UNIVERSIDADE DO ESTADO DO AMAZONAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIODIVERSIDADE E BIOTECNOLOGIA – REDE BIONORTE

USO DE RESÍDUOS DA CASTANHA DO BRASIL (*Bertholletia excelsa* Bonpl.) NA SOLUÇÃO DE PROBLEMAS SOCIOECONÔMICOS E DE SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL

ADENES TEIXEIRA ALVES

MANAUS – AM
2022

ADENES TEIXEIRA ALVES

USO DE RESÍDUOS DA CASTANHA DO BRASIL (*Bertholletia excelsa* Bonpl.) NA SOLUÇÃO DE PROBLEMAS SOCIOECONÔMICOS E DE SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL

Tese de doutorado apresentada ao Curso de Doutorado do Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade e Biotecnologia – Rede BIONORTE, da Universidade do Estado do Amazonas, como requisito parcial para a obtenção do título de Doutor em Biodiversidade e Biotecnologia.

Orientador(a): Prof. Dr. Dimas José Lasmar

Coorientador(a): Profa. Dra. Ires Paula de Andrade Miranda

MANNAUS – AM

2022

Ficha Catalográfica

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Teixeira, Adenes Teixeira
T266r Uso de resíduos da castanha do Brasil (Bertholletia excelsa Bonpl.) na solução de problemas socioeconômicos e de sustentabilidade ambiental / Adenes Teixeira Teixeira. 2022
146 f.: il. color; 31 cm.

Orientador: Dimas José Lasmar
Coorientadora: Ires Paula de Andrade Miranda
Tese (Doutorado em Biodiversidade e Biotecnologia da Rede Bionorte) - Universidade Federal do Amazonas.

1. Carvão Ativado. 2. Ouriço de Castanha-do-brasil. 3. Tratamento de Água. 4. Sustentabilidade Ambiental. 5. Viabilidade Econômica. I. Lasmar, Dimas José. II. Universidade do Estado do Amazonas III. Título

ADENES TEIXEIRA ALVES

USO DE RESÍDUOS DA CASTANHA DO BRASIL (*Bertholletia excelsa* Bonpl.) NA SOLUÇÃO DE PROBLEMAS SOCIOECONÔMICOS E DE SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL

Tese de doutorado apresentada ao Curso de Doutorado do Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade e Biotecnologia – Rede BIONORTE, da Universidade do Estado do Amazonas, como requisito parcial para a obtenção do título de Doutor em Biodiversidade e Biotecnologia.

Aprovada em 14/10/2022

Banca examinadora

Documento assinado digitalmente
gov.br
DIMAS JOSE LASMAR
Data: 22/12/2022 17:31:33-0300
Verifique em https://verificador.iti.br

Prof. Dr. Dimas José Lasmar
UFAM

Documento assinado digitalmente
gov.br
ANTONIA QUEIROZ LIMA DE SOUZA
Data: 19/12/2022 16:19:10-0300
Verifique em https://verificador.iti.br

Profa. Dra. Antônia Queiroz Lima de Souza
UFAM

Documento assinado digitalmente
gov.br
CINTIA MARA COSTA DE OLIVEIRA
Data: 13/12/2022 19:00:28-0300
Verifique em https://verificador.iti.br

Profa. Dra. Cintia Mara Costa de Oliveira
UFAM

Documento assinado digitalmente
gov.br
ROSANA ZAU MAFRA
Data: 30/11/2022 15:41:38-0300
Verifique em https://verificador.iti.br

Profa. Dra. Rosana Zau Mafra
UFAM

Documento assinado digitalmente
gov.br
EDELCILIO MARQUES BARBOSA
Data: 09/12/2022 11:08:23-0300
Verifique em https://verificador.iti.br

Prof. Dr. Edelcilio Marques Barbosa
INPA

DEDICATÓRIA

A Deus e "*in memoriam"* dos meus pais Raimunda Alves e Jocimar Alves, e de minhas irmãs Adanir e Adriane, que sempre me apoiaram e incentivaram meus caminhos e escolhas.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente ao meu Deus querido, pelo dom da vida, pelas bençõe, saúde, proteção e força nas horas mais difíceis.

À minha família e irmãos, por acreditarem em mim, pelo apoio e incentivo.

À Universidade Federal do Amazonas (UFAM) e Universidade do Estado do Amazonas (UEA), pela oportunidade e apoio na pesquisa.

Ao Programa Bionorte pela contribuição no meu processo de aprendizado.

Aos meus orientadores, Prof. Dr. Dimas José Lasmar e Profa. Dra. Ires Paula de Andrade Miranda pela confiança, aprendizagem, incentivo, oportunidade e por terem acreditado na minha capacidade.

Aos laboratórios, Laboratório de Pesquisas e Ensaios de Combustíveis (LAPEC - UFAM), Laboratório de Palmeiras da Amazônia (LABPALM - INPA), Laboratório de Síntese e Caracterização de Nanomateriais (LSCN - IFAM) e Centro Multiusuário para Análises de Fenômenos Biomédicos (CMABio – UEA) pela oportunidade e apoio nas análises.

À Fazenda Aruanã pela colaboração técnica, auxílio na obtenção das amostras e pelo acolhimento nas dependências da Fazenda.

Aos alunos, Jardson Reis, Bruna Menezes, Douglas Rabelo, Felipe Machado e Vinicius Costa pela colaboração e suporte nas pesquisas e análises.

A todos que de alguma forma contribuíram para a conclusão deste trabalho.

EPÍGRAFE

“O saber a gente aprende com os mestres e os livros. A sabedoria se aprende é com a vida e com os humildes”.

Cora Coralina

RESUMO

Procurou-se com a pesquisa investigar o uso dos resíduos da castanha-do-brasil como matéria-prima com fins de produção do carvão ativado para o tratamento e obtenção de água filtrada para consumo humano, considerando seus benefícios socioeconômicos e ambientais para estados da Amazônia, com prática ecologicamente correta. A utilização de carvão ativado, produzido a partir de subprodutos da agricultura ou rejeitos da agroindústria, no tratamento de água para consumo humano ou residuais, representa uma alternativa econômica viável em relação aos altos custos de outros tratamentos, além de contribuir com a preservação ambiental, uma vez que seu descarte como resíduo na natureza e sem o devido tratamento pode provocar algum tipo de degradação. A transformação de resíduos é a base do conceito de sustentabilidade do mundo moderno. Foram realizados ensaios em laboratório para transformar o resíduo do ouriço em matéria-prima para a produção do carvão ativado e o estudo de viabilidade econômica para a implantação de uma Unidade Fabril para produzir carvão ativado na Fazenda Aruanã, estudo de caso desta pesquisa. Os resultados demonstraram que esses resíduos possuem alto potencial de combustão, ou seja, são potencialmente adsorventes. Também apontaram que apresentam maior vantagem de queima e produção do carvão com relação ao resíduo da casca da castanha-do-brasil, comprovando que suas propriedades físico-químicas representam boa alternativa de matéria-prima para a produção de carvão ativado, mas que ainda não é apropriado para o consumo humano, necessitando de outros testes para atender a tal critério. Com relação à viabilidade econômica para implantação de uma Unidade Fabril e produção do carvão ativado na Fazenda Aruanã com os resíduos do ouriço empregados como matéria-prima foram analisados três cenários: i. primeiro, seria inviável se for utilizada apenas a quantidade de ouriços produzidos pelas 200.000 árvores de castanheira atualmente produtivas; ii. segundo se forem utilizados todos os ouriços aproveitáveis de todas as castanheiras atualmente plantadas na Fazenda e se todas elas se tornarem produtivas, o projeto seria plenamente viável, necessitando de apenas 144 dias para produzir 143.260 kg de carvão; iii. terceiro, a produção do carvão ativado ocorrendo nos 264 dias possíveis do ano, o projeto apresenta indicadores financeiros mais viáveis ainda, porém, na Fazenda não teria capacidade de fornecer todos os ouriços necessários.

Palavras-chave: Carvão Ativado; Ouriço de Castanha-do-brasil; Tratamento de Água; Sustentabilidade Ambiental; Viabilidade Econômica.

ABSTRACT

The research sought to investigate the use of Brazil nut residues as raw material for the production of activated carbon for the treatment and obtaining of filtered water for human consumption, considering its socioeconomic and environmental benefits for states in the Amazon. , with ecologically correct practice. The use of activated carbon, produced from agricultural by-products or agro-industry waste, in the treatment of water for human consumption or waste, represents a viable economic alternative in relation to the high costs of other treatments, in addition to contributing to environmental preservation, since its disposal as waste in nature and without proper treatment can cause some kind of degradation. The transformation of waste is the basis of the concept of sustainability in the modern world. Laboratory tests were carried out to transform the sea urchin residue into raw material for the production of activated charcoal and the economic feasibility study for the implementation of a Factory Unit to produce activated charcoal at Aruanã Farm, case study of this research. The results showed that these residues have a high combustion potential, that is, they are potentially adsorbent. They also pointed out that they have a greater advantage in the burning and production of charcoal in relation to the residue of the Brazil nut shell, proving that its physicochemical properties represent a good alternative raw material for the production of activated charcoal, but that it has not yet been it is suitable for human consumption, requiring other tests to meet this criterion. With regard to the economic viability of setting up a manufacturing unit and producing activated charcoal at Aruanã Farm with sea urchin waste used as raw material, three scenarios were analyzed: i. first, it would be unfeasible if only the amount of hedgehogs produced by the 200,000 currently productive chestnut trees were used; ii. second, if all the usable hedgehogs from all the chestnut trees currently planted on the Farm are used and if all of them become productive, the project would be fully viable, requiring only 144 days to produce 143,260 kg of charcoal; iii. third, the production of activated carbon taking place in the 264 possible days of the year, the project presents even more viable financial indicators, however, the Farm would not be able to supply all the necessary hedgehogs.

Keywords: Activated Carbon; Brazil nut hedgehog; Water treatment; Environmental Sustainability; Economic viability.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Aproveitamento de resíduos da indústria de papel e celulose para uso como fertilizantes. Fonte: LIPPEL. 29

Figura 2. Castanha do Brasil - amêndoas. Fonte: Instituto Soka Amazônia 30

Figura 3. Castanha do Brasil - amêndoas. Fonte: Instituto Soka Amazônia. 31

Figura 4. Castanheira do Brasil - Fonte: Instituto Soka Amazônia. 32

Figura 5. Carvão Ativado Granulado Fonte: Natural Meio Ambiente. 37

Figura 6. Carvão Ativado Pó. Fonte: Natural Meio Ambiente 37

Figura 7. Carvão Ativado Peletizado. Fonte: Natural Meio Ambiente 37

Capítulo 1

Figure 1. Demonstrative scheme of chemical and physical activation 54

Figure 2. Stages of water treatment using activated carbon. 59

Capítulo 2

Figure 1. Image of location of Fazenda Aruanã situated on the east side of Highway AM-10 (Manaus-Itacoatiara, km 215). 67

Figure 2. Chestnut hedgehogs from Brazil 68

Figure 3. Brick kiln ovens at the ceramic industry center of Iranduba ((a) and (b)) and na example of the organization of the testing surfaces (fruits (c) and (d)) 69

Figure 4. Köppen climate typology of the Legal Amazon 70

Figure 5. Example of an image indicating the targeted collection points on the fruits using Flir Tools 71

Figure 6. Thermographic diagnosis of heat conduction in fruits of the Brazil nut tree *(Bertholletia excelsa* Bonpl.) 72

Figure 7. Second order polynomial model to estimate the average time of heat conduction in fruits of the Brazil nut tree (*Bertholletia excelsa* Bonpl.) as a strategy for use in kiln ovens in the ceramic industry center of Iranduba, Amazonas 73

Capítulo 3

Figura 1. Coleta de ouriços da castanheira-do-brasil na Fazenda Aruanã 83

Figura 2. Filtração a vácuo das amostras de carvão com cloreto de zinco 85

Figura 3. MEV da amostra do ouriço da castanha (OC1) - Visualização dos mesoporos.....86

Figura 4. MEV da amostra da casca da castanha (CC1) - Visualização dos mesoporos.....87

Figura 5. Difratogramas das amostras de CC1 e OC1.....88

Figura 6. TG – DTG / (OC1) 90

Figura 7. TG – DTG / (CC1) 90

LISTA DE TABELAS

Capítulo 3

Tabela 1 - Dados de ensaios físico-químicos e microbiológicos das amostras.....92

Capítulo 4

Tabela 1. Castanheiras, batelada, produção de ouriço e carvão ativado.....107

Tabela 2. Dados financeiros da venda do carvão ativado produzido com ouriços das castanheiras das árvores produtivas da Fazenda Aruanã.....109

Tabela 3. Dados financeiros da venda de carvão ativado produzidos com os ouriços do total das árvores plantadas na Fazenda Aruanã.....110

Tabela 4. Dados financeiros da venda de carvão ativado a partir da capacidade de produção do forno de processamento do ouriço de castanha.....111

Tabela 5. Simulação dos Cenários: Índices Financeiros.....111

LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Análise de sensibilidade do Cenário 2.....115

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Thermographic diagnosis of heat conduction in fruits of the Brazil nut tree (Bertholletia excelsa Bonpl.) 72

Gráfico 2. Difratograma das amostras OC1 e CC1.....89

Gráfico 3. TG – DTG/(OC1) 91

Gráfico 4. TG – DTG / (CC1) 91

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

EMBRAPA	– EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA
IBGE	– INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA
IFAM	– INSTITUTO FEDERAL DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INMET	– INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA
INPA	– INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS DA AMAZÔNIA
LAPEC	– LABORATÓRIO DE PESQUISAS E ENSAIOS DE COMBUSTÍVEIS
LABPALM	– LABORATÓRIO DE PALMEIRAS DA AMAZÔNIA
LSCN	– LABORATÓRIO DE SÍNTESE E CARACTERIZAÇÃO DE NANOMATERIAIS
MEV	– MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA
RGCA	– RENDIMENTO GRAVIMÉTRICO EM CARVÃO ATIVADO
SNIS	– SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO
OCB	– OURIÇO DA CASTANHEIRA-DO-BRASIL
CCB	– CASCA DA CASTANHEIRA-DO-BRASIL
OMS	– ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE
ONU	– ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO **18**

1. REFERENCIAL TEÓRICO E REVISÃO DA LITERATURA **24**

1.1 FAZENDA ARUANÃ 24
1.2 RESÍDUOS NATURAIS E IMPACTOS AMBIENTAIS 25
1.3 APROVEITAMENTO DA BIOMASSA RESIDUAL 28
1.4 A CASTANHEIRA-DO-BRASIL (*BERTHOLLETIA EXCELSA* BONPL.) 30
1.5 TECNOLOGIAS DE APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS 34
1.6 CARVÃO ATIVADO 35
1.7 TECNOLOGIAS PARA O DESENVOLVIMENTO DO CARVÃO ATIVADO 38
1.8 PRODUÇÃO DE CARVÃO ATIVADO A PARTIR DE RESÍDUOS DE BIOMASSA 41
1.9 CARVÃO ATIVADO NO TRATAMENTO DE ÁGUA 43
1.10 ACESSO A ÁGUA POTÁVEL 44
1.11 CUSTO DE INFRAESTRUTURA DE TRATAMENTO DE ÁGUA 46

2. RESULTADOS DA PESQUISA **50**

2.1 CAPÍTULO 1 ..... **51**

1. INTRODUCTION 51
2. EXISTING TECHNIQUES FOR THE PRODUCTION OF ACTIVATEDCARBON 52
3. USE OF ACTIVATED CARBON AND ITS BENEFITS 53
4. PRODUCTION OF ACTIVATED COAL FROM VEGETABLE WASTE 55
5. ACTIVATED CARBON IN WATER TREATMENT 58
6. CONCLUSION 60
ACKNOWLEDGEMENTS 60
CONFLICTS OF INTEREST 60
REFERENCES 61

2.2 CAPÍTULO 2 ..... **64**

1. INTRODUCTION 64
2. MATERIAL AND METHODS 66
3. RESULTS AND DISCUSSION 70
4. CONCLUSION 74
ACKNOWLEDGEMENTS 74
CONFLICTS OF INTEREST 74
REFERENCES 74

2.3 CAPÍTULO 3 77

1. INTRODUÇÃO 79
2. METODOLOGIA 82
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO 85
3.1 MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA (MEV) 85
3.2 DIFRAÇÃO DE RAIO-X 88
3.3 ANÁLISE TERMOGRAVIMÉTRICA 88
3.4 PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS DO CARVÃO ATIVADO EM ÁGUA 91
4. CONSIDERAÇÕES FINAIS 94
AGRADECIMENTOS 94

2.4 CAPÍTULO 4 99

1. INTRODUÇÃO 101
2. REVISÃO DA LITERATURA 102
2.1 RESÍDUOS DA CASTANHA-DO-BRASIL (*BERTHOLLETIA EXCELSA*) NA PRODUÇÃO DE CARVÃO ATIVADO 102
2.2 PROBLEMAS AMBIENTAIS DECORRENTES DE RESÍDUOS SÓLIDOS 103
3. METODOLOGIA 104
3.1 PRODUÇÃO DO CARVÃO ATIVADO COM RESÍDUOS DO OURIÇO DE CASTANHA-DO-BRASIL 104
3.2 ESTUDO DE VIABILIDADE ECONÔMICA: ÍNDICES FINANCEIROS 104
3.3 CENÁRIOS E ESTUDO DE VIABILIDADE ECONÔMICA DA UNIDADE FABRIL DE CARVÃO ATIVADO 106
3.4 ANÁLISE DE SENSIBILIDADE 108
4. RESULTADOS DA SIMULAÇÃO DOS CENÁRIOS E DISCUSSÃO 109
4.1 CENÁRIO 1 - PRODUÇÃO DO CARVÃO ATIVADO COM OURIÇOS DAS ÁRVORES PRODUTIVAS DA FAZENDA ARUANÃ 109
4.3 CENÁRIO 3 – PRODUÇÃO DO CARVÃO ATIVADO LIMITADO PELA CAPACIDADE DA UNIDADE FABRIL 110
4.4 SIMULAÇÃO DA ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA: ÍNDICES FINANCEIROS 111
4.5 ANÁLISE DE SENSIBILIDADE DO CENÁRIO 2 114
5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES 115
6. REFERÊNCIAS 116

CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS 120

REFERÊNCIAS 122

APÊNDICES 134

APÊNDICE I – DADOS FINANCEIROS CONSOLIDADOS QUE SERVIRAM DE BASE PARA AS ANÁLISES DE VIABILIDADE ECONÔMICA DA IMPLATAÇÃO DE UNIDADE FABRIL PARA A PRODUÇÃO DE CARVÃO ATIVADO NA FAZENDA ARUANÃ 134

APÊNDICE II. CENÁRIOS 136

APÊNDICE III. INDICADORES ECONÔMICOS PARA CADA CENÁRIO 139

APÊNDICE IV. ANÁLISE DE SENSIBILIDADE REFERENTE AOS CENÁRIOS 2 E 3 140

APÊNDICE V - COMPROVANTES DE SUBMISSÃO, ACEITAÇÃO E/OU PUBLICAÇÃO DOS ARTIGOS 142

I. THE POTENTIAL OF ACTIVATED CARBON IN THE TREATMENT OF WATER FOR HUMAN CONSUMPTION, A STUDY OF THE STATE OF THE ART AND ITS TECHNIQUES USED FOR ITS DEVELOPMENT 142

II. THERMAL DIAGNOSIS OF HEAT CONDUCTION AND COMBUSTION TIME OF FRUITS OF THE BRAZIL NUT TREE (*BERTHOLLETIA EXCELSA* BONPL.) 143

III. PRODUÇÃO DE CARVÃO ATIVADO ATRAVÉS DE RESÍDUOS DA CASTANHEIRA-DO-BRASIL (*BERTHOLLETIA EXCELSA* BONPL.) VOLTADOS NA SOLUÇÃO PARA TRATAMENTO DE ÁGUAS 144

IV. ESTUDO DE VIABILIDADE ECONÔMICA DA PRODUÇÃO DE CARVÃO ATIVADO COM RESÍDUOS DE OURIÇO DA CASTANHA-DO-BRASIL (*Bertholletia excelsa*) 145

INTRODUÇÃO

A castanha-do-brasil é um dos produtos importantes da economia extrativista no estado do Amazonas e, além disso, contribui como alternativa de renda para o interior do estado. Neste sentido a extração de castanha (*Bertholletia excelsa* Bonpl.) é uma atividade importante para muitas comunidades locais da Amazônia brasileira, boliviana e peruana. Essas atividades se mantêm mais ou menos fiéis ao seu modelo original de extração, iniciado com a descrição botânica da castanha no ano de 1807 (ZUIDEMA, 2002).

Além disso está intimamente ligada à cultura das populações tradicionais da Amazônia, cujos produtos e subprodutos são utilizados como fonte de alimentação sendo um dos principais produtos geradores de renda para as famílias que vivem do extrativismo florestal na Amazônia (SOUZA, 2006).

Por ser a castanha-do-brasil um produto alimentar de elevada extração na Amazônia, tanto para consumo local quanto para comercialização, resulta que é também uma fonte de grande geração de volume de resíduos do ouriço que é uma cápsula resistente e que abriga em seu interior entre 10 a 25 sementes (castanha). O ouriço não tem um destino definido após a extração da castanha e seu acúmulo na forma de resíduo geralmente ocorre em lugares úmidos, podendo ocasionar risco à saúde das pessoas que trabalham diretamente com a atividade de sua extração.

A Amazônia é caracterizada por uma grande diversidade de espécies que produzem resíduos ainda não estudados quanto ao seu aproveitamento industrial. Produtos como casca de cupuaçu, açaí e ouriço da castanha-do-brasil podem originar carvão ativado com alta qualidade, bom rendimento e baixo custo, substituindo os adsorventes químicos atualmente utilizados pelas indústrias (CRUZ JUNIOR, 2010).

Santos (2014) demonstrou que a casca de cupuaçu se apresenta como matéria prima de grande potencial para produção de carvão ativado. Também Pereira (2014) apontou que o tratamento de água de rio, tendo em vista a remoção dos metais, utilizando o carvão de açaí com a finalidade de conservação de recursos hídricos e do meio ambiente é viável, além de não acarretar danos ao meio ambiente, sendo um método eficiente e ecologicamente correto.

Outros estudos mostram que o ouriço da castanha pode ser utilizado como carvão ativo para o tratamento e consumo da água. A utilização de carvão ativado, produzido a partir de subprodutos da agricultura ou rejeitos da agroindústria, no tratamento de água para consumo humano ou residuárias, representa uma alternativa econômica viável em relação aos altos custos de outros tratamentos, pois utiliza matéria-prima abundante e de baixo custo, além de melhorar

o meio ambiente por livrá-lo de um resíduo que represente alto período de degradação (IOANNIDOU e ZABANIOTOU, 2008).

Dessa forma, o carvão ativado é um material de alta capacidade de adsorção, sendo bastante efetivo e geralmente utilizado no tratamento de água potável, no entanto, a fabricação de adsorventes desse tipo implica um alto custo dependendo da origem da matéria-prima (BACCAR, BOUZID, *et al.*, 2009). Além disso, há também perdas durante o processo de recuperação dos adsorventes, tornando-os muitas das vezes de elevado custo. Por meio dessa perspectiva, existe um grande interesse científico na busca de materiais de baixo custo que possam ser utilizados na produção do carvão ativado, que é o caso dos resíduos biológicos como o ouriço de castanha transformados em biomassas (GONÇALVES, 2008).

O carvão ativado através de materiais biológicos, se destaca por ser um material de baixo custo e em abundância na nossa região e que pode servir para o tratamento e no controle na emissão de poluentes, processo de purificação, armazenamento de gases, catalisadores, suportes catalíticos, na desodorização, separação, desintoxicação etc. (PEREIRA, OLIVEIRA, *et al.*, 2008). Mesmo sendo de baixo custo, ainda assim é um material de uso muito limitado, pois possui uma desvantagem que é na preparação do carvão, geralmente o processo de produção em materiais lignocelulósicos necessitam de altas temperaturas, indo a mais de 700ºC.

Muitos pesquisadores têm realizado estudos em busca de alternativas que visem o uso da tecnologia do carvão ativado para o tratamento da água, que é um dos objetivos desta pesquisa. Além do mais, a técnica de adsorção por carvão ativado é empregada para remover esses poluentes que são lançados nos corpos d'água, e dessa forma, cada vez mais os pesquisadores têm-se concentrado no desenvolvimento de materiais obtidos a partir de precursores de baixo custo e renováveis em substituição aos materiais minerais (WONG *et al.* 2018).

Devido a sua alta eficiência, a adsorção com carvão ativado é reconhecida como a melhor tecnologia de controle para o tratamento da água, de modo que a purificação de águas é a principal aplicação deste adsorvente (CHENG *et al*., 2005).

Desse modo, o carvão ativado elimina substâncias de concentração e composição de tamanhos variáveis (REINOSO, 2004). Este material possui aplicações múltiplas e tem sido empregado na indústria de alimentos, bebidas, farmacêutica, química etc. No tratamento de água para consumo humano, o carvão ativado tem a capacidade de eliminar o sabor e o odor da água, eliminar contaminantes como metais pesados, gases tóxicos, pesticidas, reduzir a matéria

orgânica natural, limitando assim ao máximo a formação de subprodutos de desinfecção e/ou oxidação, como trihalometanos (PHAN *et al*., 2006).

A água potável é essencial para a manutenção da vida humana, além disso, também é utilizada em quase todas as atividades executadas pelo homem, por isso é um dos temas mais discutidos e estudados por pesquisadores de todo o mundo. Este recurso muitas vezes não é cuidado e tratado de forma adequada o que traz resultados negativos para o meio ambiente e consequentemente para sobrevivência e continuidade da raça humana.

Igualmente, o direito à água é uma espécie de direito fundamental, podendo-se inserir em todas as dimensões dos referidos direitos. Ou seja: o acesso à água é um direito, à medida que é essencial para a vida do indivíduo; é também um direito social, pois é necessário para a saúde e lazer das pessoas e, por fim, é um direito difuso, o qual beneficia todos os seres vivos e o próprio meio ambiente (SOARES *et al*, 2021).

O direito humano à água e saneamento foi reconhecido pela ONU em dezembro de 2015, uma vez que eles são indispensáveis para prover meios de subsistência saudáveis e fundamentais para manter a dignidade de todos os seres humanos. Também, a água potável limpa, segura e adequada é vital para a sobrevivência de todos os organismos vivos e para o funcionamento dos ecossistemas, comunidades e economias. Mas a qualidade da água em todo o mundo é cada vez mais ameaçada à medida que as populações humanas crescem, atividades agrícolas e industriais se expandem e as mudanças climáticas ameaçam alterar o ciclo hidrológico global (ONU, 2019).

A terra possui mais de 70% da sua superfície coberta por água, sendo que 97,5% se encontram nos oceanos e mares, todavia esse imenso volume é, portanto, de água salgada, imprópria para o consumo humano. Os outros 2,5% restantes são de água doce, dos quais 70% formam as geleiras, restando apenas 0,4% da água doce que está disponível na atmosfera e na superfície terrestre (rios, lagos, represas etc.) para consumo pelos seres vivos (MANAHAN, 2000; ALMEIDA E RIGOLIN, 2003).

De acordo com os dados do SNIS (Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento), cerca 83,62% dos brasileiros são atendidos com abastecimento de água tratada, sendo o consumo médio de água no país é de 154,9 litros por habitante ao dia. Segundo a ONU (Organização das Nações Unidas) a quantidades de água suficiente para atender as necessidades básicas de uma pessoa é 110 litros/dia. Na região Norte 57,05% da população é abastecida com água tratada, no Estado do Amazonas cerca de 81,1% dos habitantes possuem acesso a água potável (SNIS, 2019).

Ainda de acordo com a ONU (2010), a disponibilidade de saneamento deve ser de uso contínuo tanto para uso pessoal, tanto para uso doméstico, o que inclui todos os afazeres do nosso dia a dia, sendo que são necessários entre 50 e 110 litros por dia para sanar todas as necessidades de cada pessoa segundo a OMS. A água essencial para o uso doméstico deve ser segura, sem microrganismos, substâncias químicas que compactuam para a ameaça à saúde. Os parâmetros de segurança da água potável são definidos por normas nacionais e/ou locais. Diretrizes da OMS para a qualidade da água potável constituem uma base para o desenvolvimento de normas nacionais que, se forem devidamente implementadas, proporcionarão a segurança da água potável.

Os fatores que contribuem para essa gama de dificuldades é a maneira pela qual a água é passada, para ser ideal ao consumo humano, pois sem o tratamento específico ela pode causar doenças graves, tendo como compromisso os órgãos competentes do governo como o Ministério da Saúde, para verificar o tratamento adequado para o consumo. Isso explica o fato de a água apresentar impurezas geralmente no seu estado gasoso e líquido, podendo até ser encontradas partículas sólidas vistas a olho nu (RECESA, 2008).

