conta de suas operações econômicas renováveis e flexíveis. Para melhorar a capacidade de adsorção de poluentes em adsorventes, vários materiais como, carvão ativado, resina, sílica, argila, nanotubos de carvão de paredes múltiplas, óxido de grafeno e quitosana, foram explorados até então. Um dos principais adsorventes utilizados para a remoção de poluentes e micropoluentes em águas residuais é o carvão ativado que vem atraindo mais atenção por conta de seu bom desempenho na adsorção com relação aos demais (Xiang et al., 2019).

O carvão ativado refere-se a um tipo de material carbonáceo, que possui uma estrutura microporosa hierárquica bem definida, área específica elevada, grande volume de poro e produtos químicos de superfície ajustáveis (Trazzi, et al., 2018). Apesar da ampla gama de aplicações, como adsorção, fotocatalise e eletroquímica, o custo de produção impede seu uso em larga escala nas indústrias (Klasson et al., 2013) No estágio inicial do desenvolvimento, o carvão foi considerado o melhor precursor para a produção de carvão ativado, devido ao seu alto teor de carbono, e com isso, devido à natureza limitada e não renovável, sendo possível o seu desenvolvimento a partir de outros recursos renováveis de baixo custo, como a biomassa, em especial os rejeitos da Castanheira do Brasil, como o Ouriço e a Casca da Castanha, os quais foram o foco dessa pesquisa. A ativação utilizada para produzir o carvão ativado através dos resíduos da castanheira-do-brasil foi a física.

A castanheira, conhecida popularmente como castanha-do-brasil ou castanha-do-pará é nativa da Amazônia, com grande importância econômica para a região (Muller, 1995). Pertencente ao grupo de nozes a castanha-do-Brasil foi descrita pela

primeira vez em 1808, por Humboldt e Bonpland, e posteriormente por Kunth. A castanheira do Brasil representa a única espécie existente no gênero *Bertholletia* e, embora exista uma considerável variação no tamanho, forma e número de sementes por fruto, não se constitui justificativa plausível para reconhecer mais de uma espécie (Mori & Prance, 1990).

Abundante na Amazônia onde se encontra o ouriço da castanha com forma esférica, peso em média de 2,4 kg sendo que cada ouriço armazena em média 25 frutos da castanha, totalizando 1/3 do seu peso bruto, somente a castanha é aproveitada, e o resíduo, sem nenhuma utilização, é normalmente descartado. A amêndoa da castanha do Brasil é um alimento muito apreciado, além do seu sabor, sua qualidade nutritiva tem grande destaque e dentre outros fatores a qualidade e quantidade de aminoácidos (Nogueira, 2011). Como a árvore da castanheira é muito alta, a coleta dos frutos acontece no solo. Isto se deve ao fato de naturalmente o ouriço com os frutos, se desprenderem da planta mãe quando maduro facilitando assim, a coleta. O período de desenvolvimento dos frutos, até sua maturação, dura cerca de quinze meses, sendo o período compreendido entre outubro a março quando ocorre o desprendimento do ouriço da planta mãe.

As áreas de ocorrência natural de *Bertholletia excelsa* na Amazônia estão concentradas nos estados do Acre, Amazonas, Pará, Amapá, Rondônia, Roraima, Mato Grosso e Maranhão. No estado do Amazonas os municípios que mais se destacam em produção da castanha do Brasil são Beruri, Humaitá e Lábrea (IBGE, 2016). A título de estimativa do potencial de biomassa, cada ouriço possui em média 20 amêndoas e considerando-se que uma árvore produz em média 236 ouriços e, se em cada ouriço totalizar em média 20 amêndoas, estima-se um potencial produtivo anual de 4.720 amêndoas por indivíduo. Levando-se em conta o peso médio de 5,0g por amêndoa, estima-se que o total de biomassa por castanheira pode contabilizar 23,6 kg por ano/safra (Zuidema & Boot, 2002).

Em consequência, a castanha vem ganhando importância econômica, principalmente devido os resultados de pesquisa sobre os seus valores nutricionais. Suas amêndoas apresentam alto valor nutricional, tornando-se uma das principais atividades econômicas na região amazônica (Bayma, et al., 2014). Em algumas localidades da Amazônia é o principal produto extrativista de exportação, inclusive com alto potencial de geração de energia proveniente da biomassa residual. Por ser abundante na região, a castanha pode também ser considerada como espécie chave na avaliação de indicadores de desenvolvimento conservacionista, devido sua colheita ser realizada em florestas nativas, no período de safra a cada ano (IBGE, 2016).

Vale ressaltar que a castanheira se trata de uma árvore intimamente ligada à cultura das populações tradicionais da Amazônia e seus produtos e subprodutos são utilizados há várias gerações, como fonte de alimentação e renda. Além disso, pode ser considerada uma espécie essencial para a conservação e o desenvolvimento sustentável da região, por ser uma planta nativa da Amazônia, colhida quase exclusivamente em florestas naturais e devido à forte demanda do mercado, explorada por várias comunidades no curto prazo e a baixo custo, além do baixo impacto ambiental da colheita (Carmona, et al., 2017). Considerando seu potencial nutricional e o consumo direto de suas amêndoas, vale ressaltar a gama de produtos oriundos da castanha do Brasil e possibilidades na diversificação do mercado em benefício das populações nativas da Amazônia.

O carvão ativado é o nome dado à um grupo de materiais carbonáceos em geral produzidos para obter porosidade potencialmente desenvolvida e uma elevada área superficial. Em razão da sua alta capacidade de adsorção, é um tipo de material utilizado ultimamente como adsorvente para purificar, desintoxicar, filtrar, descolorir, separar ou concentrar materiais líquidos ou gasosos, em diversos ramos industriais como: indústrias químicas, petroleiras, do ramo alimentício, entre outras (Danish & Ahmad, 2018).

O desenvolvimento da porosidade do carvão ativado em consequência de sua estrutura microcristalina e não gráfica, é decorrente do processo de ativação utilizado e das características do material precursor. Os poros formam a estrutura do carvão ativado que são classificados de acordo com seu tamanho, classificando-os em: microporos com poros de diâmetros menores que 2 nm; mesoporos com poros de diâmetros entre 2 e 50 nm e macroporos com poros de diâmetros maiores que 50 nm (Danish & Ahmad, 2018).

Embora os resíduos de biomassa tenham várias propriedades que contribuem para produzir carvão ativado com características eficientes, as diferenças na composição química da biomassa lignocelulósicos e vários processos de produção, permanecem como um obstáculo para a produção em escala industrial. Isso ocorre porque o método de preparação e a composição química da biomassa são conhecidos por afetar as características de adsorção do carvão ativado sintetizado, como poros, tamanho, volume total de poros, área superficial e rendimento (Ahmed, et al., 2019).

Apesar de possuir várias características que são essenciais para desempenhar o papel de adsorvente, o mecanismo adsorvente envolvido no carvão ativado precisa ser analisado para aplicações individuais. É importante ter uma compreensão clara da natureza do carvão ativado que influencia sua capacidade de adsorção. O crescente potencial do carvão ativado, sintetizado a partir de resíduos de biomassa para a adsorção de poluentes é uma ferramenta potencialmente viável e útil que levará a uma melhor preservação ambiental (Spessato et al., 2019); (Ani et al., 2020); (Aljeboree & Alshirifi, 2018).

A maioria dos materiais carbonáceos podem ser ativados mais os mais utilizados são os resíduos de petróleo, carvões minerais, turfa, ossos de animais, madeiras, bambu, endocarpo de coco, casca de nozes, de arroz, sementes de uva, pêssego, azeitona, amêndoa, dentre outros materiais com alto teor de carbono (Morais, 2017).

Em suma, o aproveitamento do resíduo do ouriço da castanha como matéria-prima da biomassa vegetal oriunda da amazônia para a produção de materiais biotecnológicos, poderá proporcionar diversos benefícios tais como a geração de novos empregos, renda, aproveitamento sustentável de biomassa e permitir um destino ambientalmente adequado. Definiu-se, então, como objetivo geral deste estudo avaliar o uso de resíduos do ouriço e casca da castanheira do brasil no desenvolvimento de carvão ativado para o tratamento de água potável.

2. Metodologia

As amostras do Ouriço da Castanheira e da Casca da Castanha (amêndoa), foram coletadas nas dependências da Fazenda Aruanã (03°00'30.63"S 58°45'50"W), altitude de 150 m, situada na rodovia AM-010, no município de Itacoatiara, Amazonas, Brasil. Foram coletadas cerca de 10kg do ouriço e cerca de 5kg de casca da castanha, as amostras receberam a denominação de OC1 e CC1 que diz respeito aos ouriços da castanha e a casca da castanha, respectivamente (Figura 1).

Figura 1 – Coleta de ouriços da castanheira-do-brasil na Fazenda Aruanã.



Fonte: Autores.

As amostras passaram por um tratamento térmico, em uma estufa à temperatura de $\cong 105$ °C por 3 horas, antes da carbonização e transformação para carvão. Após a secagem, foram carbonizadas em um forno elétrico do tipo mufla modelo EDG 3000 10P à temperatura 280 °C por 1 hora e 300 °C por 1 hora para ambas as amostras (CC1 e OC1) (Melo, 2012). Essas etapas foram realizadas no Laboratório de Síntese de Nanomateriais e Nanoscopia (LSNN) da Universidade Federal do Amazonas – UFAM. Logo após a carbonização, as amostras carbonizadas foram submetidas a caracterizações como: difração de raios X (DRX), microscopia eletrônica de varredura (MEV) e análise termogravimétrica.

A técnica de difração em policristais é muito utilizada para a identificação e caracterização de compostos cristalinos. Informações tais como tamanho de cristalito, parâmetros de rede, substituição isomórfica entre outras, podem ser obtidas. Os raios-X utilizados na difração tem comprimento de onda da ordem de 0,05 a 0,25 nm, ou seja, da ordem de grandeza dos diâmetros atômicos que funcionam como redes de difração. O processo de difração de raios-X consiste no espalhamento elástico dos fótons da radiação pelos átomos do material analisado que estão dispostos numa rede cristalina. Os raios-X são espalhados pelos elétrons devido a uma interação entre o campo magnético do mesmo com a carga negativa dos elétrons (Oliveira, 2020).

O processo utilizado para análise de difração de raios X (DRX) foi realizado no Laboratório de Síntese e Caracterização de Nanomateriais (LSCN) do Instituto Federal de Ciências e Tecnologia – IFAM, campus distrito industrial, operando através de um difratômetro da marca Bruker, modelo D2 Phaser, utilizando tubo de radiação de cobre (Cu K α = 0,15406 nm) em faixa de 2 θ de 5 a 100° com passo de 0,017°, velocidade de rotação 15 rpm, voltagem de 10 mA e 30 kV, respectivamente, de acordo com Nascimento et al. (2021).

O procedimento para análise de microscopia eletrônica de varredura (MEV) foi realizado no Centro Multiusuário para Análises de Fenômenos Biomédicos da Universidade do Estado do Amazonas – UEA. Utilizou-se o microscópio eletrônico de varredura modelo JSM-IT500HR da marca JEOL. O material foi metalizado em ouro-paládio, em um metalizador da marca EDWARDS durante doze horas e observado ao microscópio eletrônico de varredura, onde as imagens foram geradas em uma tela de visualização, sendo realizados ajustes para captura de imagens fornecendo melhores informações.

Para as análises termogravimétricas foi empregado nesta pesquisa um analisador térmico DTG-60H fabricado pela Shimadzu Corp. No analisador térmico, foram utilizados dois cadinhos de *alumina*, sendo um para pesar 3.50 ± 0.5 mg da amostra e outra em branco (cadinho vazio). Os testes foram realizados em fluxo de ar sintético de 25 mL.min⁻¹ e taxa de aquecimento de 20 °C.min⁻¹ até 800 °C. As curvas de TG-DTG foram representadas em função da temperatura e a partir dos resultados foi possível estimar alguns parâmetros de combustão dos resíduos de biomassa, como umidade, matéria volátil, carbono fixo, temperatura de ignição e taxas de perda de massa. As taxas de perda de massa relacionadas a absorção de água foram determinadas a partir da temperatura inicial até 155 °C, a matéria volátil foi determinada de 155 a 390 °C, o carbono fixo foi determinado de 390-600 °C, e a cinza foi determinada a partir de 600 °C (Li et al., 2009).