No entanto, a disponibilidade varia muito de uma região para outra. Além disso, nossas reservas de água potável estão diminuindo. Entre as principais causas de sua diminuição estão o crescente aumento do consumo, o desperdício e a poluição das águas superficiais e subterrâneas por esgotos domésticos e resíduos tóxicos provenientes da indústria e da agricultura. Dessa forma, a contaminação das nascentes por efluentes domésticos e industriais em países subdesenvolvidos é uma ameaça grave para o ambiente (NAMASIVAYAM & SANGEETHA, 2006).

Considerando que muitas atividades econômicas originam um grande volume de resíduos de diferentes origens (TAN *et* al, 2008), que independentemente da intensidade e propriedade físico-química, ocasionam grande alteração no meio e necessitam de destinação e tratamento.

Portanto, reduzir, reutilizar e reciclar são condições essenciais para a garantia de processos mais econômicos e ambientalmente sustentáveis, em áreas urbanas e rurais. Os resíduos e dejetos passam da condição de elementos descartados do processo para matéria-prima de coprodutos. Assim, a transformação de resíduos e dejetos em coprodutos é a base do conceito de sustentabilidade do mundo moderno – produzir mais com menos e com menor impacto ambiental, o que significa produzir de forma mais eficiente, com a utilização racional das matérias-primas, água e energia (SEBRAE, 2018).

Neste contexto pretende-se com o estudo responder ao seguinte problema de pesquisa: Como utilizar o ouriço da castanheira-do-brasil, que é descartado na natureza como resíduo, na fabricação de carvão ativado para a purificação de água?

Hipótese (H0): A hipótese está definida de que a produção de carvão ativado a partir do uso de ouriço de castanha pode apresentar maior eficácia do que o carvão ativado produzido com outros tipos de resíduos ou de outro material.

A relevância da pesquisa pode ser atestada por diversas argumentações. A castanha-do-brasil (*Bertholletia excelsa* Bonpl.), é uma planta nativa da Amazônia, sendo uma das mais importantes espécies de exploração extrativista. Suas amêndoas apresentam alto valor econômico, tornando-se uma das principais atividades econômicas na região amazônica. A exploração da castanha-do-brasil tornou-se a principal atividade econômica na região amazônica, desde o declínio da exploração de borracha. Esta atividade vem sustentando milhares de extrativistas e toda uma oligarquia decorrente dessa riqueza (HOMMA, 2004).

Atualmente, muitos municípios do Amazonas que produzem a castanha-do-brasil estão em locais isolados na floresta e o extrativista armazena esse fruto em grandes galpões para que a castanha fique até o momento de serem consumidas ou comercializadas. A grande maioria dos ouriços é desperdiçada após a extração da semente, acumulada sem um uso ou destino pré-definido, podendo causar riscos à saúde das pessoas que trabalham diretamente na sua extração.

Isto pode ser incluído no plano de ação global da ONU que são os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável – ODS, que visa eliminar a extrema pobreza e a fome, oferecendo educação de qualidade a todos, além de proteger o planeta ambientalmente e promover sociedades pacíficas e inclusivas até 2030 (UNICEF, [s.d]).

A Amazônia é caracterizada por uma grande diversidade de espécies que produzem resíduos ainda não estudados quanto ao seu aproveitamento industrial. Produtos como casca de cupuaçu, açaí e ouriço da castanha-do-brasil podem originar carvão ativado com alta qualidade, bom rendimento e baixo custo, substituindo os adsorventes químicos atualmente utilizados pelas indústrias (CRUZ JUNIOR, 2010).

Muitos pesquisadores têm realizado estudos em busca de alternativas que visem o uso da tecnologia do carvão ativado para o tratamento da água e este também é um dos objetivos desta pesquisa. No entanto devido a sua alta eficiência, a adsorção com carvão ativado é reconhecida como a melhor tecnologia de controle para o tratamento da água, de modo que a purificação de águas é a principal aplicação deste adsorvente (HAMDAOUI e NAFFRECHOW, 2007; CHENG *et al.*, 2005).

O carvão ativado elimina substâncias de concentração, composição e tamanhos variáveis (REINOSO, 2004). Este material possui aplicações múltiplas e tem sido empregado na indústria de alimentos, bebidas, farmacêutica, química etc. No tratamento de água para consumo humano, o carvão ativado tem a capacidade de eliminar o sabor e o odor da água, eliminar contaminantes como metais pesados, gases tóxicos, pesticidas, reduzir a matéria orgânica natural, limitando assim ao máximo a formação de subprodutos de desinfecção e/ ou oxidação, como trihalometanos (PHAN *et al*., 2006; AKSU *et al*., 2008).

O aproveitamento do resíduo do ouriço da castanha como por exemplo como matéria-prima para a produção de bens proporcionar diversos benefícios tais como a geração de novos empregos, renda, produção de biomassa e permitir um destino ambientalmente adequado. Definiu-se, então, como objetivo geral: Avaliar o uso de resíduos do ouriço da castanha do Brasil no desenvolvimento de carvão ativado. Buscando atender a esse objetivo geral, foram elaborados os seguintes objetivos específicos:

I. Identificar as técnicas utilizadas para o desenvolvimento de carvão ativado;
II. Estudar o processo de carbonização e realizar ativação física e química das amostras carbonizadas;
III. Caracterizar as amostras de carvão ativado através das análises termogravimétricas (TG-DTG), Microscopia Eletrônica de Varredura – MEV, Análise de área superficial, rendimento químico do carvão;
IV. Realizar ensaios com o carvão ativado no tratamento de água;
V. Estudar a viabilidade econômica da produção em escala do carvão ativado de outras biomassas.

A pesquisa está dividida, além da Introdução e Objetivos, em Referencial Teórico e 4 capítulos no formato de artigos: **Capítulo 1 -** A potencialidade do carvão ativado no tratamento de água para consumo humano; **Capítulo 2 -** Diagnóstico termográfico na condução de calor e tempo de combustão de ouriços de castanha-do-brasil (*Bertholletia excelsa* Bonpl.); **Capítulo 3** – Produção de carvão ativado através de resíduos da castanheira-do-brasil voltados na solução para tratamento de água; **Capítulo 4** – Estudo de viabilidade econômica da produção do carvão ativado a partir dos resíduos de castanha-do-brasil (*Bertholletia excelsa* Bonpl.) para solução de problemas socioambientais; Conclusão e Considerações finais; Referências e Anexo.

1. REFERENCIAL TEÓRICO E REVISÃO DA LITERATURA

Neste capítulo será apresentado um tópico sobre a fazenda Aruanã, que serviram de estudo de caso, e os demais tópicos abordarão os principais conceitos e estudos sobre os temas relevantes relacionados à pesquisa.

1.1 FAZENDA ARUANÃ

A Agropecuária Aruanã é uma empresa agrícola fundada em 1970, especializada em culturas tropicais na Amazônia. Sua sede é na Fazenda Aruanã, com área de 12.000 hectares, localizada na rodovia AM-010 – Manaus – Itacoatiara, km 215, município de Itacoatiara, estado do Amazonas, BRASIL. Sua maior especialidade é o cultivo da Castanheira do Pará (*Brazil Nuts*) e da Pupunheira (*Peach palm ou Pejibaie*) para palmito (AGROPECUÁRIA ARUANA, 2022).

Constituída em 1970 a empresa iniciou suas atividades em Itacoatiara no mesmo ano implantando a Fazenda Aruanã. Com 1.257.000 (um milhão duzentas e cinquenta e sete mil) árvores é a maior plantação de castanha do Brasil (*Bertholletia excelsa* Bonpl) existente, pioneira no Brasil e no mundo. Em 26 anos de trabalho técnico e científico a Aruanã viabilizou essa cultura garantindo a sobrevivência da espécie ante a destruição dos castanhais nativos. Sua atividade é ininterrupta até hoje, tendo implantado em 37 anos a maior Fazenda Ecológica da Amazônia, com mão de obra local, onde hoje trabalham pais, filhos e netos, estes últimos nascidos na própria Fazenda[1].

A Agropecuária Aruanã é a maior reflorestadora registrada no IBAMA do Amazonas. Atuante desde 1980, realiza a reposição florestal obrigatória por lei para as maiores empresas madeireiras do Amazonas através de plantios aprovados e fiscalizados pelo IBAMA. Mais de duzentas mil mudas produzidas pela Aruanã foram utilizadas em programas oficiais de recuperação de áreas degradadas em diversas comunidades e pequenas propriedades, nos estados do Amazonas e Rondônia. A Aruanã fornece hoje toda a tecnologia, assistência técnica e mudas às atividades do Instituto Excelsa (associação sem fins lucrativos registrada como OSCIP no Ministério da Justiça) na reconstrução da floresta amazônica através das comunidades rurais da região de Itacoatiara, no Amazonas. Em 2006 foram plantadas 13.500 árvores de castanha para 45 famílias em 5 comunidades. Em 2007 as mudas entregues para plantio já superam 96.184 em 21 comunidades. Esse trabalho atende as comunidades

[1] *Loc. cit.*

gratuitamente, fornecendo além das mudas, o treinamento necessário para o plantio e desenvolvimento das castanheiras[2].

A Aruanã forneceu a tecnologia e as mudas para o Projeto Ecológico Índio-Brasileiro, realizado em convênio com a Fundação Nacional do Índio, o Rotary Clube São Paulo-Oeste e a Fundação Rotary Internacional, resultando no plantio de 60.000 árvores pelos índios da reserva Pacaás Novos, em Guajará-Mirim. A Fundação Rotary Internacional ao comemorar seus 75 anos de existência considerou este projeto brasileiro como um dos mais relevantes em todo o mundo[3].

Aruanã é sede de inúmeros experimentos desenvolvidos pela EMBRAPA, INPA, bem como de diversas teses de doutoramento recebendo visitas de pesquisadores locais, de outros estados da federação e do exterior[4].

1.2 RESÍDUOS NATURAIS E IMPACTOS AMBIENTAIS

Desde o seu primeiro momento no planeta, o homem começou a gerar resíduos com suas atividades. Quando o *Homo sapiens*, precursor do homem moderno, construiu o seu primeiro utensílio, gerou, com essa atividade, os resíduos de sua criação. Os resíduos, então, passaram a fazer parte da existência do homem, que começou a utilizar, transformar e modificar os recursos naturais disponíveis em cada momento da evolução.

À vista disso, o termo resíduo, geralmente, é associado a lixo, porém, sabe-se hoje que os resíduos sólidos são considerados como aqueles que possuem valor econômico agregado, por possibilitarem seu reaproveitamento, sendo os resíduos da biomassa transformados em matéria prima para diversos outros processos.

Segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas ABNT (2004), os resíduos são o resultado de processos de diversas atividades da comunidade de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e ainda da varrição pública. Os resíduos apresentam-se nos estados sólidos, gasoso e líquido. São classificados, quanto às características físicas que são seco e molhado; também quanto à composição química que é orgânico e inorgânico; e quanto à origem que são domiciliar, comercial, serviços públicos, hospitalar, portos, aeroportos, terminais rodoviários e ferroviários, industrial, radioativo, agrícola e entulho.

---

[2] *Loc. cit.*
[3] *Loc. cit.*
[4] *Loc. cit.*

Logo, todos os resíduos possuem uma origem. Tudo o que nós vestimos, comemos e utilizamos provocam impactos no meio ambiente. Há os produtos que geram mais impacto e os que geram menos impacto, mas dificilmente algum consegue passar ileso em relação a isso. Existem os resíduos naturais, que também podem ser chamados de lixos orgânicos ou resíduos orgânicos, que são provenientes de uma matéria orgânica, seja ela vegetal ou animal. Porém, o destino incorreto desse resíduo pode trazer sérias consequências ruins ao ser humano, como proliferação de insetos, ratos, bactérias e fungos, do modo que várias doenças podem surgir, através da contaminação do solo e da água.

No entanto, são materiais que, em ambientes naturais equilibrados, se degradam espontaneamente e reciclam os nutrientes nos processos da natureza. Mas quando derivados de atividades humanas, especialmente em ambientes urbanos, podem se constituir em um sério problema ambiental, pelo grande volume gerado e pelos locais inadequados em que são armazenados ou dispostos. A disposição inadequada de resíduos orgânicos gera chorume, emissão de metano na atmosfera e favorece a proliferação de vetores de doenças. Assim, faz-se necessária a adoção de métodos adequados de gestão e tratamento destes grandes volumes de resíduos, para que a matéria orgânica presente seja estabilizada e possa cumprir seu papel natural de fertilizar os solos.

Também, é o tipo de resíduo que causa menos danos ao ambiente, uma vez que é fruto de resíduos naturais que são de fácil decomposição. Contudo, para que isso ocorra, é fundamental que sejam descartados da melhor forma possível. Ele se diferencia dos resíduos inorgânicos, como vidro, metal, plástico, e, por isso, possui uma maior flexibilidade de uso em relação ao seu descarte.

Segundo dados de 2017 divulgados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, por meio da Pesquisa Nacional de Saneamento Básico - PNSB, na Região Sudeste, a maioria dos Municípios (95,9%) possuía serviço de esgotamento sanitário, enquanto, nas demais Regiões, esse percentual situou-se abaixo de 50%: na Região Nordeste, 49,0%; na Região Sul, 40,9%; na Região Centro-Oeste, 38,1%; e, na Região Norte, 13,8%, mas 58,9% deles dispõem seus resíduos em vazadouros; 25,1% em aterros controlados; 26,8% em aterros sanitários.

O destino inadequado dado aos resíduos sólidos tem sido visto em todo o mundo, como um dos principais problemas da atualidade. Países economicamente desenvolvidos se deparam com resíduos cada vez mais complexos em sua origem e consequentemente, nos problemas relativos a seu tratamento. O Brasil, assim como em outros países em desenvolvimento, o

processo de globalização tem induzido, até mesmo nos pequenos e particularmente pobres aglomerados do interior, ao consumismo, que geram resíduos e rejeitos, provocando significativos impactos ambientais e riscos à saúde pública (PACHECO & SANTOS, 2022).

A geração de lixo *per capita* modifica de acordo com o porte populacional do município. Conforme dados do Panorama dos Resíduos Sólidos (PRS), lançado pela ABRELPE em 2020, a geração de resíduos no Brasil sofreu influência direta da pandemia da COVID-19 durante o ano de 2020, tendo alcançado um total de aproximadamente 82,5 milhões de toneladas geradas, ou 225.965 toneladas diárias. Com isso, cada brasileiro gerou, em média, 1,07 kg de resíduo por dia. Uma possível razão para esse aumento expressivo foram as novas dinâmicas sociais que, em boa parte, foram quase que totalmente transferidas para as residências, visto que o consumo em restaurantes foi substituído pelo delivery e os demais descartes diários de resíduos passaram a acontecer nas residências (PRS, 2021).

Ainda com base na mesma publicação o Norte, região com menor densidade populacional do Brasil, gerou, em 2020, aproximadamente 4% do total gerado, com cerca de 6 milhões de toneladas/ano e 328 kg/hab./ano. a região com maior geração de resíduos continua sendo a Sudeste, com cerca de 113 mil toneladas diárias (50%) e 460 kg/hab./ano.

A coleta junto aos serviços de limpeza urbana também cresceu, levando a um total de 76,1 milhões de toneladas coletadas no ano de 2020, o que implica em uma cobertura de coleta de 92,2%. Porém, enquanto as regiões Sudeste, Sul e Centro-Oeste já alcançaram índice de cobertura de coleta superior à média nacional, as regiões Norte e Nordeste ainda apresentam pouco mais de 80%, o que significa que em torno de 20% dos resíduos gerados não são alcançados pelos serviços de coleta regular nos municípios localizados nessas regiões (PRS, 2021).

Os resíduos orgânicos, que representam cerca de 50% dos resíduos urbanos gerados no Brasil, tem a particularidade de poderem ser reciclados por meio de processos como a compostagem, em qualquer escala, desde a doméstica até a industrial. Somados aos resíduos orgânicos provenientes de atividades agrossilvopastoris e industriais, os dados do Plano Nacional de Resíduos Sólidos indicam que há uma geração anual de 800 milhões de toneladas de resíduos orgânicos. Existem diversos métodos para o tratamento e a destinação dos resíduos orgânicos, tais como: vermicompostagem (com minhocas), enterramento, biodigestão, incineração e compostagem.

No Brasil, ainda se enterram, queimam ou lançam a céu aberto milhões de toneladas de resíduos orgânicos, em decorrência do desconhecimento de seu potencial de aproveitamento e

dos impactos negativos que provocam quando dispostos inadequadamente. Assim, a valoração dos resíduos orgânicos pode auxiliar na resolução de graves problemas ambientais, como degradação do solo, erosão e mudanças climáticas, além de desviar grande quantidade desses resíduos encaminhada a aterros sanitários e lixões no Brasil (ZAGO, 2019).

Torna-se evidente que o tratamento da fração orgânica é indispensável à eficiência da gestão ambiental das municipalidades brasileiras, tendo em vista os efeitos negativos sobre meio ambiente e saúde humana. Haja vista que os resíduos sólidos orgânicos reúnem condições favoráveis à ação de uma diversidade de organismos, dentre os quais, os patogênicos (ARAÚJO *et al.*, 2019; SILVA *et al.*, 2020).

Enquanto o mundo avança em direção a um modelo mais moderno e sustentável de gestão de resíduos, o Brasil continua apresentando as deficiências verificadas há vários anos, ficando abaixo dos indicadores médios de nações da mesma faixa de renda e desenvolvimento (ABRELPE, 2019). Afinal, o desafio, de qualquer maneira, é consumir de forma sustentável implica poupar os recursos naturais, conter o desperdício, diminuir a geração, reutilizar e reciclar a maior quantidade possível de resíduos. Só assim conseguiremos prolongar o tempo de vida dos recursos naturais do planeta.

1.3 APROVEITAMENTO DA BIOMASSA RESIDUAL

Biomassa são materiais biológicos derivados de plantas ou animais, com exceção de fósseis, cujos principais exemplos são culturas florestais e agrícolas que geram resíduos após sua utilização como alimento ou insumo industrial. Na maioria das vezes a biomassa residual não possui destino apropriado o que estimula pesquisas relacionadas ao seu aproveitamento (KALYANI e ANITHA, 2013). A biomassa residual tem como constituintes predominantes lignina e celulose, e em menor quantidade encontram-se hemicelulose, lipídios, proteínas, açúcares, amido, água, hidrocarbonetos e minerais (SUD, MAHAJAN e KAUR, 2008).

Nas últimas décadas vem se estudando novas aplicações para materiais lignocelulósico que consiste em utilização de biomassa disponível no planeta para a produção de biocombustíveis, carvão ativado, entre outras tecnologias como fertilizante (LIMAYEM e RICKE, 2012). A biomassa tem seu valor economicamente baixo e em suma maioria apresenta-se como um grande problema, no sentido de que o armazenamento e descarte de grandes volumes de sólidos é um processo bastante custoso tanto para a indústria como para os órgãos públicos. Deste modo, esforços para beneficiar ou agregar valor à biomassa residual serão sempre um desafio para a sociedade e em especial para indústrias e governo.

Figura 1. Aproveitamento de resíduos da indústria de papel e celulose para uso como fertilizantes. Fonte: LIPPEL.

Em termos de fontes de biomassa agrícola em todo o mundo, estima-se que 66% da biomassa residual seja proveniente de palha de cereais (caules, folhas e material de bainha), e a maioria (60%) é produzida em países de baixa renda. A segunda maior fonte de biomassa são os caules e folhas da cana-de-açúcar, e outros resíduos importantes vêm de oleaginosas, raízes e tubérculos, nozes, frutas e vegetais (TRIPATHI *et al.*, 2019).

Para determinar se a biomassa residual é adequada a esse processo de conversão algumas de suas características devem ser avaliadas, dentre as quais: composição química, poder calorífico, temperatura de ignição, temperatura de combustão e algumas propriedades físicas como densidade.

A partir da perspectiva sobre biomassa residual e obtenção de energia, e ainda considerando o volume produzido e sua utilização, o estudo de biomassas residuais amazônicas é um desafio pouco abordado pela comunidade acadêmica da região. Um grande exemplo é o caroço do açaí, uma biomassa residual, que é originado do aproveitamento do fruto do açaí como fonte de alimentação nas regiões amazônicas.

Com isso, a caracterização química se torna fundamental para biomassa lignocelulósica, para serem estudadas como matéria-prima para expor suas propriedades e compará-las em relação ao combustível fóssil tradicional e outras tecnologias que visam o aproveitamento desses resíduos. Os materiais lignocelulósicos são materiais muito mais reativos e voláteis que minérios, no entanto, há uma concentração diferente na volatilidade que a biomassa possui em relação ao carvão mineral, que pode se alterar conforme as alterações climáticas e variações sazonais da região (SANDERSON, AGBLEVOR, *et al.*, 1996).

De acordo com Casau *et. al* (2022), apontaram que a mudança de paradigma em direção ao crescimento sustentável é urgente, e a biomassa, que é a fonte de energia mais antiga que o

homem tem utilizado desde a descoberta do fogo, pode desempenhar um papel importante. Foi observado que a biomassa é capaz de substituir as fontes de energia fóssil e tem o potencial mais significativo para atender às necessidades e garantir o abastecimento de combustível no futuro.

A energia de biomassa (bioenergia) já é essencial no fornecimento de energia em todo o mundo, amplamente reconhecida como uma alternativa aos combustíveis fósseis, mas com maior importância nos países em desenvolvimento, onde é mais utilizada através da combustão direta para cozinhar e aquecer, representando aproximadamente 35% da demanda de energia (WU *et al.,* 2021). Da mesma forma, a bioenergia produzida a partir de resíduos florestais e agrícolas ganhou atenção renovada no que diz respeito às reduções nas emissões de gases de efeito estufa e estratégias de mitigação das mudanças climáticas, por meio de cadeias de abastecimento sustentáveis e de curta distância de biomassa residual agroflorestal (BASCIETTO *et al.*, 2020).

1.4 A CASTANHEIRA-DO-BRASIL (*BERTHOLLETIA EXCELSA* BONPL.)

A castanheira do Brasil (*Berthelletia excelsa* Bonpl.) é uma das árvores de espécie não lenhosa bastante promissora, na qual seus frutos são derivados de produtos não madeireiros, a castanha, que está contida dentro do mesocarpo e que é exportada nacionalmente tanto quanto internacionalmente. A partir dos dados obtidos pela plataforma SIDRA (IBGE, 2016), 96% dos frutos obtidos da extração da castanheira são oriundas da região norte do país. Seus frutos são denominados ouriços, com peso médio de 1,6 kg, contendo de 12 a 25 sementes (Figura 2), revestida por uma casca maciça e resistente, onde se encontra a amêndoa *in natura,* denominada de ouriços (Figura 2) (NOGUEIRA, SILVA, *et al.*, 2014).

Figura 2. Castanha do Brasil - amêndoas. Fonte: Instituto Soka Amazônia

Figura 3. Castanha do Brasil - amêndoas. Fonte: Instituto Soka Amazônia.

Ao considerar que as áreas de ocorrência natural de castanha do Brasil na Amazônia estão concentradas nos estados do Acre, Amazonas, Pará, Amapá, Rondônia, Roraima, Mato Grosso e Maranhão (WADT; KAINER, 2009) e a título de estimativa do potencial de biomassa se considerar que cada ouriços possui em média 20 amêndoas. No Amazonas os municípios que mais se destacam em produção de castanha do Brasil são Beruri, Humaitá e Lábrea (IBGE, 2016).

Em consequência, a castanha vem ganhando importância econômica, principalmente devido os resultados de pesquisa sobre os seus valores nutricionais (MOODLEY *et al.*, 2007; SANTANA *et al.*, 2017). Em algumas localidades da Amazônia é o principal produto extrativista de exportação, inclusive com alto potencial de geração de energia proveniente da biomassa residual (BARBOSA; MORET, 2018). 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. Possui baixo impacto ambiental (ZUIDEMA; BOOT, 2002) e os ouriços (pericarpo do fruto) após a retirada das amêndoas são pouco aproveitados.

Da mesma forma, a castanha-do-Brasil é uma planta nativa da Amazônia, sendo uma das mais importantes espécies de exploração extrativista. Suas amêndoas apresentam alto valor econômico, tornando-se uma das principais atividades econômicas na região amazônica (BAYMA *et al.*, 2014). Antigamente, a castanheira era bastante explorada por sua madeira ser muito resistente. No momento atual, a exploração da castanheira abrange as finalidades do

manejo florestal não madeireiro e constitui vários produtos e subprodutos, dos quais recursos dependem do grau de beneficiamento das amêndoas.

Figura 4. Castanheira do Brasil - Fonte: Instituto Soka Amazônia.

Ademais, após a decadência da borracha, a castanha-do-Brasil passou a compor o principal produto extrativo para exportação da região norte do Brasil, na condição de produtos básicos. Além do mais, foi definido o Decreto Federal no 5.975, de 30 de novembro de 2006, que proíbe a exploração da castanha-do-brasil para fins madeireiros em florestas naturais, primitivas ou regeneradas. Também, de acordo com a Lei no 12.651, de 2012, apenas as árvores provenientes de cultivo de reflorestamento, previamente cadastrado no órgão ambiental competente, são passíveis de corte para fins madeireiro, como construção civil e naval, e sua exploração deve ser previamente declarada para o controle de origem.

Sendo assim, a castanha-do-brasil é uma espécie de extrema importância no extrativismo da Amazônia. Trata-se de uma árvore intimamente ligada à cultura das populações tradicionais da Amazônia. Seus produtos e subprodutos são utilizados há várias gerações, como fonte de alimentação e renda. A castanha do Brasil é uma semente com alto valor nutricional e de grande importância econômica para a região norte do Brasil.

Segundo Lima *et al.* (2019), o selênio é o principal mineral encontrado na castanha-do-Brasil (28 - 49 mg kg−1), sua quantidade de concentração depende da área de localização do castanhal. Bitencourt (2020) avaliando a quantidade de selênio em castanhas-do-Brasil da

região amazônica identificou-se a presença deste mineral na quantidade de 1,96 mg 100 g-1 de amêndoas.

Além disso, a castanha do Brasil pode ser considerada uma espécie essencial para combinar conservação e desenvolvimento, pois é abundante na região amazônica, 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; ZUIDEMA, 2002). Além de possibilitar o consumo direto, seu potencial nutricional possibilita o desenvolvimento de diversos produtos.

A castanheira é um produto de grande destaque na biodiversidade da floresta amazônica, sendo uma das espécies vegetais mais nobres, tendo sua exploração um papel fundamental na organização socioeconômica de grandes áreas extrativistas. Desse modo, o extrativismo constitui a base da economia dos povos que vivem na floresta amazônica, sendo a coleta de castanha uma das atividades de maior importância econômica na região (NOGUEIRA, 2011).

Igualmente, a exploração da castanha, tornou-se a principal atividade econômica na região amazônica, desde o declínio da exploração de borracha. Esta atividade vem sustentando milhares de extrativistas e toda uma oligarquia decorrente dessa riqueza (HOMMA, 2000). A castanha é o segundo produto florestal não madeireiro em termos comerciais na região Norte do Brasil, perdendo somente para o fruto de açaí - *Euterpe oleracea* (IBGE, 2016).

A produção brasileira de castanha do Brasil no período entre 2012 e 2013 foi de 38.805 e 38.300 toneladas, respectivamente, concentrada na região Norte, que produziu em 2013 o equivalente a 36.704 toneladas, totalizando 96% da produção nacional, sendo as maiores produções nos estados do Acre, Amazonas e Pará, com indicativo de potencial de produção em função da oferta pluvial, pois anos mais pluviosos tendem expressar elevada produção em anos/safras subsequentes (SHOAIB *et al*., 2015).

De acordo com Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, o Estado do Amazonas, é o maior produtor nacional, e registrou produção de 11.707 toneladas de castanha em 2020, sendo que 12% do volume total produzido no País teve origem somente no Município de Humaitá, que liderou o ranking dos municípios (IBGE, 2020).

Em vista disso, a amêndoa da castanha possui uma intensa demanda em mercado local, regional, nacional e mundial, ampliando-se a oferta de empregos, aumento da renda, interesse de instalação de novas empresas, produtores e fortalecendo cadeias de base comunitárias agroextrativistas (BAYMA *et al.*, 2014). O fruto da castanha-do-Brasil tem elevado valor

econômico como produto extrativo florestal, mas não impede seu plantio com a finalidade de reflorestamento, tanto em plantios puros quanto em sistemas consorciados.

Assim, a castanheira-do-Brasil é uma das principais espécies botânicas que faz parte da proteção da socio biodiversidade brasileira. O alto valor nutricional das amêndoas foi convertido em uma importante fonte de renda, não apenas para aqueles que se designam castanheiros, e que habitam as Reservas Extrativistas (RESEX) ou Reservas de Desenvolvimento Sustentável (RDS), mas inúmeras outras populações como indígenas e quilombolas da região de produção (RIBEIRO, 2018).

Atualmente, muitos municípios do Amazonas que produzem a castanha do Brasil estão em locais isolados na floresta e o extrativista armazena em grandes galpões para que a castanha fique estocada até o momento de serem transferidas para os beneficiários. Na grande maioria os ouriços são desperdiçados após a extração do fruto e estes ficam sendo acumulados sem um uso pré-definido, podendo trazer riscos de saúde para as pessoas que trabalham diretamente na comercialização deste fruto. Portanto, infere-se que a produção de castanha deve continuar a ser em volume bastante elevado assegurando a produção de resíduos do ouriço na mesma proporção.

1.5 TECNOLOGIAS DE APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS

Comumente no Brasil, as tecnologias para tratamento de resíduos sólidos mais utilizados são: o tratamento mecânico, bioquímico e térmico. O objetivo maior das tecnologias de tratamento de resíduos é diminuir o impacto negativo no meio ambiente e para a saúde humana, além de, em alguns casos, gerar retorno financeiro para as organizações. As tecnologias para tratamento de resíduos sólidos mais utilizadas podem ser separadas em 3 grupos: tratamento mecânico; tratamento bioquímico; e tratamento térmico. (VGRESIDUOS, 2020).

No tratamento mecânico são realizados processos físicos geralmente no intuito de separar em usinas de triagem ou alterar na reciclagem o tamanho físico dos resíduos. Neste processo não ocorrem reações químicas entre os componentes como nos muitos casos do tratamento térmico. Os maiores exemplos de tratamento mecânico de resíduos são encontrados no setor de reciclagem. Muitas vezes, esse processo de produtos é dividido em várias etapas que agem de maneira interdependente. De uma forma geral, pode-se classificar as formas de tratamento mecânico de resíduos de acordo com sua finalidade (ADNORMAS, 2021).

Com relação ao tratamento bioquímico, acontece com a ação de seres vivos (microrganismos) que se alimentam dos restos, quebram as moléculas e as transforma em uma mistura de substâncias. São exemplos de tratamento bioquímico, biodigestão e compostagem. Os resíduos que podem ter este tipo de tratamento são somente os resíduos não inertes. Por outro lado, o tratamento térmico os resíduos recebem calor e mudam suas características, devido aos processos físico-químicos que acontecem no processo. Os tratamentos térmicos conhecidos são: incineração, pirólise e plasma. Os resíduos que podem ter este tipo de tratamento são apenas os resíduos perigosos e os inertes (INOVAR AMBIENTAL, 2022).

Os resíduos decorrentes das atividades agroindustriais são, em sua maioria, provenientes do processamento de frutas para produção de polpas, dependendo do tipo de fruta podem ser compostos por casca, caroço ou sementes e bagaço. A quantidade de resíduos agroindustriais produzidos sofre variação de acordo com o período anual, a sazonalidade e área plantada e colhida (VIANA & CRUZ, 2016). A partir de pesquisas na área da agroindústria, é possível tanto melhorar a qualidade dos produtos, quanto analisar formas de reaproveitamento e biotransformação de seus resíduos para diversas finalidades (EMBRAPA, 2020).

Amorim *et. al* (2021) verificaram a utilização de resíduos florestais como fonte de biomassa, as principais espécies produtoras de resíduos e, ainda, a quantificação, qualificação dessa biomassa, e as tendências do mercado para o seu aproveitamento e utilização. Entre os resultados, apontaram como tecnologia de aproveitamento de resíduos a briquetagem, peletização, cavaqueamento ou *chipping*, cavaqueamento de árvores inteira, cavaqueamento em toras curtas e produção de biochar.

Assim, de fato, a gestão de resíduos sólidos é bastante complexa. O setor enfrenta desafios centrais como a enorme e crescente quantidade gerada, escassez de recursos financeiros, complicações logísticas e uma limitada conscientização social. Para mudar tal cenário negativo, as formas de pensar e agir precisam evoluir (RESIDUALL, 2019).

1.6 CARVÃO ATIVADO

O carvão ativado é um dos adsorventes mais utilizados mundo a fora no tratamento de água e de rejeitos aquosos. Pode-se dizer que o carvão, sem ativação, era utilizado por Scheele desde 1773 no tratamento de gases. Ele também se utilizou do carvão *in natura* para descolorir soluções aquosas em 1786 e foi o responsável por realizar a primeira quantificação do poder absortivo do carvão em fase líquida. O carvão ativado comercialmente viável surgiu no início do século XX com o cientista sueco *von Ostreijko*, que obteve duas patentes em 1900 e em

1901. Essas patentes continham os conceitos básicos acerca da ativação química e física, essa última também chamada de termal (ARAUJO *et al.*, 2017).

O carvão ativado é uma substância porosa derivada de material orgânico, geralmente material lenhoso e fibroso. O aspecto útil do carvão ativado é que ele pode filtrar os contaminantes da água e do ar, o que o torna uma substância importante no sistema de filtragem. As matérias-primas usadas para obtenção do carvão ativado são quase exclusivamente de origem vegetal e possuem alto poder de carbono, tais como casca de coco, carvão mineral, madeira, ossos de animais, resíduos agroindustriais, caroço de azeitona, ouriço de castanha, entre outros.

Também, os carvões ativados são materiais carbonosos porosos que apresentam uma forma microcristalina, não grafítica, que sofreram um processamento para aumentar a porosidade interna. Uma vez ativado, o carvão apresenta uma porosidade interna comparável a uma rede de túneis que se bifurcam em canais menores e assim sucessivamente. Esta porosidade diferenciada é classificada segundo o tamanho em macro, meso e microporosidade. (CLAUDINO, 2003).

Assim, os carvões ativados são materiais carbonáceos qualificados pela elevada área superficial e estrutura porosa altamente desenvolvida (HASAN, 2015). A escolha do precursor e as condições de ativação nos dão a possibilidade de conceber carvões ativados para diferentes aplicações. Recentemente, eles são amplamente utilizados em uma gama de aplicações, tais como usos médicos, remoção de poluentes e odores, separação de gases, suporte para catalisadores e purificação de água, dentre outros (JOÃO, 2011).

Na área da saúde e da medicina, o carvão ativado tem muitas utilidades. Por ser adsorvente (que pode fazer adsorção) ele tem um efeito desintoxicante, e é comumente utilizado em emergências que envolvem intoxicações ou envenenamentos. Na alimentação é utilizado para diminuir a retenção de substâncias tóxicas e controle da quantidade de gordura no sangue, que pode ajudar a melhorar o colesterol. Outros usos são para tratamento de gases tóxicos em fábricas e indústrias (MEIO SUSTENTÁVEL, 2021).

Existem três formas principais de carvão ativado, o Carvão Ativado Granular que é partículas de formato irregular com tamanhos variando de 0,2 a 5 mm, é usado em aplicações de fase líquida e gasosa. O Carvão Ativado a Pó, é carvão pulverizado com um tamanho predominantemente menor que 0,18 mm, são usados principalmente em aplicações na fase líquida e no tratamento de gases de combustão. E o Carvão Ativado Peletizado, passa por um processo de extrusão a quente é homogeneizado a um diâmetro médio de 4 mm, eles são usados

principalmente para aplicações em fase gasosa devido à sua baixa queda de pressão, alta resistência mecânica e baixo teor de poeira (Figura 5, 6 e 7).

Figura 5. Carvão Ativado Granulado Fonte: Natural Meio Ambiente.

Figura 6. Carvão Ativado Pó. Fonte: Natural Meio Ambiente.

Figura 7. Carvão Ativado Peletizado. Fonte: Natural Meio Ambiente.

Nesse sentido, o carvão ativado em pó e o carvão ativado granular são os mais usados para o tratamento de águas residuais ou para tornar a água potável, principalmente pela remoção de compostos de baixo peso molecular. Contudo, um dos problemas encontrados na aplicação dos processos de adsorção ao tratamento da água é a lenta difusão intra-particular em

adsorventes granulares, como o granular. Por outro lado, o em pó fornece velocidades de adsorção mais rápidas, mas a dificuldade de manuseá-lo limita seu uso industrial.

O carvão ativado é um material de alta capacidade de adsorção, sendo bastante efetivo e geralmente utilizado no tratamento de água potável, no entanto, a fabricação de adsorventes desse tipo requer um alto custo considerando a origem da matéria-prima (BACCAR, BOUZID, et al., 2009). Considerando isso, há uma desvantagem que são perdas durante o processo de recuperação dos adsorventes, tornando-se muitas das vezes inoportuna. Através dessa perspectiva, existe um grande interesse científica na busca de materiais de baixo custo que possam ser utilizados para a produção do carvão ativado, que é o caso dos nossos resíduos biológicos, como as biomassas (GONÇALVES, 2008).

Portanto, o carvão ativado através de materiais biológicos, se destaca por ser um material de baixo custo e em abundância na nossa região e que podem servir para o tratamento e no controle na emissão de poluentes, processo de purificação, armazenamento de gases, catalisadores, suportes catalíticos, na desodorização, separação, desintoxicação etc. (PEREIRA, OLIVEIRA, *et al.*, 2008). Mesmo sendo de baixo custo, ainda sim é um material de uso muito limitado, pois possui uma desvantagem que é na preparação do carvão, geralmente o processo de produção em materiais lignocelulósicos necessitam de altas temperaturas, indo a mais de 700ºC.

1.7 TECNOLOGIAS PARA O DESENVOLVIMENTO DO CARVÃO ATIVADO

A primeira etapa de preparação de um carvão ativado é a carbonização, que geralmente é realizada na ausência de ar a temperaturas de 400 a 800 ° C. Durante a carbonização da matéria prima, ocorre a condensação de compostos aromáticos polinucleares e a quebrados grupos da cadeia química resultando em um resíduo de carbono. Neste meio, ocorrem reações cruzadas ligadas que inibem o desenvolvimento da estrutura pré-grafite (YANG, 2003). Na ativação dos carvões podem ser empregados dois métodos: a ativação por processo químico ou a ativação por processo físico.

Na ativação química, a carbonização e a ativação ocorrem em uma única etapa, na qual o precursor vegetal impregnado com um agente químico adequado é carbonizado. A grande vantagem da ativação química está relacionada ao baixo custo de energia, temperaturas na faixa de 400 a 800 ° C e alta eficiência do processo (RAMOS, 2005). Por outro lado, o método físico também pode ser empregado, podendo ser realizado em um único equipamento com duas etapas seguidas sendo que na primeira o material de origem é carbonizado produzindo carvão com

estrutura porosa rudimentar e no segundo ocorre a ativação em que o carvão obtido é exposto à atmosfera saturada com gás ou vapor inerte, em altas temperaturas culminando em um produto final com estrutura porosa interna desenvolvida e acessível (YANG, 2003).

Da mesma forma, o método de ativação física, mesmo não ocorrendo em etapa única, é menos oneroso, além de ocasionar menor impacto ambiental, pois as características inertes dos gases utilizados e a não utilização de agentes químicos, como ácidos e bases (SHOAIB, 2015).

Existem vários instrumentos para se produzir carvão ativado, como os fornos rudimentares, que ainda são muito utilizados pelos pequenos/médios produtores. Os fornos rudimentares são classificados pelo aquecimento, mobilidade, continuidade, material construtivo e sistema de exaustão.

Os fornos com aquecimento externo ou fornos de carvão alotérmicos, possuem uma câmara de calor localizada externamente ao forno. Logo, o calor gerado nesta câmara externa é conduzido por meio de dutos até o interior do forno aquecendo a carga de madeira iniciando o processo de carbonização. Também os fornos de carvão com aquecimento interno ou fornos de carvão auto térmicos para o calor iniciar o processo de carbonização é gerado a partir de queima de parte da própria carga do forno (DANIEL BARCELLOS, 2020).

Os fornos com mobilidade fixa são os mais comuns. A mobilidade de fornos de carvão é algo pouco usual no mercado. E os fornos de carvão móveis são pouco comuns no Brasil. Existem algumas tecnologias sendo testadas, mas nada ainda em escala comercial. No exterior, podem se encontrar alguns modelos de pequeno porte com conceitos interessantes, mas ainda não testados e/ou não validadas para o mercado nacional de produção de carvão vegetal. Exemplos de fornos com mobilidade é o forno container e o forno isomóvel.[5]

Com relação aos fornos contínuos são divididos em Fornos de Carvão de Ciclo Contínuo e Ciclo em Batelada. Os fornos de carvão de ciclo contínuos ou simplesmente retortas verticais de carvão, consistem em grandes fornos verticais construídos em aço em outros materiais que produzem carvão continuamente. Nesta tecnologia a madeira ou biomassa entra em uma torre na sua parte superior e vai sendo aquecida até chegar na sua parte inferior, convertendo-se em carvão. no Brasil elas foram implantadas no passado, mas não obtiveram sustentabilidade financeira. Por outro lado, os fornos de carvão de ciclo em batelada são fornos em que o processo de produção acontece por bateladas ou “pacotes”. O sistema é carregado com as matérias-primas de forma que é efetuado processo de carbonização formando ao final o produto.

[5] *Loc. cit.*

Após o produto (carvão) ser retirado do sistema (ou forno), o forno ou reator é alimentado novamente com madeira ou biomassa e inicia-se uma nova batelada.[6]

Os fornos de material construtivo possuem três bases, em Alvenaria, Metal e Híbridos. Os fornos de carvão que fazem uso de alvenaria são os fornos que dominam o mercado nacional. Independente da escala produtiva, este tipo de material, dado principalmente a seu baixo custo, vem sendo amplamente utilizado em todas as regiões brasileiras. Em contrapartida, devido ao elevado investimento, os fornos de carvão metálicos podem ser pouco utilizados. Um inconveniente deste tipo de tecnologia é a perda de calor devido a elevada condutibilidade térmica do metal que faz com que na fase de carbonização se perca muito calor no processo e abaixe assim o rendimento em carvão. Por fim, os fornos híbridos são fornos que combinam diferente materiais. Combinam metal, alvenaria, fibras isolantes, dentre outros materiais para que os fornos e suas partes possam ter melhore desempenhos. São tecnologias que vem explorando diferentes conceitos produtivos.[7]

Sobre os fornos com sistema de exaustão, são classificados em dois, Exaustão Natural e Forçada. Na exaustão natural, acontece o efeito chaminé. A fumaça ao sair pela chaminé do forno cria um vácuo dentro do forno promovendo a continuidade do processo. Quanto maior essa chaminé, maior esse efeito e maior é a pressão negativa no forno. Contudo, a exaustão forçada no forno acontece pelo uso de exaustores. Os gases de carbonização do forno podem ser soprados ou succionados. O processo de soprar um forno geralmente ocasiona problemas promovendo muitas regiões de combustão dentro do forno. Sendo assim, recomenda-se que se em faça a exaustão dos gases por meio de exaustores centrífugos, sistemas Venturi ou outros meios de exaustão de gases.[8]

Alguns fornos são sustentáveis, como o forno fornalha que tem baixo custo para o produtor de carvão, adaptados à região e com baixo impacto ao meio ambiente. Os fornos circulares são acoplados a um queimador central, que tem uma eficiência de redução de quase 90% das emissões de gás metano, um gás de efeito estufa, e das emissões de monóxido de carbono (ICA, 2019).

[6] *Loc. cit.*
[7] *Loc. cit.*
[8] *Loc. cit.*

1.8 PRODUÇÃO DE CARVÃO ATIVADO A PARTIR DE RESÍDUOS DE BIOMASSA

O carvão ativado elimina substâncias de concentração, composição e tamanhos variáveis (REINOSO, 2004). Este material possui aplicações múltiplas e tem sido empregado na indústria de alimentos, bebidas, farmacêutica, química etc. No tratamento de água para consumo humano, o carvão ativado tem a capacidade de eliminar o sabor e o odor da água, eliminar contaminantes como metais pesados, gases tóxicos, pesticidas, reduzir a matéria orgânica natural, limitando assim ao máximo a formação de subprodutos de desinfecção e/ ou oxidação, como *trihalometanos* (PHAN *et al.*, 2006; AKSU *et al.*, 2008).

Em consequência, a Amazônia é caracterizada por uma grande diversidade de espécies que produzem resíduos ainda não estudados quanto ao seu aproveitamento industrial. Produtos como Casca de Cupuaçu, Açaí e Ouriço da Castanha do Brasil podem originar carvão ativado com alta qualidade, bom rendimento e baixo custo, substituindo os adsorventes químicos atualmente utilizados pelas indústrias (CRUZ JUNIOR, 2010). Bem como, resíduos de plantas da Amazônia têm-se mostrado importantes materiais precursores para a produção de carvão ativado, pois são renováveis, geralmente disponíveis em grandes quantidades e com baixo custo quando comparados a outros materiais precursores (DOS SANTOS MELO, 2015).

Com relação às características, um bom material precursor é aquele que possui um elevado teor de carbono em sua composição, como cascas de arroz, de nozes, carvões minerais, madeiras, ossos de animais, caroços de frutas, grãos de café, entre outros. Os precursores do carvão ativado são materiais que se enriquecem durante o tratamento térmico, sem que haja fusão ou abrandamento que impeça a formação de microporos. Caso a porosidade dos precursores seja baixa, é necessário ativá-los (CLAUDINO, 2003).

Bressan *et al.* (2020) analisaram sobre a capacidade de adsorção do carvão ativado, comparando diferentes tipos de ativação, quantidade de corante adsorvido e matéria prima utilizada. Considerando o material para produção de carvão ativado o bagaço do malte. O método utilizado foi a pirólise. Entre os resultados, demonstraram que o bagaço do malte, comparado a outros tipos de resíduos agroindustriais, mostra ser um promissor precursor para a produção do carvão ativado, pois apresentou resultados semelhantes a outros precursores.

Em muitos países são utilizadas biomassas para produzir o carvão ativado, como exemplo, na angola uma das biomassas utilizadas para a produção de carvão ativo é o Baobá Africano é uma biomassa fibrosa natural, que é usado como precursor para produzir carvão ativado sob medida para a remoção de poluente em cursos d'água. Os precursores utilizados é os resíduos de Baobá, nomeadamente casca, madeira e sementes, recolhidos na Angola. Mostra

a adequação do uso de resíduos de Baobá na produção de carvão ativado, o que pode ser considerado um novo caminho para a valorização de seus resíduos, com boas propriedades de adsorção. (TCHIKUALA *et al.*, 2017).

Também, a casca do "ouriço" possui elevado teor de lignocelulose, o que pode qualificar esse material por apresentar características físicas em sua constituição que favorecem à obtenção de um carvão de boa qualidade e, outro fator importante é o fato de que a casca do "ouriço" é considerada resíduo da cadeia produtiva da castanha-do-brasil, tendo por isso baixo custo de aquisição (NOGUEIRA *et al.*, 2014). Da mesma forma, as fibras vegetais (como coco ou juta) podem ser bons precursores para a produção de fibras ativadas porosas por métodos preparativos simples. Dependendo da natureza da fibra bruta, das condições de tratamento e do agente ativador, vários tipos de carvão ativado fibroso podem ser obtidos (PHAN, 2006).

Assim como o caroço de açaí que tem alto teor de carbono e que o carvão produzido apresenta uma superfície heterogênea com poros de diversos tamanhos, dessa maneira o caroço de açaí possui potencial para produção de carvões ativados (BERNI *et al.*, 2018). Pelo fato de o carvão ser produzido a partir do mesocarpo do fruto, não acarreta danos ao meio ambiente, sendo um método eficiente e ecologicamente correto (PEREIRA, 2014).

Do Amaral *et. al* (2020) analisaram a produção de carvão ativado com resíduos de arroz, a partir do processo termoquímico de pirólise de forma a ser aproveitado como energia e para a utilização como um adsorvente para tratamento de efluentes. O sistema de pirólise consistiu em duas partes fundamentais: o reator químico de leito fixo e o sistema de condensação. Os ensaios de pirólise foram realizados de forma a avaliar simultaneamente diversos parâmetros de controle no processo de pirólise. Entre os resultados demonstrou maiores rendimentos na produção do carvão ativado foram de 62% e as menores taxas de rendimento foram 24,98%.

Gomes *et. al* (2019) apontaram a produção de carvão ativado a partir da biomassa do coco de babaçu processado termicamente em forno de micro-ondas em três diferentes temperaturas: 700, 750 e 800 °C e usaram a Microscopia Eletrônica de Varredura para adquirir as imagens microscópicas do carvão ativado. O processo de produção de carvão ativado envolveu duas etapas principais: a produção do carvão vegetal e a ativação. Entre os resultados, concluíram que as análises nas amostras de 700ºC com a ampliação de 1800 vezes obteve um ótimo valor com um desvio padrão satisfatório e muito inferior ao das outras amostras analisada comparado com os resultados da análise.

Portanto, o uso de resíduos vegetais é uma alternativa sustentável na preparação de carvões ativados, pois utilizando materiais residuais como cascas de frutas, caules de brócolis,

cascas ou sementes de abacate, castanhas e ouriços, além de muitas outras, reduz a geração de resíduos sólidos. Além disso, controlando cuidadosamente as condições de ativação e carbonização, é possível preparar carvão ativado com altas áreas de superfície específicas que se mostraram altamente eficientes na eliminação de compostos orgânicos e inorgânicos presentes nas águas residuais, como corantes e metais pesados, respectivamente.

1.9 CARVÃO ATIVADO NO TRATAMENTO DE ÁGUA

Nos anos 1960-1970, os países ocidentais desenvolvidos começaram a usar a tecnologia de carvão ativado no tratamento de água potável para melhorar a remoção de contaminantes orgânicos. Também, o processo do carvão ativado se tornou o principal processo de tratamento avançado de água, que é comumente usados em países desenvolvidos, como América, Japão, Holanda, Suíça, entre outros (JIN, 2013).

O carvão ativado é amplamente utilizado no tratamento da água devido sua alta capacidade adsorvente (SAKA, 2012). Este produto é geralmente usados em todo o mundo para o tratamento de águas residuais, potabilidade da água, purificação de gases e como suporte de catálise (OLIVARES MARIN *et al.*, 2009).

No universo industrial, a utilização do carvão ativado é muito frequente em unidades filtrantes instaladas em fábricas dos setores de alimentos, bebidas, farmacêutico e de produtos químicos. O carvão ativado é um aliado fundamental para esses e outros segmentos que dependem do fornecimento de água com qualidade máxima para o êxito de seus negócios. Atua com precisão na remoção de matéria orgânica, inorgânica, odores, sabores indesejados, substâncias químicas em excesso (como o cloro) e metais pesados que comprometem a potabilidade da água (FUSATI, 2021).

Da mesma forma, o carvão ativado é amplamente utilizado no tratamento de efluentes. Obtido geralmente a partir de materiais lignocelulósicos, como madeiras, casca de coco, de arroz, bagaço de cana-de-açúcar e entre outros, o carvão ativado possui um grande desenvolvimento poroso que o permite ser um dos adsorventes mais versáteis já utilizados (OLIVEIRA *et al.*, 2014).

No entanto devido a sua alta eficiência, a adsorção com carvão ativado é reconhecida como a melhor tecnologia de controle para o tratamento da água, de modo que a purificação de águas é a principal aplicação deste adsorvente (HAMDAOUI e NAFFRECHOW, 2007; CHENG et al., 2005).

O tratamento de carvão ativado nas estações de tratamento de água é normalmente instalado para fornecer a remoção de compostos orgânicos naturais, compostos de sabor e odor e produtos químicos orgânicos sintéticos. A adsorção de carvão ativado conecta fisicamente moléculas de fase gasosa ou líquida à superfície do carvão ativado. O carvão ativado é um adsorvente eficaz porque é um material altamente poroso e fornece uma grande área de superfície na qual os contaminantes podem adsorver (JOHNSON, 2014).

Santos *et. al* (2021) investigaram o potencial do carvão ativado granular, em condições similares às encontradas em estações de tratamento de água, para a remoção da atividade estrogênica causada por uma combinação de micro contaminantes em água. Entre os resultados, apontaram que carvão ativado granular pode ser utilizado para a remoção de atividade estrogênica, desde que utilizado em quantidades suficientes, uma vez que para atingir maiores remoções, foi necessária grande concentração do carvão.

Januário *et. al* (2021) analisaram a remoção e capacidade absortiva do ibuprofeno em um novo adsorvente, feito de carvão ativado de coco de babaçu funcionalizado com óxido de grafeno. A poluição das águas superficiais por resíduos farmacêuticos causa impactos aos seres aquáticos, visto que estes fármacos, quando atinge os recursos hídricos, mesmo em baixas concentrações, são mutagênicos e cancerígenos. Entre os resultados, demonstram que o material adsorvente obtido do carvão ativado de babaçu funcionalizado com óxido de grafeno tem grande aplicabilidade, visto que apresentou ótima capacidade adsortiva e remoção próxima a 79% de ibuprofeno. Isso demonstra a eficiência do material adsorvente em tratamento de água e efluentes, pois a adsorção é um processo interessante economicamente e menos agressiva ao meio ambiente.

Em suma, o carvão ativado é um poderoso adsorvente usado prolificamente durante os esforços de purificação de água para remover contaminantes e componentes indesejáveis. Embora o carvão ativado possa ser usado em uma ampla gama de aplicações de tratamento de água, é uma ferramenta crítica usada em todas as instalações municipais e industriais de tratamento de água para tratar água potável, efluentes e água para uso em processos.

1.10 ACESSO A ÁGUA POTÁVEL

As tecnologias de tratamento de águas para abastecimento, elas são classificadas como convencionais, que incluem todas as etapas tradicionais do processo, coagulação, floculação, decantação e filtração, e não convencionais, incluindo a filtração direta ascendente e descendente, a dupla filtração e a filtração lenta. A simples desinfecção é tecnologia de

tratamento aplicada apenas em águas brutas subterrâneas que apresentam condições naturais não objetiveis e seguras no ponto de vista sanitário (BRASIL, 2014).

Nesse sentido, estações convencionais de tratamento de águas superficiais ainda estão sendo utilizadas por alguns países. Geralmente consistem em várias etapas no processo de tratamento. Estes incluem: coleção; triagem e tensão; adição química; coagulação e floculação; sedimentação e esclarecimento; filtração; desinfecção; armazenamento; e finalmente distribuição. Muitas estações de tratamento de água utilizam água de mais de uma fonte. A mistura de águas subterrâneas com águas superficiais é um método frequentemente usado para melhorar a qualidade do produto final (ZABOTTO, 2019).

Dessa forma, um sistema de distribuição de água consiste em uma rede formada por um conjunto de tubulações, conexões, reservatório e bombas hidráulicas. Sua função é atender os pontos de consumo de uma cidade ou setor dentro das condições sanitárias, vazão e pressão exigidas. O sistema de distribuição é parte do sistema de abastecimento de água que abrange: captação, adução de água bruta, tratamento, reserva, adução de água tratada e distribuição (EOS, 2017).

Umas das tecnologias convencionais é a coagulação que tem por objetivo transformar as impurezas que se encontram em suspensão fina, estado coloidal e dissolvidas, em partículas que possam ser removidas pela decantação (sedimentação) e filtração. Esses aglomerados gelatinosos se reúnem produzindo os flocos (floculação). E como tecnologias não convencionais têm filtração direta de fluxo ascendente, chamada de Filtro Russo é um sistema de tratamento que utiliza a filtração da água coagulada de forma direta e ascendente. Este tipo de estação é especialmente recomendado para o tratamento de água bruta com baixos valores de turbidez, podendo a cor ter níveis mais altos (BRASIL, 2014).

Outras técnicas são a dessalinização que é o processo que elimina os sais dissolvidos na água. O objetivo da dessalinização é produzir água com pouco conteúdo salino para empregá-la em diversas atividades industriais, tais como produção de vapor em caldeiras, semicondutores, indústria farmacêutica, alimentícia etc. A desmineralização, que apresenta duas variantes – a troca iônica e a osmose reversa. Quando uma água muito pura é solicitada, se emprega troca iônica ou osmose seguida por troca iônica. E a destilação que se baseia na produção de vapor por aquecimento da água condensada praticamente isenta dos mesmos (AMBIENTE BRASIL, 2021).

Da Silva *et. al* (2022) verificaram a construção e utilização de filtros artesanais de baixo custo como tecnologias sociais voltadas para a obtenção de água potável. Apontaram que ao

construir e utilizar filtros artesanais de baixo custo obtiveram por um valor mínimo e de forma sustentável, água própria para o consumo humano, contribuindo, dessa maneira, para reduzir a proliferação de doenças de veiculação hídrica.

Alves *et. al* (2021) demonstraram que o uso de tecnologias no meio rural, sejam elas inovadoras ou não, facilita o acesso à água. A zona urbana sempre foi privilegiada no que concerne à implantação de sistemas de água encanada e potável, em detrimento à zona rural. Entre os resultados, apresentaram que em relação ao acesso à água, o uso de um motobomba facilitou a captação do recurso, considerando o tempo e esforço que é necessário no translado do recurso para as residências. Com o auxílio da tecnologia, em cerca de 20 minutos são preenchidos reservatórios na residência que estão aproximadamente 150 metros distantes das nascentes, que totalizam um volume de 1800 Litros. Nesse sentido, por mais que haja uma considerável facilidade de acesso à água na propriedade supramencionada, ainda existem famílias que captam o recurso de forma primitiva e lenta, fato que ressalta a importância de um sistema de água encanada.