As análises dos parâmetros físico-químicos do carvão ativado, foram realizadas no Laboratório de Estudos de Palmeiras da Amazônia – LABPALM – INPA. Primeiramente, foi feito o tratamento térmico para retirada de umidade e outras impurezas em estufa por 1h à temperatura de 150 °C para cada uma das amostras. Após este procedimento, foi feita a filtração a vácuo em solução de cloreto de zinco 0,1 mol e misturada e agitada em cada uma das amostras por 1h até que o cloreto de zinco impregnasse nas estruturas porosas do carvão (Melo, 2012). A partir deste segundo procedimento, foram realizadas a testagem em 500 ml de água em cada amostra para verificar a eficácia do carvão ativado, e repetida por três vezes, como mostra a Figura 2.

Figura 2 - Filtração a vácuo, das amostras de carvão com cloreto de zinco.



Fonte: Autores.

As análises dos parâmetros físico-químicos das amostras da água coletada na filtração foram realizadas em um Espectrofotômetro de Absorção Atômica a partir da. As amostras foram divididas entre casca da castanha, ouriço da castanha e amostra de referência. A nomenclatura das amostras seguiu as seguintes determinações: OC1 (A), CC1(B) e REFERÊNCIA, relativos ao carvão da casca da castanha, ouriço da castanha e amostra referência, respectivamente. Os parâmetros físico-químicos incluíram: pH, ferro, alumínio, turbidez, temperatura, cor aparente, cloreto, sólidos totais dissolvidos, nitrato, nitritos, condutividades, dureza, fosfato, amônia, odor, gosto, de acordo com a metodologia de análises Standard Methods for the Examination of Water and Wasterwater - 2017 realizados pela empresa credenciada QUIMILAB LTDA. Da mesma forma, foram feitas as análises dos parâmetros microbiológicos incluindo coliformes totais, bactérias heterotróficas e *Escherichia coli*. Todos os parâmetros foram baseados a partir da portaria GM/MS – N°888 04 MAIO/2021 do Ministério da Saúde.

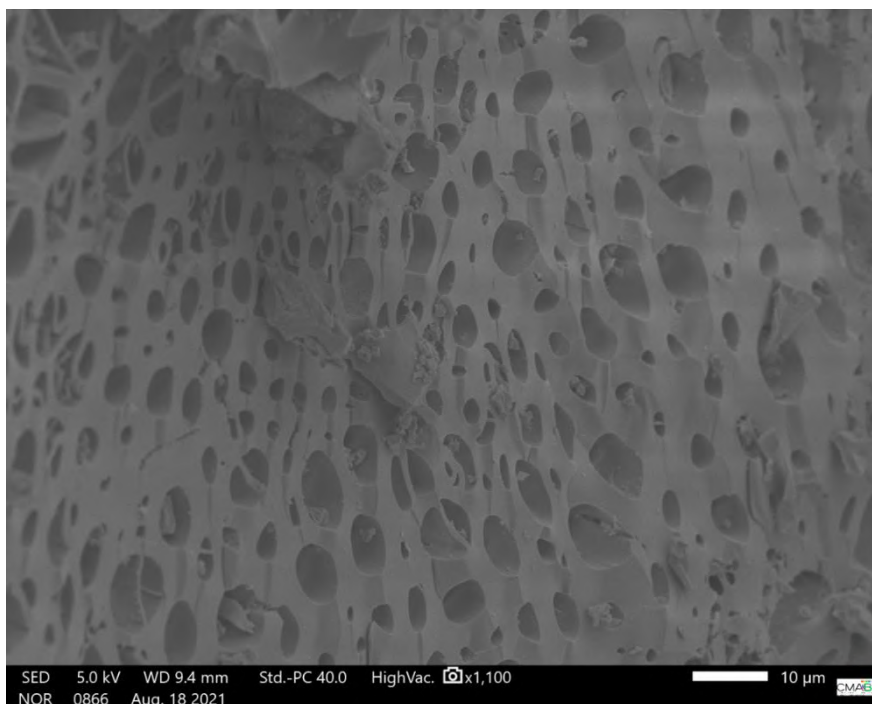
3. Resultados e Discussão

3.1 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

A microscopia eletrônica de varredura (MEV) foi realizada com o intuito de entender mais profundamente a morfologia do carvão. É um dos mais versáteis instrumentos disponíveis para a observação e análise das características microestruturais de materiais sólidos (Henriques, 2019). As Figuras 3 e 4 mostram as imagens do carvão ativado ampliadas entre 800 – 1600 vezes.

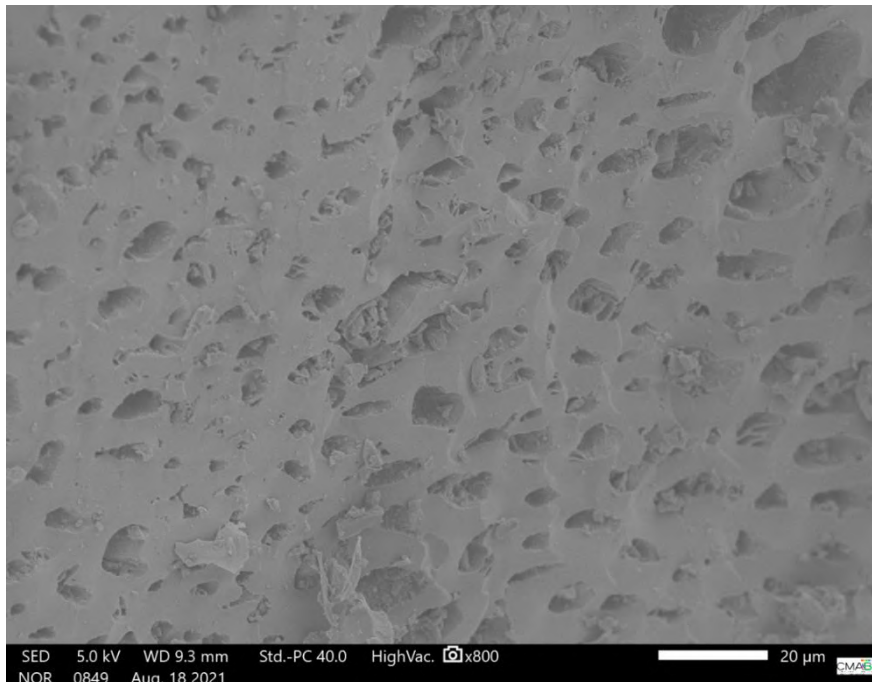
De acordo com as Figuras 3 e 4 verificou-se nas amostras de OC1 e CC1 a presença de estruturas porosas em forma homogênea nas duas amostras, sendo mais evidente na amostra OC1 a evolução dos poros com diâmetros em torno de 4 – 12 nm.