Consequentemente, há outras tecnologias criadas ao longo do tempo no mundo todo, como o desenvolvimento da tecnologia de carvão ativado que é usado como um tipo de meio de absorção e desempenha um papel importante no aperfeiçoamento do processo de tratamento convencional. Além disso, a tecnologia de carvão ativado se torna um dos processos mais maduros e eficazes para remover contaminantes orgânicos na água. A remoção do odor na água bruta pode ser considerada como a primeira tentativa de carvão ativado que pode desempenhar um papel no tratamento da água.

1.11 CUSTO DE INFRAESTRUTURA DE TRATAMENTO DE ÁGUA

A água é um recurso natural essencial para a sobrevivência de todas as espécies que habitam a Terra. Os alimentos que ingerimos dependem diretamente da água para a sua produção. Necessitamos da água também para a higiene pessoal, para lavar roupas e utensílios e para a manutenção da limpeza de nossas habitações. Ela é essencial na produção de energia elétrica, na limpeza das cidades, na construção de obras, no combate a incêndios e na irrigação de jardins, entre outros. As indústrias utilizam grandes quantidades de água, seja como matéria-prima, seja na remoção de impurezas, na geração de vapor e na refrigeração. Dentre todas as atividades, porém, é a agricultura aquela que mais consome água (MUCCIACIT, 2018).

A implantação de infraestrutura de saneamento é uma das necessidades básicas ao desenvolvimento de uma sociedade e tem grande importância devido ao impacto significativo

nas condições sanitárias das áreas beneficiadas. Deve ser concebida de forma sustentável e proporcionar a melhoria das condições de vida da população. O conceito de construção sustentável apresenta diferentes abordagens, mas identifica como essenciais os aspectos econômicos, sociais e culturais da construção, com relevância aos impactos ecológicos da construção, como a preservação de recursos naturais (FUNASA, 2019).

Nesse sentido, o sistema de abastecimento de água pode ser concebido e projetado para atender a pequenos povoados ou a grandes cidades, variando nas características e no porte de suas instalações. Caracteriza-se pela captação da água da natureza, adequação de sua qualidade ao padrão potável, transporte até os aglomerados humanos e fornecimento à população em quantidade compatível com suas necessidades. Por outro lado, os sistemas individuais são soluções precárias para os centros urbanos, pois essas fontes encontram, geralmente, expostas a altos níveis de contaminação; embora indicados para as áreas rurais onde a população é dispersa e, também, para as áreas periféricas de centros urbanos, para comunidades urbanas com características rurais ou, ainda, para as áreas urbanas, como solução provisória, enquanto se aguardam soluções mais adequadas (BRASIL, 2016).

Desse modo, a infraestrutura desempenha um papel fundamental na resposta às pressões sobre os recursos hídricos e no aprimoramento da segurança hídrica. A pressão sobre os recursos hídricos deve continuar aumentando nas próximas décadas, principalmente como resultado de mudanças demográficas, crescimento econômico, poluição, mudanças no uso da terra, degradação de ecossistemas e mudanças climáticas.

Em consequência, os impactos ambientais, sociais e econômicos da degradação da qualidade das águas se traduzem, entre outros, na perda da biodiversidade, no aumento de doenças de veiculação hídrica, no aumento do custo de tratamento das águas destinadas ao abastecimento doméstico e ao uso industrial, na perda de produtividade na agricultura e na pecuária, na redução da pesca e na perda de valores turísticos, culturais e paisagísticos. Nos municípios brasileiros que possuem mananciais de abastecimento protegidos, os custos de tratamento da água variam de R$0,50 a R$0,80 para cada 1.000 m³ de água tratada. Em municípios que possuem mananciais pouco preservados, os custos podem atingir de R$35 a R$40 para cada 1.000 m³ (TUNDISI; MATSUMURA-TUNDISI, 2011).

Assim, expõem que quanto melhor sua rede de infraestrutura, maior será a fluidez dos recursos econômicos, da mesma maneira, o município passa a ter áreas mais valorizadas, maior renda, melhorando a qualidade de vida (MASCARÓ *et al.*, 2010). Além disso, existe um aumento do patrimônio municipal valorizando o espaço urbano, principalmente de regiões mais

pobres que passam a serem servidas de redes de esgoto, água, drenagem e comunicação (ELOY *et al.*, 2011).

São necessários numerosos investimentos em infraestrutura e serviços de água e saneamento para garantir o acesso à universalização. Países, estados e municípios nem sempre conseguem fazer isso sozinhos, exigindo contribuições financeiras de outros investidores, ou seja, do setor privado. Dessa forma, o estabelecimento de um modelo de governança adequado e uma regulamentação efetiva do setor são essenciais para garantir sua atratividade aos investidores, que podem ajudar de várias maneiras a viabilizar o acesso universal, a equidade social e a eficiência dos serviços de água e saneamento.

Logo, as instalações de abastecimento de água compreendem a captação em rios ou poços artesianos, bombas elevatórias, reservatórios, aparelhos de tratamento e rede de distribuição. Os serviços públicos, como qualquer atividade prestacional, têm custos. No Saneamento Básico estes custos são elevados seja na implementação das redes e infraestruturas de tratamento de água e de esgotamento sanitário ou mesmo de disposição final de resíduos sólidos, seja mesmo na operação (custos de energia, produtos químicos, captação da água).

O custo com pessoal configura-se no primeiro item das despesas de exploração correspondendo a um percentual de 60,4%, em 2018 somou R$ 17.733,7 milhões, valor 6,2% maior que o de 2017. Bem como, o consumo de energia elétrica é indispensável na gestão e operação dos sistemas de abastecimento de água e de esgotamento sanitário e originam uma despesa de exploração significativa. Sob uma perspectiva econômica e financeira, as ineficiências no uso de energia constituem custos evitáveis que são suportados por subsídios à operação dos serviços e por taxas e tarifas cobradas dos usuários. De acordo com o SNIS, em 2018 as despesas com energia elétrica dos prestadores de serviço de saneamento atingiram R$ 6,19 bilhões, com consumo de 12,9 TWh, compostos por 11,5 TWh com abastecimento de água e 1,4 TWh com esgotamento sanitário (BRASIL, 2019).

Diante disso, a água deve ser cuidadosamente gerenciada durante todas as partes do ciclo da água: da captação, pré-tratamento, distribuição, uso, coleta e pós-tratamento de água doce, ao uso de águas residuais tratadas e seu retorno final ao ambiente, pronto para ser captado para iniciar o ciclo novamente. Devido ao crescimento populacional, urbanização acelerada e desenvolvimento econômico, a quantidade de águas residuais geradas e sua carga total de poluição estão aumentando globalmente (FUNASA, 2019).

Enfim, propiciar um bom gerenciamento da água trará consigo a diminuição dos seguintes problemas: perdas nos sistemas de abastecimento; consumo irresponsável dos

usuários de água tratada; poluição da água; ausência de consciência ambiental; e altos custos de operação e manutenção do sistema de abastecimento público (PAULINO, 2005).

2. RESULTADOS DA PESQUISA

Serão apresentados a seguir os capítulos no formato de artigos, tanto os publicados quanto os submetidos para publicação. Os capítulos 1, 2 e 3 já foram publicados, enquanto se aguarda o resultado da avaliação para publicação pelo periódico do capítulos 4.

2.1 CAPÍTULO 1

THE POTENTIAL OF ACTIVATED CARBON IN THE TREATMENT OF WATER FOR HUMAN CONSUMPTION, A STUDY OF THE STATE OF THE ART AND ITS TECHNIQUES USED FOR ITS DEVELOPMENT[9]

ABSTRACT

This review article addresses the use of biological activated carbon in watertreatment and its techniques for its development, with the premise of analyzing the potential of Activated Carbon (AC) in the treatment of water for hu-man consumption. For this end, it aims to identify the techniques used for the production of AC, use and its benefits, production from vegetable wastefor water treatment. Activated carbon has the ability to selectively collect gas-es, liquids and impurities inside its pores, which is the reason it is widely usedin filtration systems and for that the treatment of water, the coal fulfills the function of adsorbent, retaining in its pores certain types of impurities: largeparticles that cause undesirable color, taste or odor in the water. In the treatment of effluents, coal is used for clarification, deodorization and purificationof effluents.

Keywords: Activated Carbon, Water Treatment, Techniques Used.

1. INTRODUCTION

In the 19th century, the first reports of experiments in public appeared, demonstrating the ability of activated carbon to neutralize potentially lethal poisons. Coal was already described by several ancient peoples, such as Egyptians and Greeks, and its effects in combating intoxication were also known to American Indians [1]. Activated charcoal (CA) is a material obtained from the controlled burning of certain types of wood and can be made from coconut shells and other vegetable residues, as well as cork remnants. It is a very porous material, withexcellent filtration, deodorization and removal of toxic and

[9]Este artigo segue as normas de publicação da revista *Advances in Bioscience and Biotechnology*, na qual foi publicado. *Qualis Capes B1*.

Disponível em: https://www.scirp.org/journal/paperinformation.aspx?paperid=109801

radioactive sub- stances, being widely used in the chemical, food, pharmaceutical industry, in water filtration and purification systems [2].

In addition, it is formed mainly by carbon, being very porous, with a large contact surface, widely used as catalyst support and to purify gases and liquids through adsorption, which consists of retaining molecules, including heavy metals, in their surface pores. The use of activated carbon to remove harmful impurities, whether in the treatment of water or air, is essential [3].

There are two ways to activate coal, one physical and one chemical. The various activation processes are, in the great majority, variations of a basic procedure which is the carbonization or pyrolysis of the raw material. There are also three basic physical forms of activated carbon: powdered (powder), granulated and pelletized.

Thus, the characteristics of activated carbon depend on the raw material used (vegetable or mineral) and the activation process (chemical or physical). As a result, each process will have different adsorption properties and different uses [3]. Despite being an ideal material for the removal of contaminants, the use of activated carbon is limited due to its high production cost, which has enabled new research with more viable options for reducing production costs. One of these options would be through the use of biomass as an alternative precursor material to conventional methods of producing activated carbon that currently uses mineral coal [4] [5].

This work aims to provide an overview of the methodologies used in the studies of activated carbon in the treatment of water for human consumption, a study of the state of the art and its techniques used for its development. Thus, the discussion proposed here may contribute to broadening the discussion on this type of Research.

2. EXISTING TECHNIQUES FOR THE PRODUCTION OF ACTIVATED CARBON

The production of activated carbon starts with the dehydration of raw materials and carbonization, followed by activation, which increases the diameter of the pores and creates others. Depending on the raw material and the method used, different types of activated carbon are obtained, for different uses. Activated carbon has in its structure a large porous surface area and, still on that surface, are the functional adsorbent materials [6].

The first stage of preparation of an activated carbon is carbonization, which isusually carried out in the absence of air at temperatures of 400˚C to 800˚C. During the carbonization of the raw material, the condensation of aromatic polynuclear compounds occurs and the breakdown of the groups of the chemical chain resulting in a carbon residue. In this medium, linked cross reactions occurthat inhibit the development of the pre-graphite structure [7]. In the activation of the coals, two methods can be used: activation by chemical process or activation by physical process.

In chemical activation (Figure 1), carbonization and activation occur in a single step, in which the plant precursor impregnated with a suitable chemical agent is carbonized. The great advantage of chemical activation is related to thelow energy cost, temperatures in the range of 400˚C to 800˚C and high process efficiency [8]. The advantage of chemical activation is that it provides activatedcarbon with a larger contact area and more developed pores, unlike thermal activation, where the resulting carbon has a smaller area, which reduces the surfacethat will be used for adsorption [9].

On the other hand, the physical method (Figure 1) can also be used, being able to be carried out in a single equipment with two consecutive steps. The obtained coal is exposed to the atmosphere saturated with gas or inert vapor, at high temperatures, culminating in a final product with a developed and accessible internal porous structure [7].

Likewise, the physical activation method, even though it does not occur in a single step, is less costly, in addition to causing less environmental impact, given the inert characteristics of the gases used and the non-use of chemical agents, such as acids and bases [10]. In physical activation, the temperature variation is used to carbonize the precursor using purging gases such as CO_2 to eliminate the H_2O vapor produced in the precursor carbonization reaction. With the loss of H_2O, the precursor becomes physically activated at high temperatures [11].

3. USE OF ACTIVATED CARBON AND ITS BENEFITS

Activated carbon is one of the most widely used adsorbents worldwide in the treatment of water and aqueous waste. It can be said that coal, without activation, was used by Scheele since 1773 in the treatment of gases. It was also used in natural coal to decolorize aqueous solutions in 1786 and was responsible for carrying out the first quantification of the adsorptive power of coal in the liquid phase. Commercially viable activated carbon appeared in the early

20th century with the Swedish scientist von Ostreijko, who obtained two patents in 1900 and in 1901. These patents contained the basic concepts about chemical and physical activation, the latter also called thermal [12].

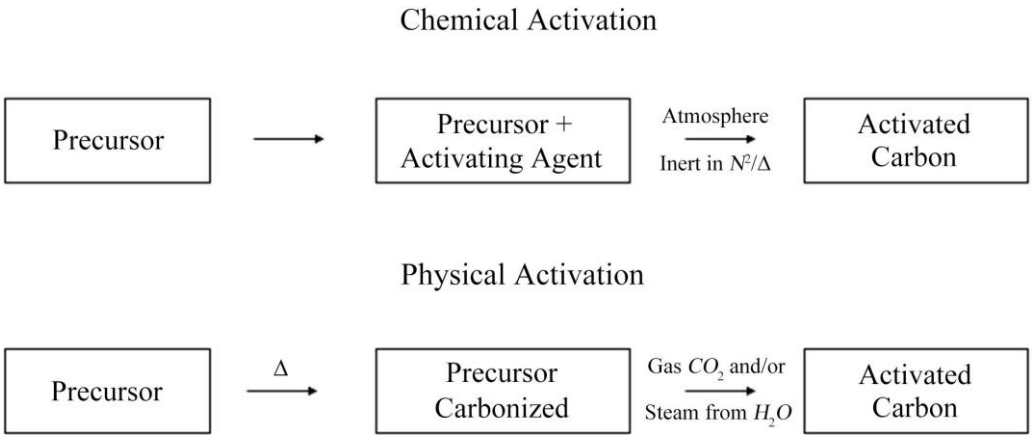


Figure 1. Demonstrative scheme of chemical and physical activation. Source: Adapted PEREIRA, 2010 [11].

Activated charcoal is a porous substance derived from organic material, usually woody and fibrous material. The useful aspect of activated carbon is that it can filter contaminants from water and air, which makes it an important sub-stance in the filtration system. The raw materials used to obtain activated carbon are almost exclusively of vegetable origin and have high carbon power, such as coconut shell, mineral coal, wood, animal bones, agro-industrial residues, olive stone, chestnut hedgehog, among others.

Also, activated carbons are porous carbonaceous materials that have a micro-crystalline, non-graphitic form, which have undergone processing to increase internal porosity. Once activated, the coal has an internal porosity comparable to a network of tunnels that branch into smaller channels, and so on. This differentiated porosity is classified according to the size in macro, meso and microporosity [13].

Thus, activated carbons are carbonaceous materials qualified for their high surface area and highly developed porous structure [14]. The choice of the pre-cursor and the activation conditions give us the possibility to design activated carbon for different applications. Recently, they are widely used in a range of applications, such as medical uses, removal of pollutants and odors, gas separation, support for catalysts and water purification, among others [15].

There are three main forms of activated carbon, Granular Activated Carbon, which is irregularly shaped particles with sizes ranging from 0.2 to 5 mm and isused in liquid and gas phase applications. Powder Activated Carbon is pulverized coal with a predominantly smaller size than 0.18 mm, they are mainly usedin applications in the liquid phase and in the treatment of flue gases. And pelleted activated carbon undergoes a hot extrusion process and is homogenized atan average diameter of 4 mm. They are mainly used for gas phase applicationsdue to their low pressure drop, high mechanical strength and low dust content [16].

In this sense, powdered activated carbon and granular activated carbon are the most used for the treatment of wastewater or to make water drinkable, mainly for the removal of low molecular weight compounds. However, one of the problems found in the application of the adsorption processes to the water treatment is the slow intraparticular diffusion in granular adsorbents, such as granular. On the other hand, powder provides faster adsorption speeds, but the difficulty in handling it limits its industrial use.

Activated carbon is a material with high adsorption capacity, being quite effective and generally used in the treatment of drinking water, however, the manufacture of adsorbents of this type requires a high cost considering the origin ofthe raw material [17]. Considering this, there is a disadvantage that is losses during the process of recovering the adsorbents, often becoming inopportune. Through this perspective, there is a great scientific interest in the search for low-cost materials that can be used for the production of activated carbon, which is the case of biological waste, such as biomass [18].

Therefore, activated carbon through biological materials stands out for beinga low-cost and abundant material in the region and that can be used for the treatment and control of pollutant emissions, purification process, gas storage, catalysts, catalytic supports, in deodorization, separation, detoxification etc. [19]. Even though it is of low cost, it is still a material of very limited use, as ithas a disadvantage that is in the preparation of charcoal, in which the production process in lignocellulosic materials generally requires high temperatures, going to over 700˚C.

4. PRODUCTION OF ACTIVATED COAL FROM VEGETABLE WASTE

Activated carbon eliminates substances of varying concentration, composition and size [20]. This material has multiple applications and has been used in the food, beverage,

pharmaceutical, chemical etc. industries. In the treatment of water for human consumption, activated carbon has the ability to eliminate the taste and odor of water, to eliminate contaminants such as heavy metals, toxic gases and pesticides, to reduce natural organic matter, thus limiting the formation of by-products of as much as possible, disinfection and/or oxidation, such as *trihalomethanes* [21] [22].

Therefore, each material will determine the predominant characteristics of activated carbon, such as the diameter and presence of pores. Activated charcoal can be made from coconut shells, but also from cork remnants, a very porous material, with excellent characteristics in the field of filtration, deodorization and removal of radioactive and toxic materials. It also works as a source of coalfor burning bovine bones at high temperatures, being known as bone coal [6].

As a consequence, the Amazon is characterized by a great diversity of speciesthat produce residues that have not yet been studied in terms of their industrial use. Products such as Barca de Cupuaçu, Açaí and Ouriço da Castanha do Brasilcan originate activated carbon with high quality, good yield and low cost, re- placing the chemical adsorbents currently used by industries [23]. Similarly, plant residues from the Amazon have been shown to be important precursor materials for the production of activated carbon, since they are renewable, generally available in large quantities and at low cost when compared to other pre-cursor materials.

With regard to characteristics, a good precursor material is one that has a highcarbon content in its composition, such as rice, nutshells, mineral coals, wood, animal bones, fruit stones, coffee beans, among others. The precursors of activated carbon are materials that enrich themselves during heat treatment, withoutmelting or slowing down that prevents the formation of micropores. If the porosity of the precursors is low, it is necessary to activate them [13].

Accordingly, biomass consists of organic material of animal or vegetable origin and is considered an alternative source of energy. Agricultural waste has a high energy potential, since after carbonization, biomass is transformed into charcoal [24] [25].

In many countries, biomasses are used to produce activated carbon, as an example, in Angola one of the biomasses used for the production of active char- coal is African Baobab is a natural fibrous biomass, which is used as a precursorto produce custom-made

activated carbon for pollutant removal in water courses. The precursors used are Baobá residues, namely bark, wood and seeds, collected in Angola. It shows the adequacy of the use of Baobá residues in the production of activated carbon, which can be considered a new path for the valorization of its residues, with good adsorption properties [26].

Also, the "hedgehog" bark has a high lignocellulose content, which can qualify this material because it has physical characteristics in its constitution that favor obtaining a good quality charcoal and another important factor is the fact that the "hedgehog" bark hedgehog is considered to be waste from the Brazil nut production chain, and therefore has a low acquisition cost [27]. Likewise, vegetable fibers (such as coconut or jute) can be good precursors for the production of porous activated fibers by simple preparation methods. Depending on the nature of the crude fiber, the treatment conditions and the activating agent, several types of fibrous activated carbon can be obtained [3].

Carmona analyzed the energy potential of biomass and charcoal from residues produced from the commercial extraction of Brazil nuts. For this, he applied the carbonization method to immediate chemical analyzes. Among the results, both the hedgehog and the tegument of castanha-do-Pará transformed into charcoal have the potential to be used for energy purposes. Thus, such residues present favorable characteristics for this purpose, some of which are even similar or superior to those presented by woods of other species [28].

Likewise, with the açaí stone, which has a high carbon content, and the produced charcoal has a heterogeneous surface with pores of different sizes, in this way the açaí stone has the potential to produce activated charcoal [29]. Because the charcoal is produced from the fruit's mesocarp, it does not cause damage to the environment, being an efficient and ecologically correct method [19].

Likewise, [30] who produced and evaluated the quality of activated carbon obtained from coconut endocarp (*Cocos nucifera*) and applied it to adsorption of the methylene blue dye present in aqueous medium, was prepared by physical activation, using water vapor as an activating agent. Then, characterizations related to gravimetric yield on activated carbon (RGCA), thermogravimetric analysis, surface area (SBET), pore volume and diameter and scanning electron microscopy were performed. To assess the adsorptive capacity, studies of kinetics and adsorption isotherms were carried out, and the Langmuir and Freundlich

isotherm models were applied. The coconut endocarp produced an activated carbon of excellent quality, which can be used as an adsorbent of dyes in aqueous medium.

That said, the use of vegetable residues is a sustainable alternative in the preparation of activated charcoal, since using residual materials such as fruit peels, broccoli stems, avocado peels or seeds, chestnuts and hedgehogs, in addition to many others, reduces the generation of solid waste. In addition, by carefully controlling the conditions of activation and carbonization, it is possible to prepare activated carbon with specific high surface areas that have been shown to behighly efficient in eliminating organic and inorganic compounds present in wastewater, such as dyes and heavy metals, respectively [3].

5. ACTIVATED CARBON IN WATER TREATMENT

In the 1960-1970s, Western developed countries began using activated carbon technology to treat drinking water to improve the removal of organic contaminants. Also, the activated carbon process has become the main advanced watertreatment process, which is commonly used in developed countries, such as America, Japan, the Netherlands, Switzerland, among others [27]. Activated carbon is widely used in water treatment due to its high adsorbent capacity [8]. This product is generally used worldwide for wastewater treatment, drinking water, gas purification and as a catalyst support [31].

Likewise, activated carbon is widely used in wastewater treatment. Usually obtained from lignocellulosic materials, such as wood, coconut husks, rice, sugarcane bagasse and among others, activated carbon has a large porous development that allows it to be one of the most versatile adsorbents ever used [32]. However, due to its high efficiency, adsorption with activated carbon is recognized as the best control technology for the treatment of water, so that water purification is the main application of this adsorbent [33] [34].

In view of this, water treatment is divided into eight stages (Figure 2): 1) Catchment: which consists of removing water from water sources or reservoirs; 2) Adduction: it is the transport of water from the springs to the treatment; 3) Coagulation: in this process, existing impurities whose particles are small will betreated; 4) Flocculation: in which the water is subjected to mechanical agitation, so that the impurities form larger and heavier flakes; 5) Decantation: which is the separation, by means of gravity, of sediment able solids; 6) Filtration: pass the water through filters formed by layers of coarse sand, fine sand, gravel,

gravel and activated carbon; 7) Disinfection: the water is added with chlorine, fluorineand PH control; 8) Reservation: water is stored in reservoirs [35].

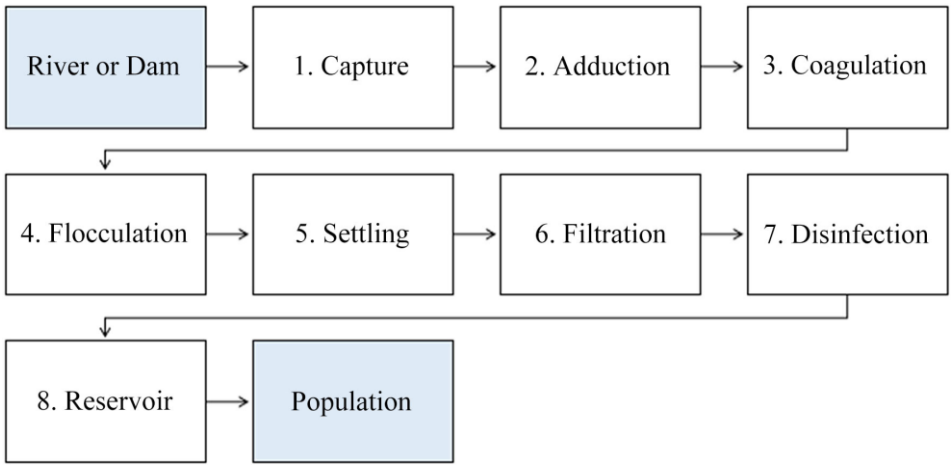


Figure 2. Stages of water treatment using activated carbon. Source: Autor.

The treatment of activated carbon in water treatment plants is usually in- stalled to provide the removal of natural organic compounds, flavor and odor compounds and synthetic organic chemicals. The adsorption of activated carbonphysically connects gas or liquid phase molecules to the surface of the activated carbon. Activated carbon is an efficient adsorbent, as it is a highly porous material and provides a long surface area on which contaminants can adsorb [16].

[36] Investigated the production and use of activated carbon, derived from theBrazil nutshell, as a means of de-fluoridation of drinking water. In view of this,the production consisted of carbonizing the Brazil nutshell in an oven with thepresence of nitrogen (N_2) at a heating rate of 8˚C/min until reaching 700˚C. Thematerial was kept for 2 hours at this temperature. The results showed that activated carbon from Brazil nut derivatives has the potential to be used as a bio- sorbent for the de-fluoridation of water supply [37].

In short, activated carbon is a powerful adsorbent used prolifically during water purification efforts to remove contaminants and unwanted components. Although activated carbon can be used in a wide range of water treatment applications, it is a critical tool used in all municipal and industrial water treatment facilities to treat drinking water, effluents and water for use in processes.

6. CONCLUSION

In the days in which we live and are approaching, chemical processes need to be treated responsibly and fit in the search for sustainability, reducing environmental impacts. Direct actions in the water, air, regeneration and recycling sec- tors are urgent. In this respect, the use of activated carbon to remove harmful impurities, whether in the treatment of water or air, is essential. Thus, the bio- logical treatment of water for human consumption reduces the instability of water, characterized mainly by the presence of organic matter in low concentrations. The benefits of more stable water include the reduction of bacterial growth, the formation of biofilms and corrosion in the distribution network. In addition, the need for disinfectant residues decreases, minimizing the formation of toxic by-products derived from reactions between the disinfectant and organic matter. In view of this, the removal of contaminants from water is indispensable to guarantee the life and make drinking water available. Activated coals from biomass residues are adsorbents with high potential due to the low cost of the precursor that is found in abundance in the Amazon. Several studies on activated carbon emphasize the great potential that it generates in the solution for treatments in waters contaminated with different types of contaminants. How- ever, it is still necessary to carry out a large-scale study in relation to activated carbon of biomass residues, since it is a range of precursors that can be used both in industry and in the daily life of humans. In general, it is expected that the world will be able to use the products of biomass residues as some works mentioned in this article for the production of activated carbon in a sustainable and clean way, in order to promote the culture of reuse in the production sector of the sustainable activated carbon.

ACKNOWLEDGEMENTS

The present review had resources from the Ministry of Science, Technology, Innovations and Communications—MCTIC (acronym in Portuguese). The authors would like to thank the National Institute for Research in the Amazon—INPA, Rede BIONORTE and the Federal University of Amazonas (UFAM) for the partnership. Scientific research in doctoral research was by the first author.

CONFLICTS OF INTEREST

The authors declare no conflicts of interest regarding the publication of this paper.

REFERENCES

[1] Freitas, L. and Bueno, S.M. (2014) Carvão Ativo: Breve Histórico e Estudo de Sua Eficiência na Retenção de Fármacos. *Revista Científica Unilago*, **1**, 2.

[2] Ecycle (2021) Carvão ativado: Usos e cuidados. https://www.ecycle.com.br/6914-carvao-ativado.html

[3] Tamanna, K., Hasan, Md.S. and Priyanka, D. (2016) Applicability of Activated Carbon Filtration in Surface Water Treatment. *Asian Journal of Innovative Re- search in Science, Engineering, and T*echnology, **1**, 1-6.

[4] Danish, M. and 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**, 1-21. https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.02.003

[5] González-García, P. (2018) Activated Carbon from Lignocellulosics Precursors: A Review of the Synthesis Methods, Characterization Techniques and Applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **82**, 1393-1414. https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.04.117

[6] Reinoso, F.R. (2004) Adsorbentesenlasolución de algunos problemas ambientales. Ediciones CYTED, Madrid.

[7] Shoaib, M. and Al-Swaidan, H.M. (2015) Optimization and Characterization of Sliced Activated Carbon Prepared from Date Palm Tree Fronds by Physical Activa-tion. *Biomass and Bioenergy*, **73**, 124-134. https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2014.12.016

[8] Portal Tratamento de Água. (2021) Uso eficiente do carvão ativado como meio filtrante em processos industriais. https://tratamentodeagua.com.br/artigo/uso-eficiente-do-carvao-ativado-como-meio-filtrante-em-processos-industriais

[9] João, M.V.N., Carlos, E.C.L., Carrott, P.J.M. and Carrott, M.M.L.R. (2011) Produc- tion of Activated Carbons from Almond Shell. *Fuel Processing Technology*, **92**, 234-240. https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2010.03.024

[10] Mab, R. (2005) Ion removal Cr(III) from Aqueous Solutions by Adsorption on Ac- tivated Carbon and Biosorption and Immobilized Yeast. Master's Thesis, Federal University of Pará, Brazil.

[11] Pereira, E., Oliveira, L.C.A., Vallone, A., Sapag, K. and Pereira, M. (2008) Preparação de Carvão Ativado em Baixas Temperaturas de Carbonização a Partir de Rejeitos de Café: Utilização de FeCl3 Como Agente Ativante. *Química Nova*, **31**, 1296-1300. https://doi.org/10.1590/S0100-40422008000600004

[12] Bhatnagar, A., Hogland, W., Marques, M. and Sillanpää, M. (2013) An Overview of the Modification Methods of Activated Carbon for Its Water Treatment Applica-tions. *Chemical Engineering Journal*, **219**, 499-511. https://doi.org/10.1016/j.cej.2012.12.038

[13] Claudino, A. (2003) Preparação de carvão ativado a partir de turfa e sua utilização na remoção de poluentes. 101 f. Dissertação, Mestrado em Engenharia Química, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. http://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/86346

[14] Hasan, R. (2015) Ways of Saying: Ways of Meaning: Selected Papers of Ruqaiya Hasan. Bloomsbury Publishing, London.

[15] Werther, J., Saenger, M., Hartge, E.-U., Ogada, T. and Siagi, Z. (2000) Combustion of Agricultural Residues. *Progress in Energy and Combustion Science*, **26**, 1-27. https://doi.org/10.1016/S0360-1285(99)00005-2

[16] NaturalTec (2021) Carvão Ativado—Ficha Técnica. https://www.naturaltec.com.br/carvao-ativado-ficha-tecnica/

[17] Baccar, R., Bouzid, J., Feki, M. and Montiel, A. (2009) Preparation of Activated Carbon from Tunisian Olive-Waste Cakes and Its Application for Adsorption of Heavy Metal Ions. *Journal of Hazardous Materials*, **162**, 1522-1529. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2008.06.041

[18] Gonçalves, M. (2008) Preparação de carvão ativado e impregnação com ferro ou cromo para aplicações em processos de descontaminação ambiental. Tese de Doutorado, Programa de Pós-graduação em Agroquímica, Universidade Federal de Lavras, City of Lavras, Minas Gerais.

[19] Nogueira, R.M., Ruffato, S., Carneiro, J.S., Pires, E.M. and De Alvares, V.S. (2014) Avaliação da carbonização do ouriço da Castanha-do-Brasil em forno tipo tambor. *Scientific Electronic Archives*, **6**, 7-17. http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1004208

[20] De Pereira, S.F.P, Maciel, A.E.S., Dos Santos, D.C., Mares, E.K.L., Oliveira, G.R., Bittencourt, J.A. and Da Oliveira, J.S. (2014) Remoção de Metais de Águas Superficiais Usando Carvão Vegetal de Açaí (Euterpe Oleracea Mart). *Proceedings of Interna- tional Conference on Engineering and Technology Education*, Guimarães, 16-19 March 2014, 397-401.

[21] Aksu, Z., Tatli, A.İ. and Tunç, Ö. (2008) A Comparative Adsorption/Biosorption Study of Acid Blue 161: Effect of Temperature on Equilibrium and Kinetic Parame-ters. *Chemical Engineering Journal*, **142**, 23-39. https://doi.org/10.1016/j.cej.2007.11.005

[22] Jin, P., Jin, X., Wang, X., Feng, Y. and Wang, X.C. (2013) Biological Activated Car-bon Treatment Process for Advanced Water and Wastewater Treatment. In: *Bio- mass Now-Cultivation and Utilization*, IntechOpen, London, 153-192. https://doi.org/10.5772/52021

[23] Cruz J.O.F. (2010) Produção de carvão ativado a partir de produtos residuais de espécies nativas da Região Amazônica. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica e de Materiais, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 62-71.

[24] Inovativa-Revista Eletrônica do Instituto Nacional de Tecnologia Ano 4, No. 18-Janeiro|Fevereiro de 2017.

[25] Pereira, E.I. (2010) Produção de carvão ativado a partir de diferentes precursores utilizando FeCl3 como agente ativante. Programa de PósGraduação em Agroquímica, Universidade Federal de Lavras, City of Lavras, Minas Gerais, 72.

[26] Saini, R.K., Nile, S.H. and Park, S.W. (2015) Carotenoids from Fruits and Vegeta-bles: Chemistry, Analysis, Occurrence, Bioavailability and Biological Activities. *Food Research International*, **76**, 735-750. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2015.07.047

[27] Tchikuala, E., Mourão, P. and Nabais, J. (2017) Valorisation of Natural Fibres from African Baobab Wastes by the Production of Activated Carbons for Adsorption of Diuron. *Procedia Engineering*, **200**, 399-407. https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.07.056

[28] Carmona, I.N., Da Sampaio, J.S., Andrade, F.W.C., Júnior, C.D.C., De Junior, S.M.O.M., Da Moreira, L.S. and Moutinho, V.H.P. (2017) Potencial energético da

biomassa e carvão vegetal de resíduos de Castanha-do-pará (Bertholletia excelsa Bonpl.). Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia da Madeira.

[29] Berni, J.V, De Cesaro, J.P.V, Scheufelle, F.B. and Vieira, M.F. (2018) Produção e Caracterização de Carvão Ativado Proveniente do Caroço de Açaí. In: São Paulo: Blucher, Editora Edgard Blucher Ltda., São Paulo, 3100-3103. https://doi.org/10.5151/cobeq2018-PT.0821

[30] De Morais, M.R., Santana, G.M., Lelis, R.C.C. and Paes, J.B. (2019) Produção de Carvão Ativado Microporoso com Vapor D'água Preparado a Partir de Endocarpo de Coco (*Cocos nucifera*). *Advances in Forestry Science*, **6**, 699-703. https://doi.org/10.34062/afs.v6i3.6717

[31] De Oliveira, L.R. (2014) Remoção De Alumínio Em Sistema Contínuo Por Adsorção Em Coluna De Leito Fixo Com Carvão Ativado. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-graduação em Engenharia Química, UFU.

[32] Phan, N.H., Sebastien, R., Catherine, F., Laurence, L.C., Pierre, L.C. and Thanh, H.N. (2006) Production of Fibrous Activated Carbons from Natural Cellulose (Jute, Coconut) Fibers for Water Treatment Applications. *Carbon*, **44**, 2569-2577. https://doi.org/10.1016/j.carbon.2006.05.048

[33] Cheng, W., Dastgheib, S.A. and Karanfil, T. (2005) Adsorption of Dissolved Natural Organic Matter by Modified Activated Carbons. *Water Research*, **39**, 2281-2290. https://doi.org/10.1016/j.watres.2005.01.031

[34] Hamdaoui, O. and Naffrechow, E. (2007) Modeling of Adsorption Isotherms of Phenol and Chlorofenols onto Granular Activated Carbon. Part I. Two-Parameter Models and Equations Allowing Determination of Thermodynamic Parameters. *Journal of Hazardous Materials*, **147**, 381-394. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2007.01.021

[35] Snatural (2021) Carvão Ativado para Filtração de Água e Ar. https://www.snatural.com.br/carvao-ativado-filtracao-agua-ar/

[36] Valença, R.M., *et al*. (2017) Adsorção de Fluoreto em Solução Aquosa e em Água de Abastecimento em Carvão Ativado à Base de Casca de Castanha-do-Brasil. *Engenharia Ambiental*: *Pesquisa e Tecnologia*, **14**.

[37] Trata Brasil (2021) Venha Conhecer as Etapas para o Tratamento de Água. http://www.tratabrasil.org.br/blog/2019/04/18/venha-conhecer-as-etapas-para-o-tra tamento-de-agua/

2.2 CAPÍTULO 2

THERMAL DIAGNOSIS OF HEAT CONDUCTION AND COMBUSTION TIME OF FRUITS OF THE BRAZIL NUT TREE (*BERTHOLLETIA EXCELSA* BONPL.)[10]

ABSTRACT

The objective of this work was to evaluate the spatial and temporal dynamics of the process of combustion of fruits of the Brazil nut tree (*Bertholletia excelsa* Bonpl.) using thermographic images in order to characterize the potential of this biomass as an energy source for use in ceramic kilns. Infrared thermography was used as a diagnostic tool, and the trial was conducted in November 2018, in two blocks with two repetitions in each, with the fruits organized so that the cavity was oriented upward and also downward. The thermograms were analyzed using Flir Tools (6.3 v). The temperatures were the ighest in the center of the fruits (>160˚C), attaining incandescence in 6 min 30s. Heat was propagated from the center to the edge, and this process was quicker for fruits with their cavities pointed upward. A second order polynomial model explained combustion time with a maximum duration of 7.2 minutes. The thermographic diagnostic has the potential to be used in management strategies for this biomass as an energy source, thus aggregating value to the residuals that are normally left in the forest during harvest by extractivists.

Keywords: Residual Biomass, Thermographic Patterns, Non-Wood Forest Products.

1. INTRODUCTION

The biodiversity of the Amazon rain forest possesses great biotechnological and bioenergetic potential through byproducts and substances from extraction processes, and these are capable of generating expressive economic benefits for the population in the region [1] [20]. Among these possibilities are native species such as the Brazil nut tree (*Bertholettia excelsa* Bonpl. Lecythidaceae) which has great potential to aggregate value through non-wood forest products [2], its fruits are denominated ouriços, and have an average weight of 1.6 kg, contain

[10]Este artigo segue as normas de publicação da revista *Advances in Bioscience and Biotechnology*, na qual foi publicado. *Qualis Capes B1*.

Disponível em: https://www.scirp.org/journal/paperinformation.aspx?paperid=98498

12 to 25 seeds, are covered by a very thick and resistant bark, wherein the seed in natura is found [17].

The Brazil nut has been gaining in economic importance, principally due to the results from research on its nutritional value [16] [17] [18]. In some places in the Amazon the Brazil nut is the principal extractivist product that is exported, and it also has high potential for energy generation from residual biomass from its harvest [4]. Since it is very abundant in the region, the Brazil nut tree can also be considered a key species for the evaluation of indicators of conservation and development, since its harvest occurs in native forests each year. The harvest of the Brazil nut itself has low environmental impact [21] but the pericarp of the fruit, after having the seeds removed, is rarely used.

Brazilian production of B. excelsa in the period between 2012 and 2013 was 38,805 and 38,300 tons, respectively, and concentrated in the North region, which produced in 2013 36,704 tons, totaling 96% of national production, with the greatest production in the states of Acre, Amazonas and Pará. Furthermore, production is greater during the rainy season, and years with greater rainfall cause an increase in the harvest of the following year [19]. Currently, there is an intense demand for Brazil nuts in local, regional, national and world markets, which increases job availability, income, and interest of businesses, and producers to install companies in Brazil nut producing regions. Furthermore, the Brazil nut trade strengthens production chains that are the base of agroextrativist communities [5].

The combustion of biomass is a conversion technology based on the principle of transformation of chemical energy into thermal energy through a series of chemical reactions [7]-[15]. The use of technologies capable of diagnosing the heating process and the response time can help in understanding the process of conversion of energy stored in the biomass (fruit of the Brazil nut) up to the point of combustion. Biomass combustion is mainly used for heat production in small and medium scale units such as wood stoves, log wood boilers, pellet burners, automatic wood chip furnaces, and straw-fired furnaces [18]. The thermal gradient expressed as a gradient of colors indicates that the radiation in the infrared spectrum is proportional to the temperature of what is being measured [9]. It is important to emphasize that thermography allows for the identification of thermal responses from the energy emitted by the surface of the measured object and the transformation of this response into an image showing thermal gradients as captured by a thermographic camera [22].

In light of the extensive variety of technological resources and tools currently available, the objective of this work was to evaluate the spatial and temporal dy namics of the process of combustion of fruits of the Brazil nut tree (Bertholletia excelsa Bonpl.) using thermographic images in order to characterize the potential of this biomass as an energy source for use in ceramic kilns in the Amazon.

2. MATERIAL AND METHODS

The samples of Brazil nut fruits (Bertholletia excelsa Bonpl.) were collected at the beginning of the month of November, 2018, at Fazenda Aruanã (03˚00'30.63"S and 58˚45'50"W), altitude 150 m, located on the AM-010 highway, municipality of Itacoatiara, Amazonas, Brazil (Figure 1).

The material selected for the experiment was transported to the city of Manuas where it was submitted to a drying process to remove excess humidity. After drying, the samples with diameter varying between 10 to 15 cm were transported to a ceramic kiln in nearby Iranduba (03˚08'19.8"S and 60˚21'39.3"W), in order to conduct tests in kiln ovens at temperatures above 700˚C. These tests were conducted in order to quantify the time period that the fruits took to enter into combustion, and the entire process was monitored with an infrared thermographic camera, as shown in the image below.

The fruits were organized in two blocks, with one block having the fruit opening pointing upward and the other block with the opening facing downward. The fruits were placed in the oven, measuring the time needed for installation of the blocks in the front of the oven up to the initiation of combustion of a fruit. Subsequently, the samples were removed in order to conduct thermal imaging, which was also done on the external part of the oven with the objective of describing the process of heat conduction in the fruits.

The ovens are semi-continuous and of the type “paulistinha” (Figure 2(a) and Figure 2(b)). As a reference, the average temperature at the entry door of the oven was used, as this is the locale where materials to be burned are introduced for the process of brick burning (Figure 2(c) and Figure 2(d)).

In order to provide broader support to the experimental trials, georeferenced climate data for the area were used from [14] using only data from the state of Amazonas to spatially identify the region of Iranduba. Figure 3 shows that the Köppen climate type is Am3, indicating that during the least rainy month average rainfall is below 60 mm, and annual rainfall is between 2000 and 2500 mm. In this way, it is evident that the ceramic industry center of Iranduba has climate conditions that are propitious for growth of native Brazil nut stands in the Amazon.

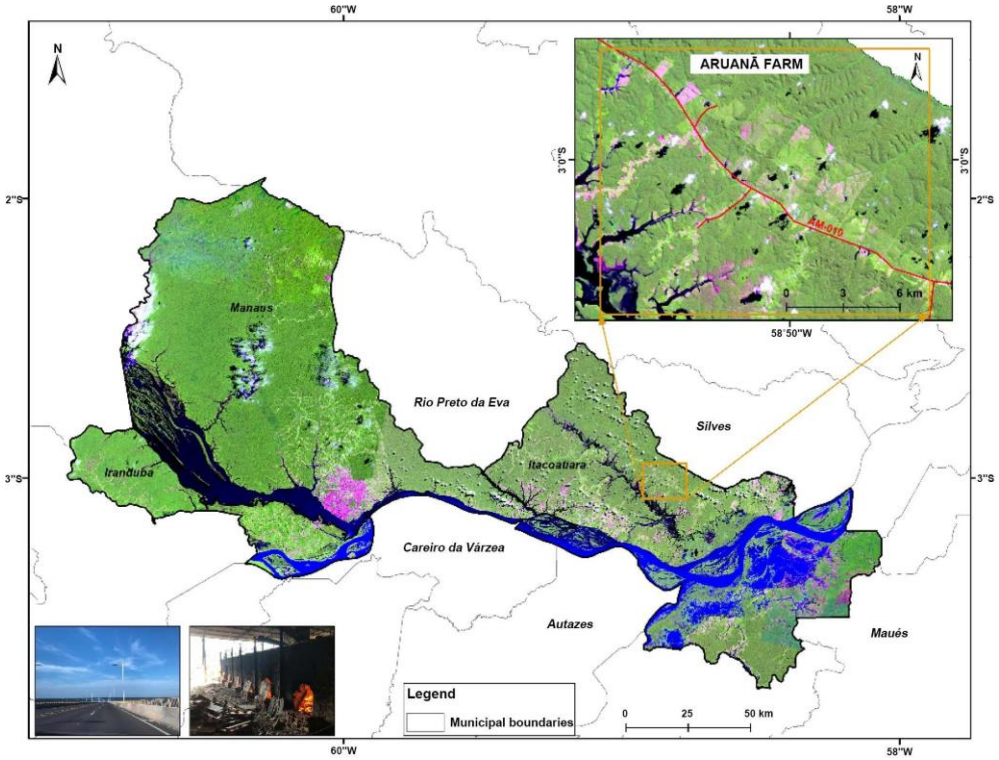


Figure 1. Image of location of Fazenda Aruanã situated on the east side of Highway AM-10 (Manaus-Itacoatiara, km 215). Source: Authors.

As Iranduba is near the metropolitan area of Manaus, climatological data provided by the National Meteorological Institute (INMET) were also used, and based on a historical series from 1961 to 1990 it was determined that the study area has a thermal regime with an annual average temperature of 26.7˚C, maximum of 31.4˚C and a minimum of 23.3˚C. With respect to the hydrological regime, annual average rainfall is 2307.4 mm, with the rainiest month of March having 335.4 mm e, and August, the least rainy month, with 47.3 mm, and average annual air relative humidity of 83.1% [6].

Climate data were also used from the automatic weather station of INMET at Manaus (latitude 03˚06'19"S and longitude 60˚00'49"W) to identify climate conditions on the day the

experiment was conducted (11/23/2018), which occurred between 15 h:00 min and 16 h:00 min, taking into consideration that the experimental site was under the influence of climate conditions that were prevalent within the range of measurement of the automatic weather station at Manaus.

Data collection was conducted through image capture using a thermographic infrared camera (FLIR T650sc), with a 25 mm fixed lens, and a temperature scale of 40˚C to 150˚C, and a thermal sensibility of 50 mK (<0.05˚C at an ambient temperature of 30˚C). The camera's spectral scale ranged from 0.7 to 100 μm, but the image targets presented a response between 0.7 and 3.0 μm and an optical resolution of 640 × 480 pixels with a maximum emissivity index of 0.95.

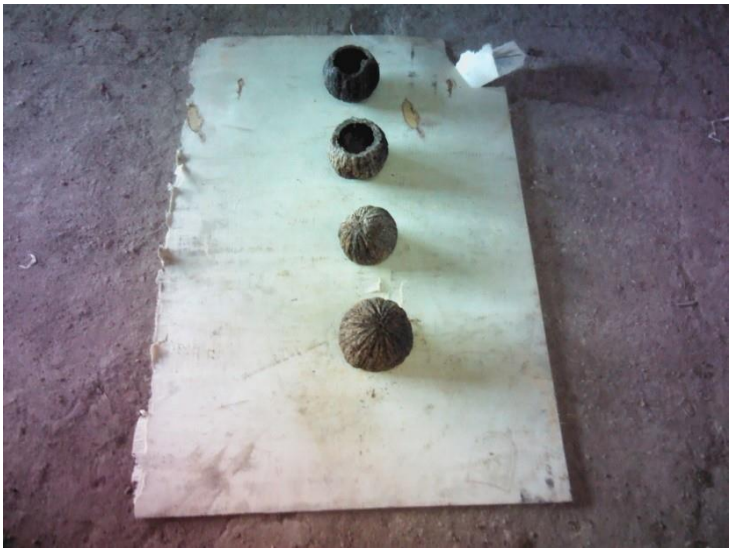


Figure 2. Chestnut hedgehogs from Brazil.

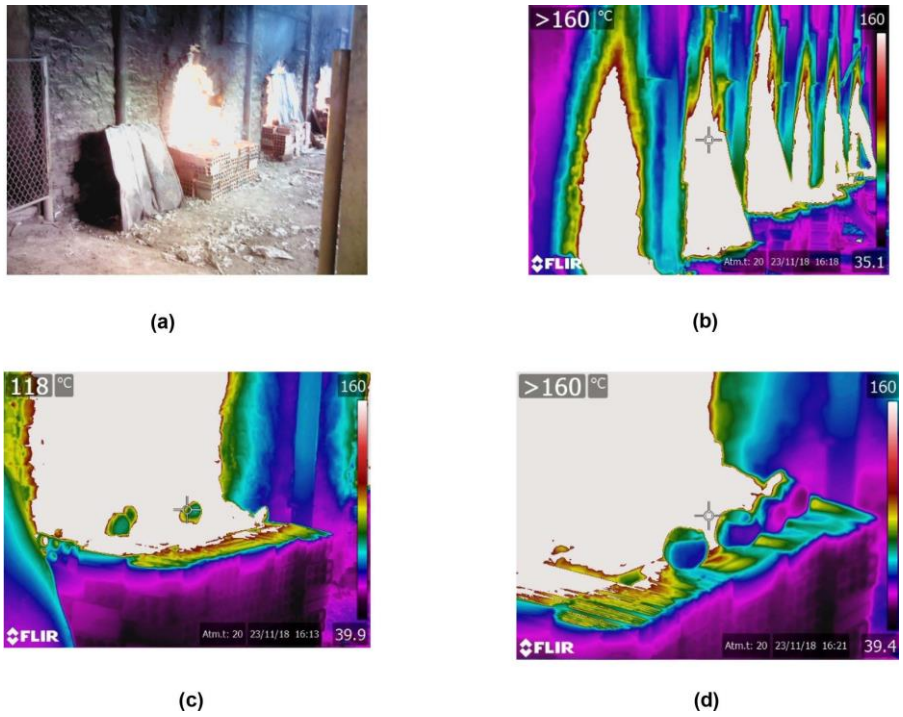


Figure 3. Brick kiln ovens at the ceramic industry center of Iranduba ((a) and (b)) and na example of the organization of the testing surfaces (fruits (c) and (d)).

Subsequently, the images were processed using the software Flir Tools, 6.3v [10], from which minimum, maximum, and amplitude thermal data were extracted.

The samples were distributed into four blocks, with two blocks having the fruit opening pointing upward and the other blocks with the opening facing downward, so that each block had at least one representative from each treatment group. For image treatment, the color palette was defined and categorized into thermal bands of white, red, yellow, green and blue. For evaluation of the thermal bands, five points were extracted from each image corresponding to each block, as shown in Figure 4.

The pattern of the thermal responses among the targets were statistically analyzed using the program BioEstat, version 5.3 [3], using Analysis of Variance (ANOVA). Furthermore, the functional relationship between the time necessary for the fruits to enter into combustion (the dependent variable (x)), and the thermal bands as the independent variable (y) was analyzed in order to verify whether the model can explain the process of heat conduction.

3. RESULTS AND DISCUSSION

The meteorological variables at the moment of the experimental trials of imaging the targets at the ceramic kiln showed that average air temperature was 24.8˚C and air relative humidity was 89.3%, and there was no rainfall during the experiment. The thermographic pattern of the fruits showed that the temperature represented by white was above 160˚C, for both treatments of fruits with openings pointed upward and downward. For the red pattern the maximum, minimum, and average temperatures were 135.3˚C, 122.0˚C and 128.5˚C, respectively. For the white and red patterns the fruits presented temperatures above 100˚C, indicating a greater concentration of heat in the center of the fruits. The samples extracted in the yellow pattern presented maximum values of 91.8˚C, a minimum of 84.8˚C and an average of 86.9˚C.

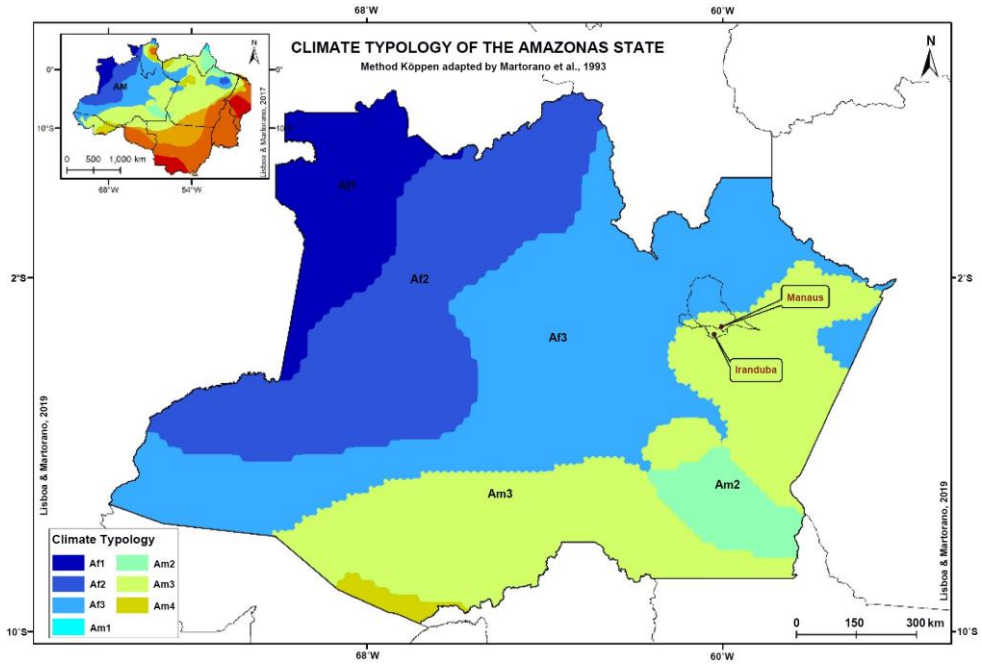


Figure 4. Köppen climate typology of the Legal Amazon adapted by Martorano et al. (1993), geodatabase used by Martorano et al. (2017).

In the areas represented by a green pattern the maximum thermal value was 75.0˚C, the minimum was 63.0˚C and the average was 67.0˚C. The hottest areas of the blue pattern were 45.0˚C, with a minimum of 41.0˚C, for an average of 44.0˚C. The isotherms that expressed heat conduction demonstrated that in the center of the fruits the high temperatures surpassed the thermal limit of the thermographic camera, and that there was differentiation in the imaged surfaces, which was shown by the coincidence of the isotherms. The higher thermal amplitudes attained values around 13˚C, demonstrating that the fruits have high potential for heat

conduction, because the values surpassed 120˚C. In areas on the periphery of the fruits the temperatures were above 40˚C, thus showing that the temperatures on the edges of the fruits were also very high (Figure 5).

Temperature elevation intensified during the interval between 3 to 5 minutes for both treatments of fruits with the openings upward and downward, and these initiated combustion after 5 min and 40 s and became completely incandescent when the material remained for 6 min and 30 s (Figure 6). The quickness of the combustion process of the fruits could be associated with their chemical composition which possess high lignin and cellulose contents [8] [9] [10] [11]. It is important to emphasize that for the block in which the fruits were with their openings pointed upward incandescence was more quickly reached.

The small variation between the block with their openings pointed downward could be related to a larger concentration of water vapor due to the difficulty of liberation of surrounding air in the process of heating the fruits. At t1 (1 min 30 s) the fruits reached an average temperature of 73.6˚C with a rapid heating, and at t2 (3 min 00 s) they reached average values of 118.0˚C. At t3 (4 min 00 s) the temperatures had an average of 120.0˚C which rapidly at t4 (5 min 00 s) had an average of 133.0˚C. At t6 (7 min 00 s) the fruits attained temperatures above 160.0˚C and entered into combustion (Figure 5(a) and Figure 5(b)). There was a 97% probability that the temperatures of the fruits could be estimated by a second order polynomial, wherein he inflection point obtained by the first derivative occurs at 7.2 minutes, with this representing the maximum incandescence time of the fruit (Figure 7).

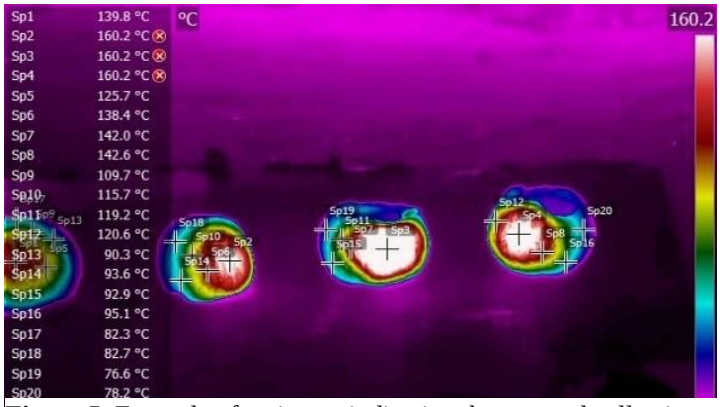


Figure 5. Example of an image indicating the targeted collection points on the fruits using Flir Tools.