Figura 3 - MEV da amostra do ouriço da castanha (OC1). Visualização dos mesoporos.



Fonte: Autores.

Figura 4 - MEV da amostra da casca da castanha (CC1). Visualização dos mesoporos.



Fonte: Autores.

A partir dos resultados obtidos através da técnica do MEV, nota-se que nas duas amostras estudadas evidencia-se estruturas porosas que estão distribuídas uniformemente pela superfície, o que segundo Moraes, 2017, pode-se analisar a morfologia superficial das amostras estudadas em 3 dimensões.

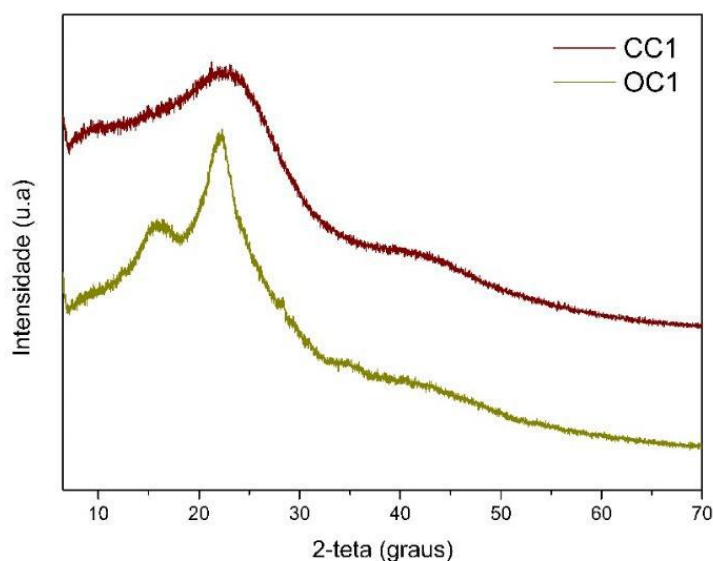
De acordo com Claudino (2003), o processo de ativação e a pirólise definem a estrutura, quantidade e distribuição dos poros dos diferentes tamanhos no carvão ativado (Figura 4). Conforme a classificação da União Internacional de Química Pura e Aplicada – IUPAC, os tamanhos dos poros são expressos em microporos (2 nm); mesoporos ($2 - 50\text{ nm}$) e macroporos ($> 50\text{ nm}$) (Silva *et al.*, 2020).

No presente trabalho, não foram identificados na análise superficial, poros considerados na classificação da IUPAC de 2 a 12 nm , baseando-se na classificação internacional IUPAC a qual atribui à faixa de $2 - 50\text{ nm}$ para o tamanho de poros no carvão ativado. Notou-se que nas duas amostras as estruturas porosas podem possuir feixes fibrosos e que por se tratar apenas de carbonização da amostra (parte ativação física), observa-se a presença de materiais nas aberturas e em voltas dos poros o que poderia ser evitado partindo para ativação física e química, utilizando precursores que possibilitem a retirada desses materiais (Moraes, 2017).

3.2 Difração de Raio-X

De acordo com os resultados obtidos através dos difratogramas da Figura 5., as amostras de carvão ativado de CC1 e OC1 apontam a inexistência de ordem estruturais em longo alcance, bastante comuns em carvões ativados. De acordo com Junior (2018), as características dos picos apresentados na faixa de $15-30^\circ$ são relativos a carbonos amorfos ou grafite turbostrática conforme os estudos de (Sivadas, 2016).

Figura 5 - Difratogramas das amostras de CC1 e OC1.



Fonte: Autores.

A intensidade do pico em ambas as amostras indica baixo grau de carbono grafite presentes, apesar de alteração na amostra OC1 na mesma faixa de $15-30^\circ$ que mostram dois picos e que também indicam estruturas amorfas. Portanto, a partir desta técnica de difração de raio – X, podemos propor se trata de carbono amorfo com uma estrutura altamente desordenada que se assemelha ao grafite após ser carbonizado e ativado (Tiririci, 2007).

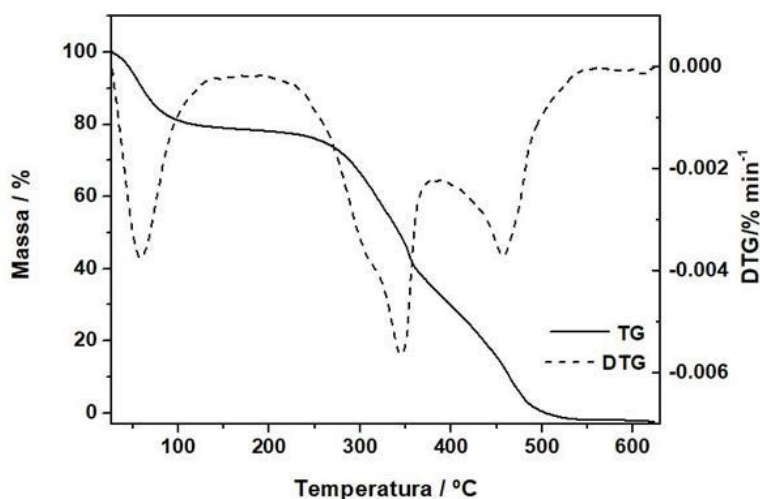
3.3 Análise Termogravimétrica

A reação térmica dos resíduos da castanheira do Brasil foi examinada utilizando curvas termogravimétricas (TG-DTG). A curva TG evidenciam mudança de massa de acordo com a variação de temperatura e a curva DTG mostra taxas de perda de massa em função da temperatura. As curvas TG e DTG foram usadas para determinar alterações físico-químicas nas estruturas das amostras durante a conversão térmica dos resíduos de biomassa da castanheira do Brasil. As curvas resultantes são apresentadas nas Figuras 6 e 7 abaixo para as amostras OC1 e CC1. As amostras CC1 possuem padrões de curvas da biomassa da casca da castanha do Brasil apresentado três grandes picos nas curvas TG-DTG no decorrer das análises. Esses resultados com relação a variação de temperatura e a curva DTG também foram apontados por Reis et al., 2019, em análises de biomassa vegetais.

Para a amostra CC1, o primeiro pico surge entre 28.22 e 161.04 °C e está relacionado diretamente a perda de umidade da amostra, sendo adsorvida toda água presente nesta faixa de temperatura. O segundo pico ocorre entre 162.18 e 383.44 °C, o que evidencia uma perda de massa mais intensa e está relacionada a decomposição de celulose e hemicelulose, em geral, os componentes perdidos nesta faixa de temperatura são classificados como material volátil da biomassa, ainda segundo Reis et al., (2019). O terceiro e último pico ocorre entre 383.44 e 561.20 °C e se relaciona com a decomposição da lignina, geralmente denominado de combustão do carbono fixo. A queima completa desta respectiva amostra, não excedeu 600 °C, visualizadas nas DTG das amostras (Figuras 6 e 7).

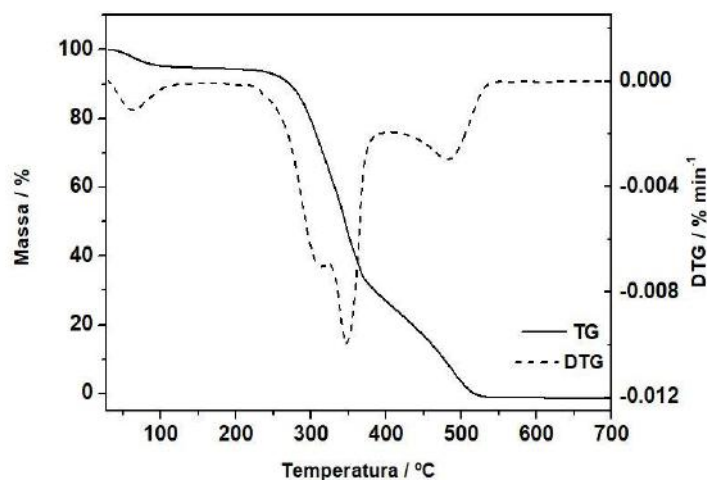
A amostra OC1 (Figura 6), apresentou um padrão de queima diferente da amostra de CC1 (Figura 7) e da citada aqui na literatura, mas ainda assim apresentam três picos de perdas de massa, como todo o material lignocelulósico. O primeiro pico ocorre entre 31.27 e 150.06 °C que se relaciona a perda de umidade ou a adsorção de água presente na amostra. O segundo pico ocorreu em 157.54 e 400.52 °C, o que evidencia uma alta perda de material volátil e formação de carvão nesta faixa de temperatura. O último pico está relacionado a perda de carbono fixo da matéria e ocorre entre 401.35 e 586.61 °C. A partir de 590 °C evidencia-se a queima completa do material, sobrando apenas cinzas inorgânicas a partir desta temperatura.

Figura 6 - TG – DTG / (OC1).



Fonte: Autores.

Figura 7 - TG – DTG / (OC1).



Fonte: Autores.

A contar com os dados obtidos nas curvas DTG das amostras, foram calculados os teores de umidades para as duas amostras, OC1 e CC1. As curvas DTG das amostras apresentaram perdas de massa de 5.21 e 20.92% para as amostras OC1 e CC1, respectivamente. De acordo com Heidari et al., (2018), um alto teor de umidade presente em determinada amostra de biomassa não é apropriado para queima, pois, quanto maior o valor, maior será a presença de água naquele carvão, o que não é apropriado também para este tipo de pesquisa. Como observado na Figura 6, a amostra OC1 tem uma alta e rápida temperatura de ignição entre 170° o que é diferente da amostra de CC1 que contém um número elevado para umidade e baixa temperatura de ignição, o que dificulta a queima desta amostra. A temperatura inicial do segundo pico de ambas as amostras representa a temperatura de ignição, definida como o início da combustão do resíduo de biomassa. Sua determinação é importante porque influencia a estabilidade da chama e a emissão de poluentes (Iordanidis et al., 2001).

Conforme os estudos feitos por Zhao et al., (2017), classificou-se as características físico-químicas de dois resíduos de biomassa: palha de soja e a palha de milho. A constituição termodinâmica dos resíduos deu-se em temperaturas acima dos descritos anteriormente, em que o primeiro pico (< 200 °C) apontou principalmente que a amostra de resíduos de biomassa perdeu umidade superficial, o segundo pico de 200–400 °C está relacionado à perda de massa volátil de 75,5% para a palha de soja e 78,6% em massa para a palha de milho, e o terceira pico foi de 440 a 600 °C, correspondendo à perda de massa de carbono fixa de 17,3% em massa para a palha de soja e 13,2% em massa para a palha de milho. Nas pesquisas de (Queiroz, et al., 2016), um estudo sobre resíduos sólidos urbanos foi produzido na cidade de Campina Grande, Estado da Paraíba, para aplicações de energia térmica e elétrica. A faixa de perda de massa inicial foi de 24-166 °C e está atribuída à umidade, enquanto a segunda perda de massa foi de 166-372 °C e foi associada à queima de hemicelulose e celulose, característica da composição de materiais orgânicos como papel, borracha, madeira e plásticos presentes em resíduos urbanos.

3.4 Parâmetros físico-químicos do carvão ativado em água

A partir das testagens realizadas em bancada no laboratório com água filtrada, o material saiu como esperado. A amostra de água foi retirada diretamente da torneira em condições de temperatura e ambiente, todas as amostras com exceção da amostra padrão ficaram turvas de cor esbranquiço.