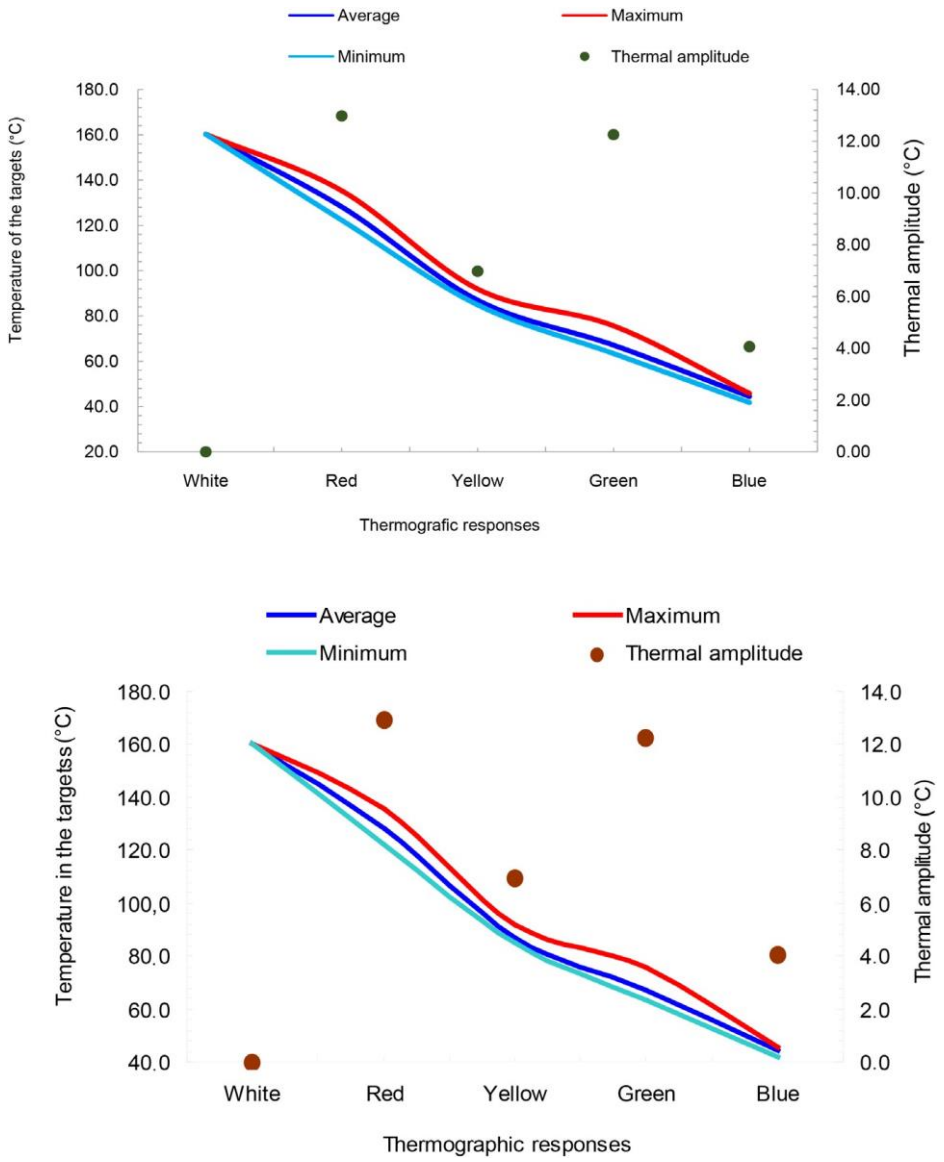


Figure 6. Thermographic diagnosis of heat conduction in fruits of the Brazil nut tree (Bertholletia excelsa Bonpl.).

It was also observed that the block of fruits that had the fruit openings upward went through a more rapid cooling process than the block that had the fruit openings downward. After 5 min 00 of removal from the oven, the average temperature of the fruits that had their openings downward was reduced to nearly 65.0˚C, while that of the block that had the fruit openings upward was 62.0˚C. This difference of 3.0˚C represents a point where a decision should be made during the process of organization of this biomass for placement in the ovens in order to guarantee a consistent supply of energy to the ovens and to further aggregate value to this material which is normally discarded in the forest by the harvesters. It is important to emphasize that this experiment with infrared thermography was conducted in order to aid with

subsequent tests that will be conducted in order to quantify the number of fruits necessary to guarantee uninterrupted functioning of the industrial ceramic plant in Iranduba.

The areas of natural occurrence of Bertholletia excelsa in the Amazon are concentrated in the states of Acre, Amazonas, Pará, Amapá, Rondônia, Roraima, Mato Grosso and Maranhão [23]. In the state of Amazonas the municipalities that are most important for Brazil nut production are Beruri, Humaitá and Lábrea [12], and this demonstrates the potential for biomass production for use in kiln ovens in the ceramic industry centers around the Manaus metropolitan region. Considering that a Brazil nut tree produces, on average, 236 fruits [13]-[24], and that each fruit possesses about on average 20 seeds [25], it is estimated that there is an annual production potential of 4720 seeds per tree. Also considering that the average weight of a seed is 6.0 g then the total weight of seeds produced per tree is 28.3 kg per harvest year. If average annual production is 40 thousand tons coming from 1,716,738 trees then potential biomass production would be 7 tons annually which could be used in the combustion process in the kiln ovens in the ceramic industry center of Iranduba near Manaus. Besides that, the Brazil nut can be considered a key species for combining conservation with development, as it is abundant in the Amazon region, harvested almost exclusively in natural forests, and due to the robust market demand, exploited by various communities in the short term and at low cost, in addition to the low environmental impact of the harvest [9]-[28].

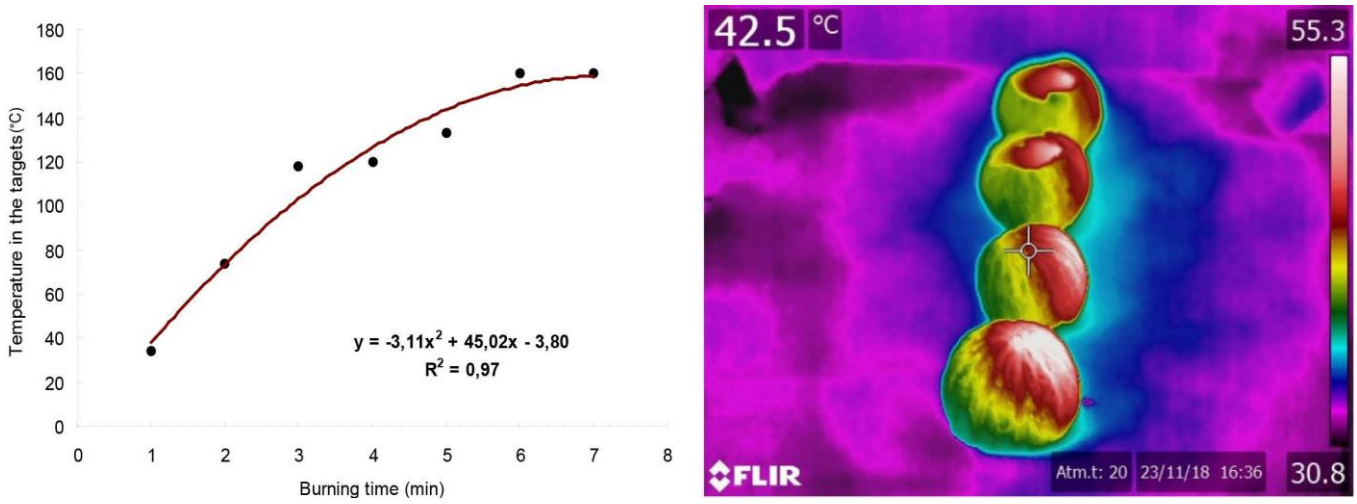


Figure 7. Second order polynomial model to estimate the average time of heat conduction in fruits of the Brazil nut tree (Bertholletia excelsa Bonpl.) as a strategy for use in kiln ovens in the ceramic industry center of Iranduba, Amazonas.

The high lignin and cellulose content of the fruits cause them to begin combustion in 7 minutes, and this result indicates that the use of this biomass represents a strategy to provide an

alternative fuel source for the ceramic kilns in the region, and further work and planning should be conducted to refine the estimates of the biomass volume needed on an annual basis.

4. CONCLUSION

Brazil nut fruits (Bertholletia excelsa Bonpl.) have a high potential for combustion, with a maximum time of 7.5 minutes. Using a second degree polynomial, combustion time was estimated for Brazil nut fruits as a strategy to aggregate value to this residual biomass that is normally discarded in harvests by agroextrativist communities. Thermal diagnosis allowed for quantification of the combustion time and identification of the bands of heat conduction in fruits, and these results can be used to aid in planning for the use of this residual biomass from non-wood forest products that is abundant in the Amazon. The advantage of using Brazil nut hedgehogs is very clear, as the combustion time is extremely fast compared to other Brazilian biomass. The biggest advantage of using chestnut hedgehogs as a fuel is to allocate an appropriate end without causing natural and environmental effects, in which they would be used for the production of coal, activated carbon, renewable fuels, among others, in addition to collaborating with the farming industry.

ACKNOWLEDGEMENTS

This research did not receive any specific grant from funding agencies in the public, commercial, or not-for-profit sectors. However, the authors thank EMBRAPA (MAPCAST Project), Rede BIONORTE and the Federal University of Amazonas (UFAM) for the scientific partnership in the doctoral research of the first and third authors, and the authors also thank the owner and collaborators of the Montemar Ceramic Company for their support during the field research.

CONFLICTS OF INTEREST

The authors declare no conflicts of interest regarding the publication of this paper.

REFERENCES

[1] Astolfi, F.S., Nunes-Silva, C.G. and Bigi, M.F.M.A. (2014) Bioprospecção e biotecnologia. Parcerias Estratégicas, 19, 45-80. http://seer.cgee.org.br/index.php/parcerias_estrategicas/article/view/732

[2] Auca, E.C., Silva Dionisio, L.F., Bardales-Lozano, R.M. and Schwartz, G. (2018) Propagation of Brazil Nut (Humb. y Bonpl) Seedlings Using Seeds in Mini-Greenhouses.

Revista Agro@mbiente On-Line, 12, 300-313. https://doi.org/10.18227/1982-8470ragro.v12i4.5222

[3] Ayres, M., Ayres, J.M., Ayres, D.L. and Santos, A.A.S. (2007) BioEstat: Aplicações estatísticas nas áreas das ciências biomédicas, Belém-Pará.

[4] Barbosa, M.A.M. and Moret, A.S. (2018) Ouriço da Castanha-do-Brasil. Diálogos Economia e Sociedade, 2, 45-54. http://dialogos.saolucas.edu.br/index.php/REDIAL/article/view/13

[5] Bayma, M.M.A., Sá, C.P., Fonseca, F.L. and Wadt, L.H. (2014) Aspectos da cadeia produtiva da castanha-do-brasil no estado do Acre, Brasil. Boletim do Museu Paraense Emilio Goeldi. Ciências Naturais, 9, 417-426. https://www.alice.cnptia.embrapa.br/handle/doc/996473

[6] BRASIL (1992) Departamento de Meteorologia. Normais climatológicas 1961-1990. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária, Rio de Janeiro. http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/normaisClimatologicas

[7] Cardoso, J.M. and João, J.J. (2019) Contextualization and Experimentation: An Interdisciplinary Approach of Chemistry and Physics Using Simulation Experiments of a Steam Engine. Revista Virtual de Química, 11, 339-352. https://doi.org/10.21577/1984-6835.20190024

[8] Carmona, I.N., Sampaio, J., Andrade, F.W.C., Júnior, C.D.C., Junior, S.M.O.M., Moreira, L.S. and Moutinho, V.H.P. (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, Florianópolis. https://proceedings.science/cbctem/papers/potencial-energetico-da-biomassa-e-car vao-vegetal-de-residuos-de-castanha-do-para-%28bertholletia-excelsa-bonpl.%29

[9] das Graças Souza, A. and e josé Smiderle, O. (2019) Nutrição na Produção e Qualidade de Mudas da Porca do Brasil (Bertholletia excelsa HBK) No Norte Do Brasil. Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável, 9.

[10] Eddy, A.L., Van, H.L.M. and Snyder, J.R. (2001) The Role of Thermographyin the Management of Equine Lameness. Veterinary of Journal, 162, 172-181. https://doi.org/10.1053/tvjl.2001.0618

[11] FLIR (2015) Manual da FLIR T650sc Systems 6.3v. Wilsonville.

[12] Freitas, J.B. and Naves, M.M.V. (2010) Composição química de nozes e sementes comestíveis e sua relação com a nutrição e saúde. Revista de Nutrição, 23, 269. https://doi.org/10.1590/S1415-52732010000200010

[13] IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística SIDRA (2013) Produção da extração vegetal e da silvicultura. Tabela 289: Quantidade produzida na extração vegetal, por tipo de produto extrativo. http://www.sidra.ibge.gov.br/bda

[14] Ivanov, G.B. (2011) Influência de variáveis dendrométricas, anatômicas e ambientais na produção de frutos e sementes de Bertholletia excelsa H.B.K. 96f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais), Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria. https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/8692/IVANOV%2C%20GUILHER ME%20BOEIRA.pdf?sequence=1&isAllowed=y

[15] Martorano, L.G., Vitorino, M.I., Caxias da Silva, B.P.P., Cabral de Moraes, J.R.S., Lisboa, L.S., Doff, S.E. and Reichardt, K. (2017) Climate Conditions in the Eastern Amazon: Rainfall

Variability in Belem and Indicative of Soil Water Deficit. African Journal of Agricultural Research, 21, 1801-1810. https://doi.org/10.5897/AJAR2016.11801

[16] Moutinho, V.H.P., Rocha, J.J.M., Amaral, E.P., Santana, L.G.M. and Aguiar, O.J.R. (2016) Propriedades Químicas e Energéticas de Madeiras Amazônicas do Segundo Ciclo de Corte. FLORAM. Revista Floresta e Ambiente, 1, 1-7. https://doi.org/10.1590/2179-8087.131715

[17] Moodley, R., Kindness, A. and Jonnalagadda, S.B. (2007) Elemental Composition and Chemical Characteristics of Five Edible Nuts (Almond, Brazil, Pecan, Macadamia and Walnut) Consumed in Southern Africa. Journal of Environmental Science and Health, Part B, 42, 585-591. https://doi.org/10.1080/03601230701391591

[18] Nogueira, R.M., Silva, J.S., Alvares, V.S., Ruffato, S. and Lopes, R.P. (2014) Physical Properties of Brazil Nuts. Engenharia Agrícola, 34, 963-971. https://doi.org/10.1590/S0100-69162014000500015

[19] Nussbaumer, T. (2003) Combustion and Co-Combustion of Biomass: Fundamentals, Technologies, and Primary Measures for Emission Reduction. Energy & Fuels, 17, 1510-1521. https://doi.org/10.1021/ef030031q
http://148.72.150.188/you/documents/biomass%20stoves/biomass%20gasification% 204.pdf

[20] Santana, A.C., Santana, A.L. and Santana, A.L.M. (2017) Valoração e sustentabilidade da castanha-do-brasil na Amazônia. Revista de Ciências Agrárias, 60, 77-89. https://doi.org/10.4322/rca.60101

[21] Wadt, L.H.O. and Kainer, K.A. (2009) Domesticação e melhoramento de castanheira. In: Borém, A., Lopes, M.T.G. and Clement, C.R., Eds., Domesticação e melhoramento: Espécies amazônicas, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Vol. 1, 301-321.

[22] Tonini, H. (2011) Fenologia da castanheira-do-brasil (Bertholletia excelsa Humb. & Bonpl., Lecythidaceae) no sul do estado de Roraima. Cerne, 17, 123-131. https://doi.org/10.1590/S0104-77602011000100015 https://doi.org/10.5902/1980509832128

[23] Santos, L.S.M., Lisboa, L.G., Moraes, L.S. and Da, S.C. (2015) Estimativa de rendimento potencial de castanha do Brasil em resposta a oferta pluvial anual na Amazônia. Seminário de Iniciação Científica, Seminário de Pós-Graduação da Embrapa Amazônia Oriental, Belém.

[24] Trazzi, P.A., Higa, A.R., Dieckow, J., Mangrich, A.S. and Higa, R.C.R. (2018) Biocarvão: Realidade e potencial de uso no meio florestal. Ciência Florestal, 28, 875.

[25] Wadt, L.H.O., Kainer, K.A. and Gomes-Silva, D.A.P. (2005) Population Structure and Nut Yield of a Bertholletia excelsa Stand in Southwestern Amazonia. Forest Ecology and Management, 211, 371-384. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2005.02.061 [26] Ziproudina, N., Ming, Z. and Hänninen, O.O.P. (2006) Plantar Infrared Thermo-graphy Measurements and Low Back Pain Intensity. Journal of Manipulative and Physiological Therapeutic, 29, 219-223. https://doi.org/10.1016/j.jmpt.2006.01.003

[27] Zuidema, P.A. and Boot, R.G.A. (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, 1-31. https://doi.org/10.1017/S0266467402002018

[28] Zuidema, P.A. (2003) Demography and Management of the Brazil Nut Tree (Bertholletia excelsa) PROMAB, 111. Riberalta, Bolivia.

2.3 CAPÍTULO 3

Produção de carvão ativado através de resíduos da Castanheira-do-Brasil (*Bertholletia excelsa* Bonpl.) voltados na solução para o tratamento de águas [11]

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.

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_rabello98@hotmail.com
Jamal da Silva Chaar
ORCID: https://orcid.org/0000-0003-2697-0278
Universidade Federal do Amazonas, Brasil
E-mail: jchaar@gmail.com

[11] Este artigo segue as normas de publicação da revista *"Research Society and Development". Qualis Capes A3*, na qual foi publicado.
Disponível em: https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/34482

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 antídotos 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 castaño, la tasa de pérdida de masa fue del 5,21% relacionada con la absorción de agua, muy inferior a la de la cáscara de castaño, lo que lo hace visible en la producción de carbón y para consumo en cualquier otro ramo.
Palabras-llave: 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, fotocatálise 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 grafítica, 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

Fonte: Autor.

As amostras passaram por um tratamento térmico, em uma estufa à temperatura de ≅ 105 ºC 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 ºC por 1 hora e 300 ºC 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 Kα = 0,15406 nm) em faixa de 2θ 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 perca 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: Autor.

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 – Nº888 04 MAIO/2021 do Ministério da Saúde.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

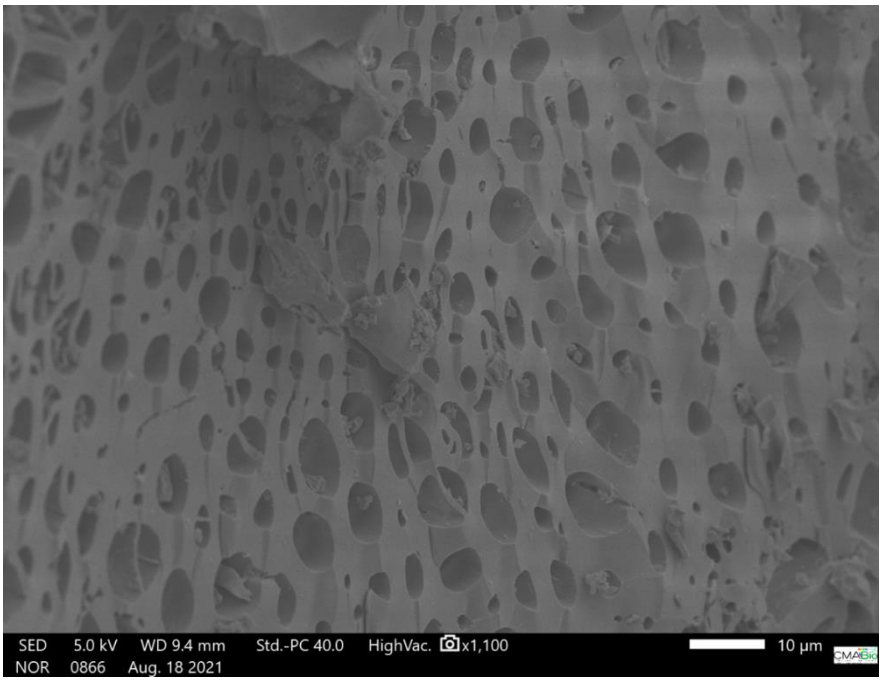
3.1 MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA (MEV)

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.

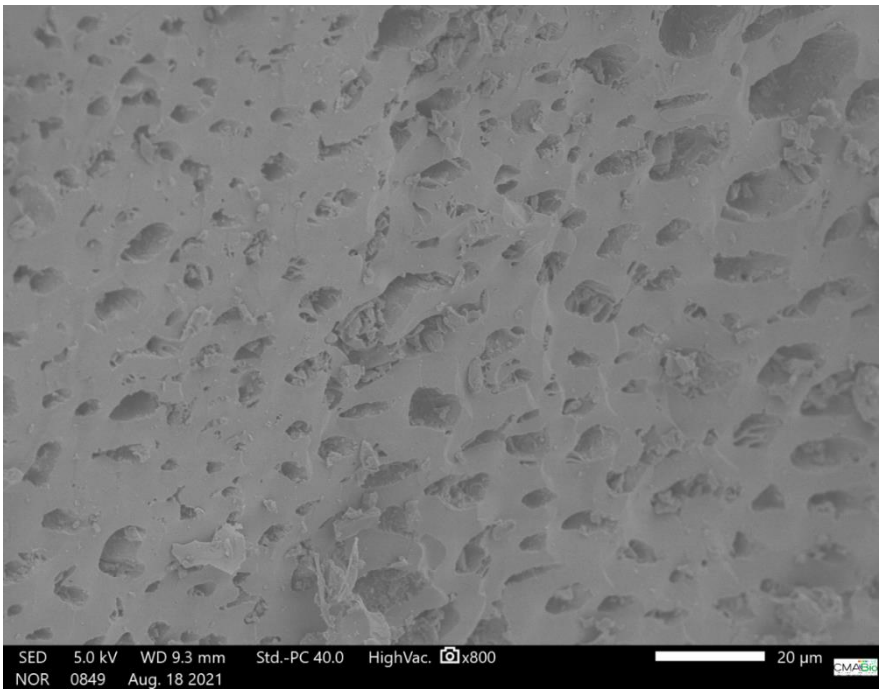
De acordo com as Figuras 3 e 4 verificou-se nas amostras de OC1 e CC1 a presença de estruturas porosas em forma homogênea nas duas amostras, sendo mais evidente na amostra OC1 a evolução dos poros com diâmetros em torno de 4 – 12 *nm.*

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



Fonte: Autor.

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



Fonte: Autor.

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.

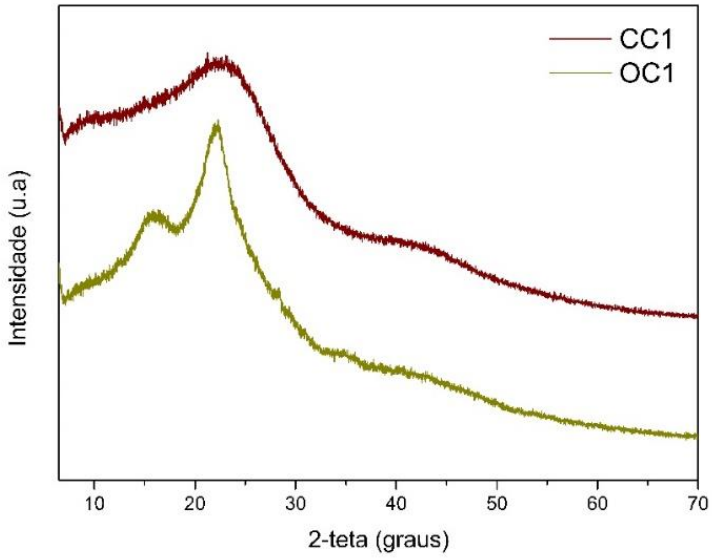
De acordo com Claudino (2003), o processo de ativação e a pirólise definem a estrutura, quantidade e distribuição dos poros dos diferentes tamanhos no carvão ativado (Figura 4). Conforme a classificação da União Internacional de Química Pura e Aplicada – IUPAC, os tamanhos dos poros são expressos em microporos (2 *nm*); mesoporos (2 – 50 *nm*) e macroporos (> 50 *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 *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 15-30º são relativos a carbonos amorfos ou grafite turbostrática conforme os estudos de (Sivadas, 2016).

Figura 5 - Difratogramas das amostras de CC1 e OC1.



Fonte: Autor.

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 15-30º 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

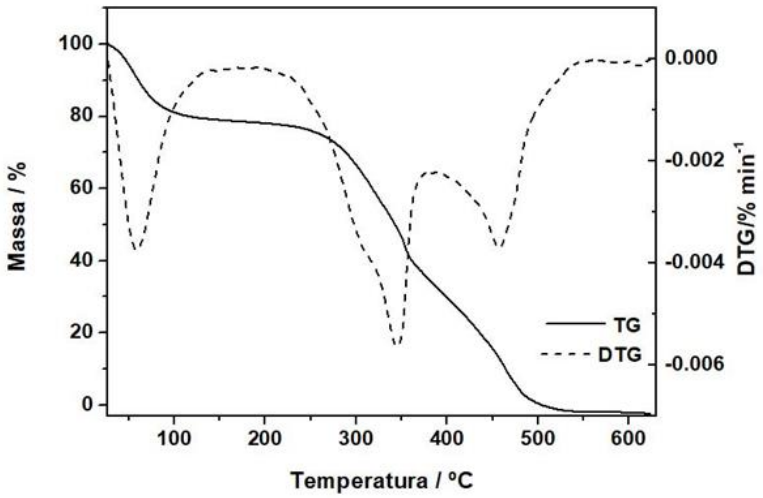
A reação térmica dos resíduos da castanheira do Brasil foi examinada utilizando curvas termogravimétricas (TG-DTG). A curva TG evidenciam mudança de massa de acordo com a variação de temperatura e a curva DTG mostra taxas de perda de massa em função da temperatura. As curvas TG e DTG foram usadas para 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 ºC 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 ºC, 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 ºC e se relaciona com a decomposição da lignina, geralmente denominado de combustão do carbono fixo. A queima completa desta respectiva amostra, não excedeu 600 ºC, visualizadas nas DTG das amostras (Figuras 6 e 7).

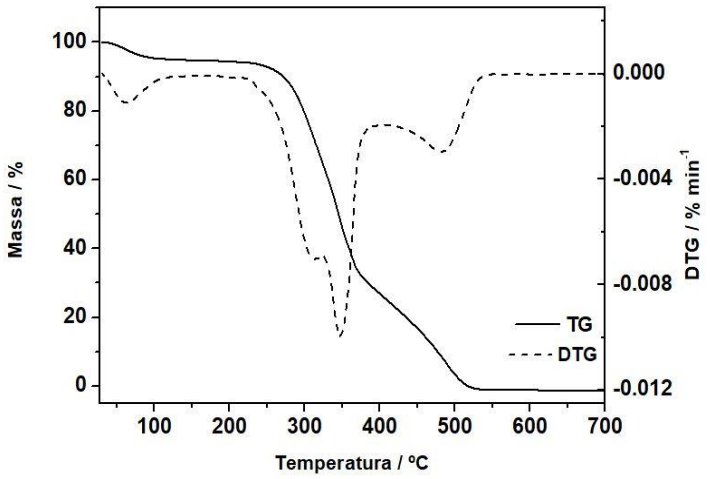
A amostra OC1 (Figura 6), apresentou um padrão de queima diferente da amostra de CC1 (Figura 7) e da citada aqui na literatura, mas ainda assim apresentam três picos de perdas de massa, como todo o material lignocelulósico. O primeiro pico ocorre entre 31.27 e 150.06 ºC que se relaciona a perda de umidade ou a adsorção de água presente na amostra. O segundo pico ocorreu em 157.54 e 400.52 ºC, 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 ºC. A partir de 590 ºC evidencia-se a queima completa do material, sobrando apenas cinzas inorgânicas a partir desta temperatura.

Figura 6 - TG – DTG / (OC1)



Fonte: Autor.

Figura 7 - TG – DTG / (OC1).



Fonte: Autor.

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 170º 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 ºC) apontou principalmente que a amostra de resíduos de biomassa perdeu umidade superficial, o segundo pico de 200–400 ºC 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 ºC, 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 ºC e está atribuída à umidade, enquanto a segunda perda de massa foi de 166-372 ºC 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	ºC	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: autor.

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/Lque 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 obsevado,e consequentemente, 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. doi: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*. doi: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. doi:https://doi.org/10.1007/s13201-020-1149-8

Auca, E. C. (2018). Propagação de Mudas de Castanha-do-Pará (Humb. And Bonpl) utilizando sementes em miniestufas. *Revista Online Agro@mbiente, 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. doi: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. doi: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. doi: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. doi: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*. Acesso em 20 de Abril de 2022, disponível em IBGE: 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. doi: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. doi: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. doi: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 Corbetura 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 Ieté - 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, imd economic botany of the Brazil nut (Bertho/letia 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. doi: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. doi:https://doi.org/10.1007/s10973-015-5117-8

Reis, J. S., Araujo, R. O., Lima, V. M., Queiroz, L. S., Costa, C. E., Pardauil, 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. doi: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 . doi: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. doi: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. doi: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. doi: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. doi: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. doi: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. doi: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. doi: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. doi: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. doi:https://doi.org/10.1017/S0266467402002018

2.4 CAPÍTULO 4

ESTUDO DE VIABILIDADE ECONÔMICA DA PRODUÇÃO DE CARVÃO ATIVADO COM RESÍDUOS DE OURIÇO DA CASTANHA-DO-BRASIL (*Bertholletia excelsa*) [12]

RESUMO

Introdução: O carvão ativado é uma substância porosa de material orgânico, geralmente material lenhoso e fibroso. As matérias-primas usadas para obtenção do carvão são quase exclusivamente de origem vegetal, possuindo alto poder de carbono. O estudo consiste em pesquisar o uso do ouriço de castanha-do-brasil como matéria-prima na produção de carvão ativado.

Originalidade/Relevância: Neste estudo, os resultados da análise da viabilidade econômica do uso do carvão ativado produzido com resíduos da castanha-do-brasil da região Amazônica, visa gerar benefícios econômicos e reduzir possíveis danos ambientais.

Metodologia: O estudo foi desenvolvido a partir de simulação da implantação de uma Unidade Fabril na Fazenda Aruanã, local de estudo de caso, acerca de 215 km da cidade Manaus-AM, com base em seus dados e fontes da internet.

Resultados: Os índices financeiros, resultantes das simulações de três cenários de produção de carvão ativado com resíduos obtidos do ouriço, indicam que seria inviável sua implantação para utilizar apenas os resíduos dos ouriços das atuais árvores de castanheiras produtivas na Fazenda, mas que seria viável a partir de 540.890 castanheiras produtivas na Fazenda e de outras fontes.

Conclusão: É viável economicamente a implantação de uma Unidade Fabril na Fazenda com um tamanho mínimo possível e para mantê-la produzindo o ano inteiro seria necessário buscar o suprimento de ouriços de outras fontes e em quantidade bem superior à capacidade de produção da Fazenda.

Palavra-chave: Carvão Ativado. Resíduo. Ouriço. Viabilidade Econômica.

ECONOMIC FEASIBILITY STUDY OF ACTIVATED COAL PRODUCTION WITH BRAZIL CHESTNUT HEDGEHOG (*Bertholletia excelsa*) WASTE

ABSTRACT

Introduction: Activated carbon is a porous substance of organic material, usually woody and fibrous material. The raw materials used to obtain charcoal are almost exclusively of vegetable origin, having a high carbon content. The study consists of researching the use of the Brazil nut hedgehog as a raw material in the production of activated carbon.

[12]Este artigo segue submetido de acordo com as normas de publicação da revista *"Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade". Qualis Capes A3.*

Originality/Relevance: In this study, the results of the analysis of the economic viability of the use of activated carbon produced with residues of Brazil nut from the Amazon region, aims to generate economic benefits and reduce possible environmental damage.

Methodology: The study was developed from a simulation of the implementation of a Manufacturing Unit at Fazenda Aruanã, a case study site, about 215 km from the city of Manaus-AM, based on its data and internet sources.

Results: The financial indices, resulting from the simulations of three scenarios of production of activated carbon with residues obtained from the hedgehog, indicate that it would be unfeasible to implement it to use only the residues of the hedgehogs of the current productive chestnut trees on the Farm, but that it would be feasible to from 540,890 productive chestnut trees on the farm and from other sources.

Conclusion: It is economically viable to implement a Manufacturing Unit on the Farm with the minimum possible size and to keep it producing the whole year it would be necessary to seek the supply of urchins from other sources and in a quantity well above the production capacity of the Farm.

Keyword: Activated Charcoal. Residue. Urchin. Economic viability.

ESTUDIO DE FACTIBILIDAD ECONÓMICA DE LA PRODUCCIÓN DE CARBÓN ACTIVADO CON RESIDUOS DE ERIZO DEL CASTAÑO DEL BRASIL (*Bertholletia excelsa*)

RESUMEN

Introducción: El carbón activado es una sustancia porosa de material orgánico, generalmente material leñoso y fibroso. Las materias primas utilizadas para la obtención del carbón vegetal son casi exclusivamente de origen vegetal, con un alto contenido en carbono. El estudio consiste en investigar el uso del erizo de nuez de Brasil como materia prima en la producción de carbón activado.

Originalidad/Relevancia: Los resultados del análisis de la viabilidad económica del uso de carbón activado producido con residuos de castaña de la región amazónica, tiene como objetivo generar beneficios económicos y reducir posibles daños ambientales.

Metodología: El estudio se desarrolló a partir de una simulación de la implantación de una Unidad de Fabricación en la Fazenda Aruanã, local del estudio de caso, a unos 215 km de la ciudad de Manaus-AM, a partir de sus datos y fuentes de internet.

Resultados: Los índices económicos, resultantes de las simulaciones de tres escenarios de producción de carbón activado con residuos obtenidos del erizo, indican que sería inviable implementarlo para utilizar únicamente los residuos de los erizos de los castaños productivos actuales en la Finca, pero que sería factible partir de 540.890 castaños productivos de la finca y de otras procedencias.

Conclusión: Es económicamente viable implementar una Unidad de Fabricación en la Granja con el mínimo tamaño posible y para mantenerla produciendo todo el año sería necesario buscar

el abastecimiento de erizos de otras fuentes y en cantidad muy por encima de la capacidad de producción de la granja.

Palabra clave: carbón activado. Residuo. Pilluelo. Viabilidad económica.

1. INTRODUÇÃO

A castanha-do-brasil (*Bertholletia excelsa*) é um produto extrativista e contribui com a renda das comunidades amazônicas. Desde 1920, com o declínio da borracha extrativa (*Hevea brasiliensis*), a amêndoa tornou-se o principal item extrativista de exportação da região Amazônica, com grande demanda nos mercados nacionais e internacionais, que vai além do mercado alimentício. A amêndoa faz parte da matéria-prima usada pela indústria de fármacos e cosméticos, entre outras (SANTOS, 1980; SILVA *et al*, 2017).

A grande maioria das comunidades extrativistas da castanha-do-brasil é pequena, encravada no interior da floresta, realizando diariamente essa atividade com baixo impacto ambiental, o que faz dessas comunidades um importante segmento capaz de contribuir de forma decisiva para conservação e manutenção dos recursos naturais da região amazônica (SILVA *et al*, 2017).

Todavia com o consumo crescente da castanha, tanto no mercado nacional quanto no externo, tem sido crescente o surgimento de fazendas para seu plantio organizado em áreas e escalas cada vez maiores. A consequência é que o ouriço que acondiciona a castanha-do-brasil tem se tornado uma fonte de grande volume de resíduos, que não tem um destino definido e ambientalmente adequado após a extração do fruto. Além disso, o acúmulo desses resíduos, em grande parte, ocorre em lugares a esmo e úmidos que podem trazer riscos à saúde das pessoas que trabalham diretamente com a extração da castanha.

Uma possibilidade para o aproveitamento desses resíduos é a produção de carvão ativado, um material que tem alta capacidade de adsorção, possibilitando sua utilização na recuperação de produtos químicos, na remoção de compostos orgânicos e metais, na remoção de contaminantes presentes em meio aquoso, suporte para catalisadores, processos de tratamento de água, entre outros (REZA *et al.*, 2020; GHASEMI *et al.*, 2016; NOBRE *et al.*, 2015). Desse modo, os resíduos passam do estado de elementos descartados na natureza, sem valor econômico e de poluente, para a de produção de matéria-prima de coprodutos que são a essência da ideia de sustentabilidade do mundo atual.

Este estudo tem como finalidade apresentar a análise da viabilidade econômica da produção do carvão ativado, manufaturado com resíduos do ouriço da castanha-do-brasil, para contribuir com a geração de riqueza e mitigar problemas socioambientais. Para analisar os resultados dos índices financeiros, a fim de verificar a viabilidade econômica da produção do carvão ativado, foi elaborado, com simulação, um projeto industrial com dados fornecidos pela Fazenda Aruanã e de dados obtidos pela internet de fontes relacionadas à fabricação no mercado nacional de carvão ativado com matérias primas diversas.

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1 RESÍDUOS DA CASTANHA-DO-BRASIL (*BERTHOLLETIA EXCELSA*) NA PRODUÇÃO DE CARVÃO ATIVADO

Os resíduos agrícolas são uma fonte rica para a produção de carvão ativado devido ao seu baixo teor de cinzas e durabilidade (BHATNAGAR; SILLANPAA, 2010). Os resíduos gerados ao longo do processo de colheita estão disponíveis em abundância a preço desprezível. Assim, incorporá-los em processo de tratamento de soluções aquosas é uma alternativa viável e de baixo custo (JAIN *et al*, 2009). O ouriço da castanha-do-brasil torna-se assim um resíduo com grande potencial de matéria-prima para a produção de carvão ativado.

A Amazônia é caracterizada por uma grande diversidade de espécies que produzem resíduos ainda não estudados quanto ao seu aproveitamento industrial. Produtos como Casca de Cupuaçu, Açaí e Ouriço da castanha-do-brasil podem originar carvão ativado com alta qualidade, bom rendimento e baixo custo, substituindo os adsorventes químicos atualmente utilizados pelas indústrias (CRUZ JUNIOR, 2010).

A produção do carvão geralmente é realizada a partir da combustão controlada (temperatura de 600 a 800 °C e com baixo teor de oxigênio), seguida de ativação química ou térmica. A capacidade de adsorção do carvão ativado depende de características como distribuição e tamanho dos poros, área superficial, pH do meio, solubilidade, polaridade, grupamentos funcionais superficiais, presença de outros íons no meio. Essas características, por sua vez, dependem do processo de fabricação, da superfície interna do produto final, bem como, da matéria-prima utilizada para a fabricação do carvão (BANSAL; GOYA, 2005; PEREIRA *et al.*, 2008; GUPTA *et al.*, 2012a).

2.2 PROBLEMAS AMBIENTAIS DECORRENTES DE RESÍDUOS SÓLIDOS

As questões ambientais tornaram-se foco em debates e pesquisas a fim de elevar a conscientização da sociedade como um todo. Devido à necessidade de se tomar medidas que controlem a degradação dos ecossistemas e recursos naturais. A preservação deve ser considerada prioridade por parte das empresas e da população, para que se alcance o desenvolvimento sustentável, diminuindo os danos causados pelo consumo irresponsável e pela destinação inadequada dos resíduos sólidos (NASCIMENTO, 2015).

A gestão ambiental deve visar ao uso de práticas que garantam a conservação e preservação do meio ambiente, o reaproveitamento e reciclagem das matérias-primas e a redução do impacto ambiental das atividades humanas sobre os recursos naturais. Fazem parte também técnicas para a recuperação de áreas degradadas, técnicas de reflorestamento, métodos para a exploração sustentável de recursos naturais, e o estudo de riscos e impactos ambientais para a avaliação de novos empreendimentos ou ampliação de atividades produtivas (NASCIMENTO, 2015).

São inúmeros os fatores que agravam as crises ambientais enfrentadas hoje em dia, o descarte incorreto de resíduos industriais por exemplo, onde até mesmo resíduos altamente prejudiciais à natureza e à saúde são descartados em solos e recursos hídricos sem ao menos ter tido tratamento prévio, o que acarreta sérios danos ao meio ambiente e em muitos dos casos irreversíveis. Em relação a castanha-do-brasil, foi identificada a alta exploração deste bioma de forma desenfreada durante anos e intensificou a poluição dos rios e espaços da região, contribuindo para a degradação desse ecossistema (SILVA *et al*, 2017).

Em suma, o carvão ativado produzido com resíduos do ouriço de castanha do brasil, mesmo que ainda em estudo, pode ser usado como uma possibilidade de riqueza para os extrativistas da castanha-do-brasil e para a mitigação de problemas ambientais decorrentes.

3. METODOLOGIA

3.1 PRODUÇÃO DO CARVÃO ATIVADO COM RESÍDUOS DO OURIÇO DE CASTANHA-DO-BRASIL

O procedimento técnico da pesquisa consistiu na simulação da utilização de resíduos do ouriço na produção de carvão ativado, tendo como principal fonte de dados o estudo de caso unitário da Fazenda Aruanã (03°00'30.63"S 58°45'50"W), altitude de 150 m, localizada na rodovia AM-010, município de Itacoatiara, Amazonas, Brasil. A Fazenda possui área de 12.000 (doze mil) hectares, com 1.300.000 (um milhão e trezentas mil) árvores, é a maior plantação de castanha-do-brasil (*Bertholletia excelsa* Bonpl.) existente, pioneira no Brasil e no mundo.

As amostras de ouriços passaram por tratamento térmico, sendo secado em uma estufa a temperatura de ≅ 105 ºC por 3 horas. Após a secagem, as amostras foram carbonizadas em um forno elétrico do tipo mufla modelo EDG 3000 10P a temperatura 280 ºC por 1 hora e 300 ºC por 1 hora, essas etapas foram feitas 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 e análise termogravimétrica.

Concluiu-se com esses testes ser possível produzir com cada ouriço em média ≈ 4g de carvão ativado. Assim, para os estudos de viabilidade econômica nesta pesquisa será considerada a produção média de 4g por ouriço de castanha, por representar a maior frequência nos resultados dos testes.

3.2 ESTUDO DE VIABILIDADE ECONÔMICA: ÍNDICES FINANCEIROS

Os índices financeiros escolhidos para avaliar a viabilidade de uma pequena indústria para a fabricação de carvão ativado na Fazendo Aruanã são: Valor Presente Líquido (VPL), Valor Anual Equivalente (VAE), Razão Benefício/Custo (B/C), Lucratividade., Ponto de Equilíbrio (PE), Tempo de Retorno do Investimento (*Payback)* e Taxa Interna de Retorno (TIR).

O VPL é definido como a diferença positiva entre receitas e custos, atualizados por uma determinada taxa de desconto. Para um projeto ser viável, o valor encontrado para esse critério deve ser maior que zero (REZENDE; OLIVEIRA, 2008). Para o cálculo do VPL, considera-se a Equação 1, a seguir:

$$VPL = \sum_{j=0}^{n} R_j(1+i)^{-j} = \sum_{j=0}^{n} C_j(1+i)^{-j} \quad \textbf{Eq.1}$$

Em que: R_j = receitas no período *j*, em R$; C_j = custos no período *j*, em R$; *i* = taxa de desconto (% ao ano); *j* = período de ocorrência de R_j e C_j, ano; *n* = duração do projeto, em anos.

O VAE transforma o valor atual do projeto em um fluxo de receitas ou custos periódicos e contínuos. Valores positivos para esse critério indicam a viabilidade do projeto, sendo que o projeto é tanto mais viável quanto maior for o VAE (REZENDE; OLIVEIRA,2008). Com o período de capitalização anual, para o cálculo do VAE, considera-se a Equação 2, a seguir:

$$VAE = \frac{VPL\ (i)}{[1-(1+i)^{-n}]} \quad \textbf{Eq.2}$$

Em que: VPL = valor presente líquido, em R$; *n* = duração do projeto, em anos; *i* = taxa de desconto (% ao ano).

A razão benefício-custo (B/C) é obtida pela razão entre o valor presente dos benefícios e o valor presente dos custos para uma dada taxa de desconto. A viabilidade do projeto é verificada quando o resultado é maior que 1 (REZENDE; OLIVEIRA, 2008). Para o cálculo do B/C, considera-se a Equação 3, a seguir:

$$B/C = \frac{\sum_{j=0}^{n} R_j(1+i)^{-j}}{\sum_{j=0}^{n} C_j\ (1+i)^{-j}} \quad \textbf{Eq.3}$$

Em que: R_j = receita no final do ano *j*, em R$; C_j = custo no final do ano *j* em R$; *i* = taxa de desconto (% ao ano); *n* = duração do projeto, em anos.

A lucratividade é um índice que demonstra a eficiência operacional de um negócio. É expressa como um valor percentual que indica a proporção de ganhos de um negócio (REZENDE; OLIVEIRA, 2008). Para o cálculo da Lucratividade considera-se a Equação 4, a seguir:

$$Luratividade = \frac{Lucro\ Líquido}{Receita\ Total}\ x\ 100 \quad \textbf{Eq.4}$$

O Ponto de Equilíbrio, também conhecido como Ponto de Ruptura ou Ponto de Nivelamento, nasce da conjugação dos custos totais com as receitas totais. Neste contexto, os custos e despesas fixas seriam totalmente absorvidos para que, a partir daí, a empresa possa

iniciar seu retorno do investimento com a obtenção de lucro (ZAGO *et al.*, 2005). Para o cálculo do Ponto de Equilíbrio, considera-se a Equação 5, a seguir:

$$PE = CF \,/\, MC \quad \textbf{Eq.5}$$

Em que: PE = Ponto de Equilíbrio; CF = Custo Fixo; MC = Margem de Contribuição.

O período de *payback* é o tempo necessário para que a empresa recupere o investimento inicial em um projeto, calculado a partir das entradas de caixa. No caso de uma anuidade, o período de *payback* pode ser encontrado dividindo-se o investimento inicial pela entrada de caixa anual. No caso de uma série mista de entradas de caixa, as entradas de caixa anuais precisam ser acumuladas até a recuperação do investimento inicial (GITMAN, 2010). Para o cálculo do Payback considera-se a Equação 6, a seguir:

$$Payback = \frac{Valor\ do\ Investimento}{Fluxo\ de\ Caixa} \quad \textbf{Eq.6}$$

A Taxa Interna de Retorno (TIR) é a taxa que "zera" o fluxo de caixa num determinado período, isto e, prefixando-se um fluxo de investimentos, um fluxo de receitas e um período "n", a TIR e definida quando o VPL e igual a zero. O valor encontrado (TIR) e comparado com a Taxa Mínima de Atratividade (TMA) e, se ela for maior que a TMA significa que o investimento é rentável (VERGARA *et al.*, 2017). A TIR pode ser calculada por meio da Equação 7 a seguir:

$$I_0 + \sum_{t=1}^{n} \frac{I_t}{(1+K)^t} = \sum_{t=1}^{n} \frac{FC_t}{(1+K)^t} \quad \textbf{Eq.7}$$

Em que: I_0 = montante do investimento no momento zero (início do projeto); I_t = montantes previstos de investimento em cada momento subsequente; K = taxa interna de retorno (TIR); n = número de períodos de avaliação; FC_t = fluxos previstos de entradas de caixa em cada período de vida do projeto (benefícios de caixa), t = 1, 2, n.

3.3 CENÁRIOS E ESTUDO DE VIABILIDADE ECONÔMICA DA UNIDADE FABRIL DE CARVÃO ATIVADO

Para o estudo de viabilidade econômica, considerou-se um horizonte de tempo de 5 anos para o projeto, com taxa mínima de atratividade (TMA) de 25% ao ano, tendo como base a taxa Selic de 13,25% ao ano em junho de 2022 (BANCO CENTRAL DO BRASIL, 2022), mais

uma taxa de risco de 11,75% ao ano. Foi considerada a produção de 4g de carvão ativado por ouriço de castanha, conforme testes em laboratório como atividade desta pesquisa.

A Fazenda Aruanã estima uma perda de aproximadamente 5% de ouriços produzidos pelas suas castanheiras, pois ocorre uma contaminação por fungos e umidade, não servindo esses ouriços para produzir o carvão ativado. Para a estimativa da produção do carvão ativado da Tabela 1, foi considerada a produção média de 29 ouriços por castanheira (SEBRAE, 2016; CYMERYS *et al*., 2005).

Com base nessas informações, na Tabela 1 constam os dados estimados da produção de carvão ativado, considerando-se o processamento de ouriços de castanha: i. produzidos pelas árvores atualmente produtivas na Fazenda Aruanã; ii. produzidos pelo total de árvores plantadas da Fazenda Aruanã; e iii. pela capacidade de produção anual de carvão ativado da Unidade Fabril nos 264 dias possíveis.

Considerando-se a estrutura produtiva mínima instalada da Unidade Fabril e por conseguinte a batelada - que é a quantidade possível de se produzir por lote - estimou-se a produção diária de 1.000 kg de carvão ativado. Na tabela 1 a produção de quilogramas de carvão ativado foi estimada considerando-se a média 4g por ouriço de castanha-do-brasil.

Tabela 1. Castanheiras, batelada, produção de ouriço e carvão ativado.

Número de castanheiras/batelada	**Processamento de ouriço/Unid.**	**Produção de carvão/kg**
200.000 castanheiras produtivas	5.510.000	22.040
1.300.000 castanheiras plantadas	35.815.000	143.260
Batelada (Processamento anual possível de ouriço)	66.000.000	264.000

Fonte: autores

Os dados para a simulação da viabilidade econômica foram obtidos com base nos dados de produção de ouriço da Fazenda Aruanã e calculou-se os dados da Unidade Fabril pela média dos dados extraídos pela internet de diversas fontes (empreendimentos), cuja pesquisa ocorreu entre dezembro de 2021 e janeiro de 2022, relacionadas à produção de carvão ativado: Cobasi, Glasslab, Beckins Filtros Industriais, Tecnocarbo Carvões Ativados, Águas Claras, Via Filtros – Sistema Filtrante, Fusati, Europa, Snatural, Sebrae, Instituto Soka Amazônia, WWF, NaturalTec.

Foi utilizada uma planilha Excel aplicada na elaboração de projetos industriais, para a simulação de análise de viabilidade econômica de uma Planta de tamanho mínimo possível,

para a fabricação de carvão ativado, empregando como matéria-prima o ouriço de castanha-do-brasil. Na planilha foram inseridos dados que compuseram a estrutura de Receita e Despesas do Projeto, estimados para um horizonte de cinco anos. Algumas das principais rubricas consideradas na planilha foram: Móveis e Utensílios, Bens de Capital, Investimento Fixo, Produção, Material, Mão de Obra Direta e Indireta, Benefícios Sociais e Capacitação de Recursos Humanos.

Foram considerados três cenários. O investimento para cada um desses cenários foi calculado pela soma dos Investimentos Fixos = R$ 432.678,04, igual para os três cenários: galpão, máquinas e equipamentos, instalações industriais etc., mais o Capital de Giro correspondente a cada ano. Para o cenário 1, o investimento total foi estimado em R$ 1.653.234,94, incluindo R$ 1.220.556,90 de capital de giro; para o cenário 2 estimado em R$ 1.891.575,09, incluindo R$ 1.458.897,05 de capital de giro; e para o cenário 3 estimado em R$ 2.128.971,47, incluindo R$ 1.696.293,43 de capital de giro. As premissas de cada Cenário estão detalhadas a seguir:

Cenário 1 - capacidade de produção de ouriço de castanha das castanheiras produtivas atualmente da Fazenda, que em 2021 foram de 200.000 unidades, representando apenas 15,4% do total plantado. As árvores não produtivas, cerca de 1.100.000 castanheiras, encontram-se em fase de crescimento;

Cenário 2 – capacidade de produção de ouriço de castanha de todas as castanheiras atualmente plantadas na Fazenda, que é de 1.300.000 árvores, e;

Cenário 3 – capacidade de produção anual da Unidade Fabril.

Nos três cenários para o cálculo da receita do projeto, foi considerado o preço médio de venda de mercado do kg do carvão ativado, produzido com diversas matérias-primas, que foi estimado em R$ 25,00 (COBASI, 2021; GLASSLAB, 2021; ÁGUA CLARAS, 2021; VIA FILTROS, 2021).

3.4 ANÁLISE DE SENSIBILIDADE

Para minimizar as incertezas e riscos que são impactados por diversos fatores: eventos naturais, políticos, econômicos, mercado etc., adotou-se a técnica da análise de sensibilidade aplicada sobre o cenário 2 pela perspectiva de crescente árvores de castanheiras produtivas da Fazenda Aruanã, objeto deste estudo de caso.

Foram alterados os valores de duas variáveis importantes e impactantes no resultado econômico: i. receita e ii. custos. Estabeleceu-se uma variação em cada período projetado para: i. receita: de - 5% a 5%; e ii. custos: de: -15% a 15%. Foi escolhido apenas o índice Valor Presente Líquido (VPL) para avaliar os impactos da análise de sensibilidade.

4. RESULTADOS DA SIMULAÇÃO DOS CENÁRIOS E DISCUSSÃO

4.1 CENÁRIO 1 - PRODUÇÃO DO CARVÃO ATIVADO COM OURIÇOS DAS ÁRVORES PRODUTIVAS DA FAZENDA ARUANÃ

No cenário 1, a produção do carvão ativado é estimada com base no total de castanheiras produtivas da Fazenda Aruanã, que em 2021 foram de 200.000 unidades. Com essas castanheiras, estima-se a produção de 5.510.000 ouriços, sendo necessários apenas 22 dias para produzir 22.040 kg de carvão, permanecendo a Unidade Fabril ociosa o restante do ano, exceto se forem adquiridos ouriços de outras fontes. Na Tabela 2 são apresentados os dados financeiros da produção de 22.040 kg de carvão ativado. Pelo cenário 1, a produção de carvão ativado é considerada inviável.

Tabela 2. Dados financeiros: carvão ativado produzido com ouriços das castanheiras produtivas na Fazenda Aruanã.

	Valores em R$ 1,00
1 - Receita Total	551.000,00
2 - Custo Total	(1.322.356,36)
3 - Lucro Bruto (1 - 2)	(771.356,36)
4 - Provisão para o IR (25% de 3)	-
5 - Contribuição Social	-
6 - Lucro Líquido (3 - 4 - 5)	(771.356,36)
7 - (+) Depreciação	32.155,61
8 - Fluxo de Caixa Gerado	(739.200,75)

Fonte: Autores

4.2 CENÁRIO 2 – DADOS FINANCEIROS: CARVÃO ATIVADO PRODUZIDO COM OS OURIÇOS PRODUZIDOS PELAS CASTANHEIRAS PLANTADAS

No cenário 2, a produção de carvão ativado é estimada com base no total de castanheiras plantadas em 2021 na Fazenda Aruanã que era de 1.300.000 unidades. É possível produzir com essas castanheiras 35.815.000 ouriços, sendo necessários 144 dias para produzir 143.260 kg de carvão, permanecendo ociosos os demais dias do ano, exceto se forem adquiridos ouriços de outras fontes. Na Tabela 3 são apresentados os dados financeiros de produção do carvão ativado com os ouriços das castanheiras plantadas. Neste cenário a implantação da Unidade Fabril seria viável economicamente.

Tabela 3 – Dados financeiros: carvão ativado produzidos com os ouriços das castanheiras plantadas na Fazenda Aruanã.

	Valores em R$ 1,00
1 - Receita Total	3.581.500,00
2 - Custo Total	(1.697.540,19)
3 - Lucro Bruto (1 - 2)	1.883.959,81
4 - Provisão para o IR (25% de 3)	(470.989,95)
5 - Contribuição Social	(169.556,38)
6 - Lucro Líquido (3 - 4 - 5)	1.243.413,47
7 - (+) Depreciação	32.155,61
8 - Fluxo de Caixa Gerado	1.275.569,08

Fonte: Autores

4.3 CENÁRIO 3 – PRODUÇÃO DO CARVÃO ATIVADO LIMITADO PELA CAPACIDADE DA UNIDADE FABRIL

No cenário 3, a produção de carvão ativado é estimada com base na capacidade de produção anual da Unidade Fabril nos 264 dias possíveis. São necessários 66.000.000 de ouriços e a produção de carvão ativado seria de 264.000 kg no ano. A quantidade de ouriços não seria possível ser produzida e fornecida apenas pela Fazenda Aruanã, necessitando de suprimento de outras fontes do estado do Amazonas ou de outros estados produtores da região. Na Tabela 4 são apresentados os dados financeiros da produção e venda de 264.000 kg do carvão ativado, considerando a capacidade de processamento de 66.000.000 ouriços.

Tabela 4. Dados financeiros: carvão ativado pela capacidade de produção anual da Unidade Fabril.

	Valores em R$ 1,00
1 - Receita Total	6.600.000,00

2 - Custo Total	(3.639.490,47)
3 - Lucro Bruto (1 - 2)	2.960.509,53
4 - Provisão para o IR (25% de 3)	(740.127,38)
5 - Contribuição Social	(266.445,86)
6 - Lucro Líquido (3 - 4 - 5)	1.953.936,29
7 - (+) Depreciação	32.155,61
8 - Fluxo de Caixa Gerado	1.986.091,90

Fonte: Autores

4.4 SIMULAÇÃO DA ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA: ÍNDICES FINANCEIROS

Os índices financeiros para a análise de viabilidade econômica da Unidade Fabril na Fazenda Aruanã para a produção de carvão ativado com o uso do ouriço da castanha-do-brasil estão apresentados na Tabela 5 a seguir. O horizonte do projeto foi estimado em 5 (cinco) anos e a taxa mínima de atratividade (TMA) = 25%.