Na Tabela 1, a comparação dos valores das amostras de água coletada, mostram que o pH e turbidez tiveram valores inferiores e muito superior, respectivamente. Os níveis superiores de turbidez das amostras OC1A de 10,6 NCU e CC1B de 12,8

NCU, se dão por conta de materiais sólidos em suspensão, na qual reduzem a transparência das amostras, podemos comparar assim, os parâmetros de turbidez com os de STD (Sólidos Totais Dissolvidos), em que STD não foram encontrados sólidos dissolvidos, isso se deve ao carvão ser ativado através de cloreto de zinco nas quais o zinco não se impregnou totalmente no carvão de ambas amostras, escoando diretamente pelo filtro na água (Cavalcanti, et al., 2022). A água com altos níveis de turbidez, complica qualquer processo de uso ou desinfecção, isso porque os microrganismos se utilizam da proteção dada a turbidez da água. A turbidez serve como um medidor sanitário crucial e referência para a qualidade da água potável.

Tabela 1 - Dados de ensaios físico-químicos e microbiológicos das amostras.

RESULTADOS FÍSICO-QUÍMICAS E MICROBIOLÓGICOS					
PARÂMETROS	UNIDADE	RESULTADOS			PORT. GM/MS- N°888 04 MAIO /2021
		OC1A	CC1B	PADRÃO	
pH	-	5,6	6,0	7,0	Entre 6 – 9
Ferro	mg/L	0,00	0,05	0,02	0,30
Alumínio	mg/L	0,00	0,00	0,00	0,20
Turbidez	NTU	10,6	12,8	5,24	5,0
Temperatura	°C	17,4	17,3	19,6	-
Cor aparentes	uH	4	4	4	Até 15 uH
Cloreto	mg/L	7,99	4,99	9,99	250
STD*	mg/L	0,00	0,00	0,00	1000
Nitrato	mg/L	0,00	0,01	0,07	10
Nitrito	mg/L	0,02	0,01	0,02	-
Condutividade	uS/cm	5,3	3,8	6,2	-
Dureza	mg/L	2,2	2,0	2,0	< 300
Fosfato	mg/L	3,25	5,05	3,27	-
Amonia	mg/L	0,23	0,05	0,01	-
Odor	Intensidade	N.O.	N.O.	N.O.	NO – Não Objetável
Gosto	Intensidade	N.O.	N.O.	N.O.	NO – Não Objetável
RESULTADOS MICROBIOLÓGICOS					
		OC1A	CC1B	PADRÃO	MS- N°888 04 MAIO /2021
Coliformes totais	NMP/100 mL	Presença	Presença	Presença	Ausência em 100 mL
Bactérias Heterotróficas	UFC/mL	38	42	40	500
Escherichia coli	NMP/100 mL	Presença	Presença	Presença	Ausência em 100 mL

*STD - Sólidos Totais Dissolvidos. Fonte: Autores.

De acordo com os dados de pH apresentados na Tabela 1., visualizou-se que na escala acidez e basicidade tanto as amostras OC1A e CC1B estão no limite da norma PORT. GM/MS- N°888 04 MAIO /2021. Isto pode estar associado ao padrão das águas do Rio Negro que é consumida pela população na qual são extremamente ácidas devido a matéria orgânica dos ácidos

húmicos e flúvicos existentes nesta bacia hidrográfica. Com relação aos outros elementos inorgânicos devido a pobreza dos solos amazônicos em elementos minerais, automaticamente estão refletidas na composição do aquífero (Miranda, et al., 2021).

A partir dos resultados apresentados pela Tabela 1., observa-se o aumento de fosfato na amostra CC1A com valores de 5,05 mg/L que pode corresponder a eutrofização, isto é, o aumento de nutrientes na água por fósforo e azoto que pode proporcionar o rápido crescimento de fitoplâncton o que gera um aumento de turbidez na água (Emídio, 2012). Segundo Lenzi (2014), de acordo com a natureza química dos compostos suspensos no que se refere a sua toxicidade, a turbidez se torna apenas uma questão estética, mas enfatiza que microrganismo podem se juntar a estas partículas em suspensão em busca de alimentos e de proteção, dificultando qualquer trabalho de desinfecção ou purificação no tratamento de água, o que explica também as presenças de bactérias heterotróficas em 40 UFC/mL e *Escherichia coli* em 100 mL nas três amostras.

De acordo com a Portaria do Ministério da Saúde nº 2.914/2011 e a Portaria do Gabinete do Ministro do Ministério da Saúde nº 888 de 04 de maio de 2021, indicam que o pH da água esteja entre 6,0 e 9,0, para assim ser considerado água potável, conforme os resultados de pH descritos na Tabela 1, o pH encontrado para amostra OC1A foi de 5,6, o que indica uma composição ácida, considerando-se a origem da água utilizada na amostra, composta por ácidos húmicos oriundos da bacia do rio negro (AM), conforme observado, e conseqüentemente, para este parâmetro em específico, a água não é considerada potável e imprópria para irrigação, visto que com baixa alcalinidade na água, contribuem para a corrosividade e agressividade, enquanto que as incrustações se dão por altos níveis de pH (BRASIL - Ministério da Saúde, 2006).

4. Considerações Finais

A partir dos resultados obtidos nesta pesquisa, pode-se considerar que quimicamente os resíduos de ouriço da castanheira apresenta mais vantagens de queima, produção do carvão e filtragem comparado ao resíduo da casca da castanha, onde foi possível verificar que na amostra CC1 tem altas taxas de umidade, o que não é bom para a produção de qualquer tipo de carvão, em relação a amostra OC1 a taxa de umidade foi bem menor que na CC1 o que se torna viável na produção de carvão e para uso como precursor em qualquer outro ramo. Pode-se notar ainda, a porosidade em ambas as amostras e confirmadas suas características amorfas por difração de raio-X, o que torna viável e favorável a produção do carvão ativado. Quanto a presença de coliformes totais nas três amostras, se deve a fatores externos que influenciaram os resultados da análise. Junto a isso, sugere-se a necessidade de intensificar pesquisas para aperfeiçoar as técnicas de segurança laboratorial de filtragem e maior diversificação de insumos, considerando a qualidade da amostra e distribuição espacial da biomassa da castanheira, a fim de se criar protocolos bem acurados da utilização dessa biomassa como alternativa industrial.

Agradecimentos

A Fundação de Amparo à Pesquisa do Amazonas por conceder o apoio financeiro. A Universidade Federal do Amazonas – UFAM, a Rede BIONORTE, ao Instituto Federal do Amazonas – IFAM e o Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia – INPA por ceder o uso de laboratórios onde foram possíveis a obtenção dos resultados da pesquisa.

Referências

- Ahmed, M. B., Johir, M. A., Zhou, J. L., Ngo, H. H., Nghiem, L. D., Richardson, C., & Bryant, M. R. (2019). Activated carbon preparation from biomass feedstock: Clean production and carbon dioxide adsorption. *Journal of Cleaner Production*, 225, pp. 405-413. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.03.342>
- Aljeboree, A., & Alshirifi, A. (2018). Adsorption of pharmaceuticals as emerging contaminants from aqueous solutions on to friendly surfaces such as activated carbon: A review. *Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*, 10(9), pp. 2252-2257.
- Alves, T. C., Girardi, R., & Pinheiro, A. (JAN/DEZ de 2017). Micropoluentes orgânicos: ocorrência, remoção e regulamentação. *Revista de Gestão de Água da América Latina*, 14. <https://doi.org/10.21168/rega.v14e1>

- Ani, J. U., Akpomie, K. G., Okoro, U. C., Aneke, L. E., Onukwuli, O. D., & Ujam, O. T. (2020). Potentials of activated carbon produced from biomass materials for sequestration of dyes, heavy metals, and crude oil components from aqueous environment. *J Appl Sci Environ Manage*, 69(10), pp. 1-11. <https://doi.org/10.1007/s13201-020-1149-8>
- Auca, E. C. (2018). Propagação de Mudanças de Castanha-do-Pará (Humb. And Bonpl) utilizando sementes em miniestufas. *Revista Online Agro@ambiente*, 12(4), pp. 300-313.
- Bayma, M. M., Malavazi, F. W., Sá, C. P., Fonseca, F. L., Andrade, E. P., & Wadt, L. H. (2014). Aspectos da cadeia produtiva da castanha-do-brasil no estado do Acre, Brasil. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Ciências Naturais*, 9(2), pp. 417-426.
- BRASIL - Ministério da Saúde. (2006). *Vigilância e controle da qualidade da água para consumo humano*. Brasília.
- Carmona, I. N., Sampaio, J. S., Andrade, F. W., Júnior, C. D., Junior, S. M., Moreira, L. S., & Moutinho, V. H. (2017). Potencial energético da biomassa e carvão vegetal de resíduos de castanha-do-pará (*Bertholletia excelsa* Bonpl.). *III Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia da Madeira*, (pp. 1-9). Florianópolis .
- Cavalcanti, J. C., Ferro, A. C., Paixão, A. K., & Cavalcante, A. D. (2022). Análises físico-químicas da água da barragem da vila da bananeira, arapiraca – alagoas. *Diversitas Journal*, 7(1), pp. 0115-0124. <https://doi.org/10.48017/dj.v7i1.2027>
- Danish, M., & Ahmad, T. (2018). A review on utilization of wood biomass as a sustainable precursor for activated carbon production and application. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 87, pp. 1-21. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.02.003>
- Emídio, V. J. (2012). *A problemática do fósforo nas águas para consumo humano e águas residuais e soluções para o seu tratamento*. Dissertação de Mestrado, Universidade do Algarve, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Algarve.
- García, V. A., Rosales, E., Pazos, A. P., & Sanromán, M. A. (2020). Synthesis and use of efficient adsorbents under the principles of circular economy: Waste valorisation and electroadvanced oxidation process regeneration. *Separation and Purification Technology*, 242(116796), pp. 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2020.116796>
- Heidari, A., Hajinezhad, A., & Aslani, A. (2018). A sustainable power supply system, iran's opportunities via bioenergy. *Environmental Progress & Sustainable Energy*, 38(1), pp. 1-18. <https://doi.org/10.1002/ep.12937>
- Henriques, R. L. (2019). *Utilização da microscopia eletrônica de varredura (MEV) para avaliação da ação de cloretos em compósitos de matriz cimentícia*. Monografia (especialização), Universidade Federal de Minas Gerais, Eng - Departamento De Engenharia Materiais E Da Construção Civil.
- IBGE. (2016). *SIDRA*. <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/pevs/quadros/brasil/2020>
- Iordanidis, A., Georgakopoulos, A., Markova, K., Filippidis, A., & Kassoli-Fournakari, A. (2001). Application of TG–DTA to the study of Amynteon lignites, northern Greece. *Thermochimica Acta*, 371(1-2), pp. 137-141. [https://doi.org/10.1016/S0040-6031\(01\)00418-X](https://doi.org/10.1016/S0040-6031(01)00418-X)
- Junior, O. F. (2018). *Carvões ativados a partir de resíduos de biomassa de espécies amazônicas utilizando diferentes processos de carbonização para armazenamento de gases*. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Santa Catarina, Programa de Pós-Graduação em Ciências e Engenharia de Materiais.
- Klasson, K. T., Ledbetter, C. A., Uchimiya, M., & Lima, I. M. (2013). Activated biochar removes 100 % dibromochloropropane from field well water. *Environmental Chemistry Letters volume*, 11, pp. 271-275. <https://doi.org/10.1007/s10311-012-0398-7>
- Lenzi, E., Favero, L. O., & Luchese, E. B. (2014). *Introdução à Química da Água: Ciência, Vida e Sobrevivência*. São Paulo: LTC Livros Técnicos e Científicos Editora Ltda.
- Li, Q., Zhao, C., Chen, X., Wu, W., & Li, Y. (2009). Comparison of pulverized coal combustion in air and in O₂/CO₂ mixtures by thermo-gravimetric analysis. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 85(1-2), pp. 521-528. <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2008.10.018>
- Melo, S. S. (2012). *Produção de Carvão Ativado a Partir da Biomassa Residual da Castanha-do-Brasil (Bertholletia excelsa L.) para Adsorção de Cobre (II)*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Pará, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Belém - PA.
- Miranda, I. P., Barbosa, E. M., & Conceição, A. C. (2021). Mapeamento da Corbeteira Vegetal como Categoria de Análise de Nascentes da Bacia do Educandos. Em M. L. Silva, M. T. Monteiro, S. J. Ferreira, L. A. Candido, E. L. & Schloemp, A. E. LTDA (Ed.), *Projeto Leté - Rede de Monitoramento Ambiental da Bacia Hidrográfica do Educandos - Manaus - AM* (Vol. 1, pp. 59-77). Manaus, Brasil.
- Moraes, R. M. (2017). *Produção de carvões ativados preparados a partir de diferentes materiais precursores*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Instituto de Florestas.
- Mori, S. A., & Prance, G. T. (1990). Taxonomy, ecology, and economic botany of the Brazil nut (*Bertholletia excelsa* Humb. & Bonpl.: Lecythidaceae). *Adv. Econ. Bot.*, pp. 130-150.
- Muller, C. H. (1995). *Castanha-do-Brasil*. Belém, PA: EMBRAPA.
- Nogueira, R. M. (2011). *Secagem da castanha-do-brasil em condições de floresta e carbonização do resíduo do fruto da castanheira*. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.
- Nogueira, R. M., Ruffato, S., Carneiro, J. S., Pires, E. M., & Álvares, V. S. (2014). Avaliação da Carbonização do Ouriço da Castanha-do-Brasil em Forno Tipo Tambor. *Scientific Electronic Archives*, 6, pp. 7-17.
- Oliveira, O. F. (2020). *Estudo Da Hidrólise Catalítica Do Óleo De Soja Em Reator De Leito Fixo*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal De Uberlândia, Engenharia Química, Uberlândia.

- Pereira, S. F., Maciel, A. E., Santos, D. C., Moraes, E. K., Oliveira, G. R., Bittencourt, J. A., & Oliveira, J. S. (2014). Remoção De Metais De Águas Superficiais Usando Carvão Vegetal De Açai (EUTERPE OLERACEA MART). *XIII International Conference on Engineering and Technology Education*, (pp. 397-401). Guimarães, Portugal. <https://doi.org/10.14684/INTERTECH.13.2014.397-401>
- Queiroz, A. J., Morais, C. R., Lima, L. M., Buriti, J. S., Sales, J. L., & Filho, F. P. (2016). Analysis of deterioration and calorific value of urban solid residues. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, *123*, pp. 949-953. <https://doi.org/10.1007/s10973-015-5117-8>
- Reis, J. S., Araujo, R. O., Lima, V. M., Queiroz, L. S., Costa, C. E., Pardaul, J. J., & Souza, L. K. (2019). Combustion properties of potential Amazon biomass waste for use as fuel. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, *138*, pp. 3535-3539. <https://doi.org/10.1007/s10973-019-08457-5>
- Silva, J. S., Barros, R. S., Cruz, L. O., Cruz, L. O., Ani, F. N., & Salgado, M. F. (2020). Produção de carvão ativado da casca do babaçu e sua eficiência no tratamento de água para o consumo humano. Em R. J. Olivera, *Engenharia florestal: desafios, limites e potencialidade* (pp. 654-685). Editora Científica Digital. <https://doi.org/10.37885/200700715>
- Sivadas, D. L., Vijayan, S., Rajeev, R., Ninan, K. N., & Prabhakaran, K. (2016). Nitrogen-enriched microporous carbon derived from sucrose and urea with superior CO₂ capture performance. *Carbon*, *109*, pp. 7-18. <https://doi.org/10.1016/j.carbon.2016.07.057>
- Solanki, A., & Boyer, T. H. (2020). Pharmaceutical removal in synthetic human urine using biochar. *Environmental Technology & Innovation*, *19*(3), pp. 553-565. <https://doi.org/10.1039/C6EW00224B>
- Spessato, L., Bedin, K. C., Kazetta, A. L., Souza, I. P., Duarte, V. A., Crespo, L. H., & Almeida, V. C. (2019). KOH-super activated carbon from biomass waste: Insights into the paracetamol adsorption mechanism and thermal regeneration cycles. *Journal of Hazardous Materials*, *371*, pp. 499-505. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2019.02.102>
- Suriyanon, N., Permrungruang, J., Kaosaiphun, J., Wongrueng, A., Ngamcharussrivichai, C., & Punyapalakul, P. (2015). Selective adsorption mechanisms of antilipidemic and non-steroidal anti-inflammatory drug residues on functionalized silica-based porous materials in a mixed solute. *Chemosphere*, *136*, pp. 222-231. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2015.05.005>
- Tiririci, M. M., Thomas, A., Yu, S. H., Muller, J. O., & Antonietti, M. (2007). A Direct Synthesis of Mesoporous Carbons with Bicontinuous Pore Morphology from Crude Plant Material by Hydrothermal Carbonization. *Chemistry of Materials*, *19*, pp. 4205-4212. <https://doi.org/10.1021/cm0707408>
- Trazzi, P. A., Higa, A. R., Dieckow, J., Mangrich, A. S., & Higa, R. C. (2018). BIOCARVÃO: REALIDADE E POTENCIAL DE USO NO MEIO FLORESTAL. *Ciência Florestal*, *28*(2), pp. 875-887. <http://dx.doi.org/10.5902/1980509832128>
- Xiang, Y., Xu, Z., Wei, Y., Zhou, Y., Yang, X., Yang, Y., & Zhou, Z. (2019). Carbon-based materials as adsorbent for antibiotics removal: Mechanisms and influencing factors. *Journal of Environmental Management*, *237*, pp. 128-138. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.02.068>
- Zhao, J., Wang, Q., Yu, L., & Wu, L. (2017). TG-DSC analysis of straw biomass pyrolysis and release characteristics of noncondensable gas in a fixed-bed reactor. *Drying Technology*, *35*(3), pp. 347-355. <https://doi.org/10.1080/07373937.2016.1171234>
- Zuidema, P. A., & Boot, R. G. (2002). Demography of the Brazil nut tree (*Bertholletia excelsa*) in the Bolivian Amazon: impact of seed extraction on recruitment and population dynamics. *Journal of Tropical Ecology*, *18*(1), pp. 1-31. <https://doi.org/10.1017/S0266467402002018>