Tabela 5. Simulação dos Cenários: Índices Financeiros.

ÍNDICES DOS CENÁRIOS	**CENÁRIO**		
	1	**2**	**3**
Valor Presente Líquido – VPL	(R$ 3.641.152,74)	R$ 1.538.787,33	R$ 3.212.185,75
Taxa Interna de Retorno – TIR	-	61%	89%
Valor Anual Equivalente	(R$ 1.353.950,78)	R$ 572.193,05	R$ 1.194.440,80
Lucratividade	-139,99%	34,72%	29,61%
Razão Custo-Benefício (B/C)	0,42	1,53	1,42
Ponto de Equilíbrio (qtd/kg)	59708	60577	90287
Ponto de Equilíbrio (valor)	R$ 1.492.712	R$ 1.514.420	R$ 2.257.186
Payback	Não tem	1 ano, 1 mês	1 ano, 5 meses e 2 dias

Fonte: autores

No cenário 1, com a produção e venda de 22.040 kg/ano de carvão ativado, todos os índices financeiros apresentam resultados insatisfatórios, tornando inviável a implantação da Unidade Fabril.

No cenário 2, ao contrário do Cenário 1, todos os índices financeiros apresentaram resultados satisfatórios para produzir 143.260 kg/ano de carvão ativado:

a) Valor Presente Líquido (VPL) (Eq.1) – É possível a Unidade Fabril gerar um VPL para os investidores de R$ 1.538.787,33. Embora a TMA = 25%, considerada uma taxa de retorno elevada, mesmo para a realidade brasileira, ainda é inferior à Taxa Interna de Retorno de 61%.

b) Valor Anual Equivalente (VAE) (Eq.2) - Com esse VPL é possível gerar um VAE, ou lucro médio, ou um Fluxo de Caixa Gerado nos cinco anos do projeto de R$ 572.195,05.

c) Relação benefício/custo (BC) (Eq.3) - Apresenta um resultado de 1,53, ou seja, a Receita supera as Despesas em 53%.

d) Lucratividade (Eq.4) – A taxa de 34,72% pode ser considerada bastante positiva para esse tipo de índice, embora uma análise mais profunda seria necessária para comparar com a lucratividade média do setor ou mesmo de eventuais concorrentes mais diretos da Unidade Fabril.

e) Ponto de Equilíbrio (PE) (Eq.5) – A partir da produção de 60.577 Kg de carvão ativado e Receita equivalente a R$ 1.514.420,00 a Unidade Fabril apresentaria lucro. Para produzir essa quantidade do Ponto de Equilíbrio, seriam necessários 15.941.316 ouriços, que seriam produzidos por aproximadamente 549.700 árvores de castanheiras da Fazenda Aruanã. Estas representariam cerca de 42,28% do total de castanheiras atualmente plantadas na Fazenda.

f) *Payback* (Eq.6) – Seriam necessários apenas 1 ano e 1 mês para que os investimentos fossem recuperados.

g) Taxa Interna de Retorno (Eq.7) – Essa taxa de rentabilidade igual a 61,00% é bastante superior à Taxa Mínima de Atratividade (TMA) de 25% definida para a remuneração dos investimentos no projeto da Unidade Fabril.

No cenário 3, os índices financeiros apresentaram, no geral, resultados mais satisfatórios do que o cenário 2, com produção de 264.000 kg/ano de carvão ativado. Ressalta-se, entretanto, que neste cenário se leva em conta a utilização da plena capacidade instalada da Unidade Fabril, de processar 66.000.000 ouriços que seriam produzidos por aproximadamente 2.275.862 castanheiras. Trata-se de uma quantidade bem superior aos 35.815.000 ouriços que é a capacidade máxima de produção possível das castanheiras plantadas na Fazenda Aruanã. O número de castanheira, neste caso, seria de cerca de 75% a mais do que o total de castanheiras

plantadas e de aproximadamente 84,3 % a mais do total de ouriços de castanha que poderiam ser fornecidos pela Fazenda Aruanã, mas que poderiam ser adquiridos de outras fontes. Os índices financeiros para a análise de viabilidade econômica deste cenário estão apresentados a seguir:

a) O Valor Presente Líquido (VPL) (Eq.1) - É possível a Unidade Fabril gerar um VPL para os investidores de R$ 3.212.185,75, indicando que a Taxa Interna de Retorno é maior que a TMA.

b) Valor Anual Equivalente (VAE) (Eq.2) - Com esse VPL é possível gerar um VAE ou lucro médio, ou um Fluxo de Caixa Gerado nos cinco anos do projeto de R$ R$ 1.194.440,80.

c) A relação benefício/custo (BC) (Eq.3) - Apresenta um resultado de 1,42 ou seja, a Receita supera as Despesas em 42%.

d) Lucratividade (Eq.4) – A taxa de 29,61% pode ser considerada bastante positiva para esse tipo de índice. É pouco provável que o segmento de fabricantes de carvão ativado e competidores diretos da Unidade Fabril possam apresentar resultados melhores.

e) Ponto de Equilíbrio (PE) (Eq.5) – A partir de 90.287 Kg de carvão ativado produzido e Receita equivalente a R$ R$ 2.257.186 a Unidade Fabril apresentaria lucro. Para produzir essa quantidade do Ponto de Equilíbrio, seriam necessários 23.759.737 ouriços, que seriam produzidos por aproximadamente 819.300 árvores de castanheiras, podendo ser até fornecidos pela própria Fazenda Aruanã. Estas representariam cerca de 63% do total de castanheiras atualmente plantadas na Fazenda de 1.300.000 árvores.

f) (*Payback)* (Eq.6) - Seriam necessários apenas 1 ano e 5 meses apenas para que os investimentos fossem recuperados.

g) Taxa Interna de Retorno (Eq.7) - Essa taxa de rentabilidade igual a 89,0% é bastante superior à Taxa Mínima de Atratividade (TMA) de 25% definida para a remuneração dos investimentos no projeto da Unidade Fabril.

A técnica de cenarização aplicada na presente pesquisa possibilitou avaliar a viabilidade econômica de implantação de uma unidade de produção de carvão ativado a partir da utilização de ouriços de castanha, nas condições específicas para cada um dos 3 cenários. Mesmo com as incertezas inerentes a essa técnica, foi possível identificar dois cenários favoráveis: 2 e 3.

Considera-se o cenário 2 com melhor possibilidade de implementação, haja vista a possível disponibilidade da matéria prima principal (ouriço) na Fazenda Aruanã, na hipótese de

produção de ouriços de castanha por todas as castanheiras atualmente plantadas. Entretanto, nesse cenário, mesmo com a produção plena de ouriços por todas as castanheiras plantadas, ainda assim, a produção de carvão ocorreria por 144 dias, permanecendo os demais 120 dias possíveis do ano ociosos para a produção.

O cenário 3 é considerado o mais viável economicamente, pelos melhores resultados da maioria dos índices financeiros. Entretanto, neste cenário a Fazenda Aruanã não seria capaz de fornecer o volume de ouriços de castanha para manter a unidade de produção ativa nos 264 dias possíveis do ano. Neste caso seria necessária a aquisição de quantidade relevante de ouriços de outras fontes do Estado do Amazonas e até mesmo de outros estados que produzem a castanha-do-brasil.

4.5 ANÁLISE DE SENSIBILIDADE DO CENÁRIO 2

O cenário 2 foi escolhido para a análise de sensibilidade pela facilidade de acesso aos ouriços de castanha. Embora tenha sido escolhido apenas o índice Valor Presente Líquido (VPL), Quadro 01, a mesma análise poderia ser realizada para os demais índices financeiros considerados neste estudo.

Quadro 1. Análise de sensibilidade do Cenário 2.

		Receitas				
		-10%	**-5%**	**0%**	**5%**	**10%**
Custos	**30%**	(1.213)	(778)	303	216	783
	15%	(178)	257	732	1.251	1.818
	0%	629	1.063	**1.539**	2.058	2.624
	-15%	1.248	1.683	2.158	2.677	3.243
	-30%	1.717	2.152	2.627	3.146	3.712

Fonte: autores

Destaca-se que mesmo com uma queda de 5% na receita e elevação de 15% nos custos, em um cenário bem menos favorável, ainda assim será possível alcançar um Valor Presente Líquido (VPL) positivo. Também é possível observar que com a elevação de 10% na receita e concomitante elevação de 15% nos custos, o VPL apresentará um crescimento de 19% em relação ao VPL do cenário 2.

5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A simulação de implantação da menor Unidade Fabril possível, para a produção do carvão ativado na Fazenda Aruanã, seria considerada inviável se utilizasse a quantidade de ouriços de castanha-do-brasil produzidos pelas árvores atualmente produtivas da Fazenda, que hoje representam em cerca de 200.000 árvores, e vendidos ao preço médio de mercado de carvão ativado estimado em R$ 25,00. Entretanto, se fossem empregados na produção do carvão os ouriços aproveitáveis e produzidos pela totalidade das castanheiras atualmente plantadas na Fazenda, deduzidas das perdas previstas, o projeto da Unidade Fabril seria plenamente viável, necessitando de tempo bem inferior ao tempo possível de produção no ano, considerando a capacidade instalada da Unidade Fabril.

O projeto da Unidade Fabril seria mais viável ainda se a produção do carvão ativado ocorresse durante todo o ano, utilizando os 264 dias possíveis. Para este caso a produção de ouriços não seria possível ser suprida apenas pela Fazenda Aruanã, considerando-se o total de castanheiras atualmente plantadas e o consequente limite de produção possível de ouriços, sendo necessário o suprimento de grande parte dessa matéria-prima por outras fontes do Amazonas ou de outros estados da região amazônica.

Tomando-se como base o filtro comercializado no mercado de marca *Water Filters Solution* (WFS), que indica no rótulo as instruções para o consumidor, a filtragem de água estabelece a relação de 16g de carvão ativado para cada 1.000 litro de água. Estima-se, portanto, que cada filtro contenha 50g de carvão ativado. Com a produção de 143.260 kg do carvão ativado seria possível produzir, aproximadamente, 2.865.200 filtros de água, podendo atender não apenas a demanda do estado do Amazonas, mas possivelmente parte da demanda de outras regiões.

A produção de carvão ativado, a partir dos resíduos do ouriço da castanha-do-brasil, (*Bertholletia excelsa* Bonpl.) pode proporcionar novas oportunidades de negócio, gerando emprego e renda para agricultores e mão-de-obra de plantas fabris, beneficiando toda a cadeia produtiva da produção de castanha-do-brasil. Pode também contribuir como referência para o aproveitamento econômico de outros resíduos e redução do volume de resíduos que podem causar danos ambientais nas diversas áreas da Amazônia.

Recomendam-se novos estudos relacionados à produção de resíduos vegetais na região amazônica, por exemplo o desenvolvimento de metodologias para o melhor aproveitamento de

resíduos; amplo mapeamento de unidades produtivas da castanha-do-brasil e correspondentes produções de ouriços, que permitiram estimativas do quantitativo de matéria-prima para a produção de carvão ativado ou mesmo de biomassa para outras aplicações.

6. REFERÊNCIAS

Agropecuária Aruanã . (2022). *Fazenda Aruanã*. Acesso em 16 de Março de 2022, disponível em https://agropecuariaaruana.wordpress.com/a-empresa/

Águas Claras Engeharia . (2021). *ÁGUAS CLARAS*. Fonte: Estações de Tratamento de Água – Carvão Ativado: https://loja.aguasclarasengenharia.com.br/estacoes-de-tratamento-de-agua/carvao-ativado

Ali, I., & Gupta, V. K. (2007). Advances in water treatment by adsorption technology. *Nature Protocols, 1*, pp. 2661–2667. doi:https://doi.org/10.1038/nprot.2006.370

Amorim, E. P., Pimenta, A. S., & Souza, E. C. (2021). Aproveitamento dos resíduos da colheita florestal: estado da arte e oportunidades. *Research, Society and Development, 10*(2). doi: http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v10i2.12175

Andrade, M. M. (2002). *Como preparar trabalhos para cursos de pós-graduação: noções práticas.* São Paulo: Atlas.

Araújo, D. A., Curbelo, F. D., Braga, R. M., & Garnica, A. I. (2017). REMOÇÃO DO ÓLEO DA ÁGUA PRODUZIDA UTILIZANDO CARVÃO ATIVADO COMERCIAL. *HOLOS, 08*(33), pp. 12-31. doi:https://doi.org/10.15628/holos.2017.5891

Bansal, R. C., & Goyal, M. (2005). *Activated Carbon Adsorption* (1ª ed.). Boca Raton: CRC Press. doi:https://doi.org/10.1201/9781420028812

BECKINS: FILTROS INDUSTRIAIS . (2021). *Filtros de Ar Carvão Ativado*. Fonte: https://beckins.com.br/filtros-de-ar-carvao-ativado/

Casau, M., Dias, M. F., Matias, J. C., & Nunes, L. J. (2022). Residual Biomass: A Comprehensive Review on the Importance, Uses and Potential in a Circular Bioeconomy Approach. *Resources, 11*(35), pp. 1-16. doi:https://doi.org/10.3390/resources11040035

COBASI. (2021). *Carvão Ativado*. Fonte: https://www.cobasi.com.br/

Couto, L. C., Couto, L., Watzlawick, L. F., & Câmara, D. (2004). Vias de valorização energética da biomassa. *Biomassa & Energia, 1*(1), pp. 71-92.

Cymerys, M., Wadt, L. H., Kainer, K. A., & Argolo, V. (2005). *Castanheira Bertholletia excelsa H.&B.* EMBRAPA.

FUSATI FILTRO DE ÁGUA. (2020). *Saiba o que é carvão ativado e porque é usado em filtros*. Acesso em 01 de Fevereiro de 2022

Ghasemi, M., Mashhadi, S., Asif, M., Tyagi, I., Agarwal, S., & Gupta, V. K. (2016). Microwave-assisted synthesis of tetraethylenepentamine functionalized activated

carbon with high adsorption capacity for Malachite green dye. *Journal of Molecular Liquids, 213*, pp. 317-325. doi:https://doi.org/10.1016/j.molliq.2015.09.048

GLASSLAB. (2021). *Reagentes e Meios*. Fonte: https://www.glasslab.com.br/

Graça, C. H., & Caldas, R. M. (2017). ESTIMATIVA DA QUANTIDADE DE RESÍDUOS (CASCA E POLPA) PRODUZIDOS DURANTE O PROCESSO DE BENEFICIAMENTO DO CAFÉ NO MUNICÍPIO DE VARGINHA – MG. *Revista Geonorte, 8*, pp. 104-117. doi:https://doi.org/10.21170/geonorte.2017.V.8.N.30.104.117

Hansen, D. R., & Mowen, M. M. (2003). *Managerial Accounting* (8ª ed.). South Western: College Pub.

Horngren, C., Burgstahler, D., Sundem, G., Schatzberg, J., & Stratton, W. (2022). *Introduction to Management Accounting, Global Edition.* New York : Pearson .

INSTITUTO SOKA AMAZÔNIA . (2016). *Precioso fruto do Brasil: a nossa CASTANHEIRA!* Fonte: Instituto Soka Amazônia: https://institutosoka-amazonia.org.br/precioso-fruto-do-brasil-a-nossa-castanheira/

Jain, M., Garg, V. K., & Kadirvelu, K. (2009). Chromium(VI) removal from aqueous system using Helianthus annuus (sunflower) stem waste. *Journal of hazardous materials, 162*, pp. 365-372. doi:https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2008.05.048

Junior, O. F. (2010). *Produção de carvão ativado a partir de produtos residuais de espécies nativas da região amazônica.* Dissertação de Mestrado , Universidade Tecnológica Federal do Paraná , Manaus .

Kosheleva, R. I., Mitropoulos, A. C., & Kyzas, G. Z. (2019). Synthesis of activated carbon from food waste. *Environmental Chemistry Letters, 17*, pp. 429-438. doi:https://doi.org/10.1007/s10311-018-0817-5

Lelis, A., & Maurício, V. (2019). *ICA implanta sistema de fornos-fornalha de produção sustentável de carvão vegetal*. Acesso em 10 de Maio de 2022, disponível em ICA: https://www.ica.ufmg.br/?noticias=ica-implanta-sistema-de-fornos-fornalha-de-producao-sustentavel-de-carvao-vegetal

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, 2*, pp. 521-528. doi:https://doi.org/10.1016/j.jaap.2008.10.018

Nascimento, L. C., Silva, L. A., Figueiredo, L. C., & Vieira, R. K. (2015). Metodologia para Minimizar os Impactos Ambientais oriundos da Indústria de Beneficiamento de Castanha. *Simpósio Internacional de Gestão, Projetos, Inovação e Sustentabilidade* . São Paulo - SP .

NATURALTEC. (2021). *Carvão Ativado - FICHA TÉCNICA.* Acesso em 19 de Dezembro de 2021, disponível em Naturaltec: https://www.naturaltec.com.br/carvao-ativado-ficha-tecnica/

Nobre, J. R., Castro, J. P., Motta, J. P., Bianchi, M. L., Trugilho, P. F., Borges, W. M., & Moulin, J. C. (2015). Produção de carvão ativado de resíduo madeireiro da região Amazônica. *Scientia Forestalis, 43*, pp. 895-906. doi: https://dx.doi.org/10.18671/scifor.v43n108.14

Oliveira, L. A., Freitas, G. N., & Oliveira, E. (2021). Procedimentos de composição dos custos e determinação do preço de vendas em uma fábrica de camisetas sem estampas-produção em larga escala. *III Congresso Nacional Online de Empreendorismo - CONEMP* .

Pereira, E., Oliveira, L. C., Vallone, A., Sapag, K., & Pereira, M. (2008). Preparação de carvão ativado em baixas temperaturas de carbonização a partir de rejeitos de café: utilização de FeCl3 como agente ativante. *Química Nova, 31*, pp. 1296-1300. doi:https://doi.org/10.1590/S0100-40422008000600004

Pressi, L. (2021). *Análise do Potencial de Resíduos Agroindustriais como adsorventes alternativos para metais no Rio Grande do Sul* . Dissertação de Mestrado , UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL , Porto Alegre .

Ramos, P. H., Guerreiro, M. C., Resende, E. C., & Gonçalves, M. (2009). Produção e caracterização de carvão ativado produzido a partir do efeito preto, verde, ardido (PVA) do café. *Química Nova, 32*, pp. 1139-1143. doi:https://doi.org/10.1590/S0100-40422009000500011

Raupp, F. M., & Beuren, I. M. (2006). *Metodologia da pesquisa aplicável ás ciências. Como elaborar trabalhos monográficos em contabilidade: teoria e prátia.* São Paulo: Atlas.

Reza, M. S., Yun, C. S., Afroze, S., Radenahmad, N., Bakar, M. S., Saidur, R., . . . Azad, A. B. (2020). Preparation of activated carbon from biomass and its' applications in water and gas purification, a review. *Arab Journal of Basic and Applied Sciences, 27*, pp. 208-238. doi:https://doi.org/10.1080/25765299.2020.1766799

Rezende, J. L., & Oliveira, A. D. (2008). *Análise econômica e social de projetos florestais* (3ª ed.). Editora UFV.

Santos, C. C. (2018). Descarte e reaproveitamento de resíduos da castanha-do-brasil (Bertholletia Excelsa) em uma cooperativa extrativista no município de laranjal do Jari. *I Congresso Sulamericano de Resíduos Sólidos e Sustentabilidade.* Gramado .

Santos, F. S., & Hatakeyama, K. (2012). Processo sustentável de produção de carvão vegetal quanto aos aspectos: ambiental, econômico, social e cultural. *Produção, 22*, pp. 309-321. doi:https://doi.org/10.1590/S0103-65132012005000010

Santos, J. C., & Nogueira, R. M. (2017). Desempenho econômico-financeira da produção de carvão vegetal a partir de cascas de ouriços de castanha-do-pará. *Simpósio Sober Norte.* Belém - PA: In Embrapa Amazônia Oriental - Artigo.

Santos, R. (1980). *História econômica da Amazônia: 1800-1920.* Tao.

SEBRAE. (2022). *O cultivo e o mefcado da castanha do Brasil*. Acesso em 27 de janeiro de 2022, disponível em SEBRAE: https://www.sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/artigos/o-cultivo-e-o-mercado-da-castanha-do-brasil,c0ca9e665b182410VgnVCM100000b272010aRCRD#:~:text=O%20fruto%20da%20castanheira%20%C3%A9,17%25%20de%20prote%C3%ADna%20quando%20desidratada

Shank, J. K., & Govindarajan, V. (1997). *A revolução dos custos: como reinventar e redefinir sua estratégia de custos para vencer em mercados crescentemente competitivos* (2ª ed.). Elsevier.

Silva, A. A. (2012). *Estrutura, Análise e Interpretação das Demonstrações Contábeis.* São Paulo: Atlas .

SILVA, L. J., & al, e. (2017). *Castanha-do-Brasil: Aspectos Socioeconômicos nas Comunidades da RDS Piagaçu - Purus, Município de Anori, AM*. Manaus: EMBRAPA.

SNATURAL AMBIENTE. (2022). *Filtros e Filtração de Água - Carvão Ativado*. Acesso em 26 de Janeiro de 2022, disponível em Snatural Ambiente: https://www.snatural.com.br/filtracao-agua-carvao-ativado/

Souza, R., & Trindade, A. A. (2015). A biomassa como solução energética para o estado do Amazonas . *10º Congresso sobre Geração Distribuida e Energia no Meio Rural.* São Paulo .

TECNOCARBO. (2022). *O que é carvão ativado?* Acesso em 28 de Janeiro de 2022, disponível em Tecnocarbo Carvões Ativados: https://tecnocarbo.com.br/o-que-e-carvao-ativado/

Tripathi, N., Hills, C. D., Singh, R. S., & Atkinson, C. J. (2019). Biomass waste utilisation in low-carbon products: harnessing a major potential resource. *npj Clim Atmos Sci, 35*, pp. 1-10. doi:https://doi.org/10.1038/s41612-019-0093-5

Vergara, W., Oliveira, J. P., Barbosa, F. A., & Yamanari, J. S. (2017). ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICO-FINANCEIRA PARA AQUISIÇÃO DE UMA UNIDADE DE ARMAZENAGEM DE SOJA E MILHO. *Revista Gepros, 12*, pp. 41-61. doi:https://doi.org/10.15675/gepros.v12i1.1598

VIA FILTROS. (2021). *Filtros de Carvão Ativado*. Acesso em 18 de Dezembro de 2021, disponível em Via Filtros: https://loja.viafiltros.com.br/carvao-ativado

Wernk, E. R. (2017). *Gestão de custos: uma abordagem prática.* São Paulo : Atlas.

Zago, A. P., ARANTES, B. R., NUNES, E. F., & LEMES, S. (2005). *ÁREA TEMÁTICA: FINANÇAS CÁLCULO DO PONTO DE EQUILÍBRIO EM CONDIÇÕES DE RISCO E INCERTEZA.* Universidade Federal de Uberlândia , Uberlândia.

Zhao, J., Wang, Q., Yu, L., & Wu, L. (2016). TG–DSC analysis of straw biomass pyrolysis and release characteristics of noncondensable gas in a fixed-bed reactor. *Drying Technology, 35*, pp. 347-355. doi:https://doi.org/10.1080/07373937.2016.1171234

Zin, R. A., Bombana, L. P., & Barcellos, P. F. (2018). Avaliação das equipes de vendas de duas empresas com a matriz BCG utilizando lucro e margem de contribuição. *Gestão & Produção, 25*, pp. 826-838. doi:https://doi.org/10.1590/0104-530X634-18

CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

As principais conclusões serão apresentadas seguindo o que foi descrito como proposta de investigação nos objetivos específicos da pesquisa:

Objetivo 1: Identificar as técnicas utilizadas para o desenvolvimento de carvão ativado

O carvão ativado produzido com resíduos do ouriço da castanha do brasil pode ser mais um importante produto que pode contribuir para a remoção de impureza no tratamento de água para fins industriais e para o consumo humano. Portanto, a remoção de contaminantes da água é indispensável para garantir a vida e disponibilidade de água potável. Os carvões ativados a partir de resíduos de biomassas são adsorventes com alto potencial devido ao baixo custo, seja ele ativado fisicamente ou quimicamente, que são encontrados em abundância na região amazônica. Vários estudos sobre o carvão ativado dão ênfase sobre o grande potencial que ele gera na solução de tratamento de água contaminada com diferentes tipos de contaminantes. No entanto, é necessário implementar estudos em larga escala em relação ao carvão ativado de resíduos de biomassa, visto que há uma gama de precursores que podem ser aproveitados tanto na indústria quanto em outras necessidades humanas.

Objetivo 2: Estudar o processo de carbonização e realizar ativação física e química das amostras carbonizadas.

O ouriço da castanha-do-brasil (*Bertholletia excelsa* Bonpl.) possui alto potencial de combustão com um tempo máximo de 7,5 minutos. As condições de tempo e clima devem ser consideradas na estimativa do tempo de resposta de queima dos ouriços. Utilizando-se um polinômio de segundo grau é possível estimar o tempo de combustão de ouriços de castanhas como estratégia de agregação de valor à biomassa residual em áreas agroextrativistas na Amazônia. Infere-se que o material (alta teor de lignina e celulose) que compõe o ouriço da castanha-do-brasil facilita o processo de combustão, sendo fonte alternativa de energia térmica. A termografia infravermelha foi decisiva na detecção do tempo de resposta da condução de calor em ouriços de castanha-do-brasil para subsidiar o planejamento de sua utilização em fornos e em outros usos energéticos dessa biomassa em áreas com abundância desse resíduo como um dos produtos não madeireiro na região.

Objetivo 3 e 4: Caracterizar as amostras de carvão ativado através das análises termogravimétricas (TG-DTG), microscopia eletrônica de varredura (MEV); Realizar ensaios com o carvão ativado no tratamento de água.

A partir dos resultados obtidos nesta pesquisa, pode-se notar que o resíduo de ouriço da castanheira tem mais vantagens de queima e produção do carvão em relação ao resíduo da casca da castanha, sendo possível verificar que na amostra CC1 (Casca da Castanha) tem altas taxas de umidade, o que não é bom para a produção de qualquer tipo de carvão. Em relação à amostra OC1 (Ouriço da Castanha) a taxa de umidade mostrou-se ser bem menor que na CC1 o que se torna viável na produção de carvão e para uso como precursor em qualquer outra aplicação na produção de bens. 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. Adicionalmente, são necessárias pesquisas mais aprofundadas com bastante precisão para confirmar a viabilidade de uso industrial.

Quanto a presença de coliformes totais nas amostras se deve a fatores externos que influenciaram os resultados das análises. Portanto, pelas análises realizadas, o uso do carvão ativado para a purificação da água visando o consumo humano não é ainda viável, face aos resultados microbiológicos que apresentaram a presença de *Escherichia coli.*

Assim, o tratamento biológico da água que se dá a partir da decomposição de matéria orgânica dos efluentes, utilizando-se microrganismos para a limpeza, apresenta benefícios resultando em água mais estável, incluindo a redução do recrescimento de bactérias, da formação de biofilmes e de corrosão na rede de distribuição. Além disso, decresce a necessidade dos resíduos de desinfetantes, minimizando a formação de subprodutos tóxicos derivados de reações entre o desinfetante e a matéria orgânica.

Objetivo 5: Estudar a viabilidade econômica da produção em escala do carvão ativado.

Com a simulação de implantação de uma Unidade Fabril de carvão ativado de menor porte possível, que utilize como matéria-prima o ouriço de castanha-do-brasil, é possível concluir sua viabilidade econômica a partir de aproximadamente 549.700 árvores de castanheiras produtivas. A Fazenda Aruanã, que serviu de estudo de caso desta pesquisa, possui cerca de 1.300.000 árvores plantadas, porém em 2021 apenas aproximadamente 200.000 eram produtivas. Mesmo com 549.700 árvores de castanheiras produtivas, ainda assim a Unidade Fabril teria uma capacidade ociosa durante 142 dias no ano.

Utilizando a plena capacidade de produção anual da Unidade Fabril seriam necessárias 2.275.862 castanheiras produtivas. Neste caso, o suprimento de ouriços de castanha não poderia ocorrer apenas pela Fazenda Aruanã, tendo que ser adquiridos de outras fontes.

REFERÊNCIAS

ACEVEDO, G. V. *et al.* Synthesis and use of efficient adsorbents under the principles of circular economy: Waste valorisation and electroadvanced oxidation process regeneration. Separation and Purification Technology, v. 242, n. 1, 2020.

ADNORMA. A gestão da amostragem dos resíduos sólidos para o tratamento mais indicado. Revista Adnorma, 2021. Disponível em: < https://revistaadnormas.com.br/2021/04/27/a-gestao-da-amostragem-dos-residuos-solidos-para-o-tratamento-mais-indicado >. Acesso em 16 de maio de 2022.

AGROPECUÁRIA ARUANÃ. Fazenda Aruanã. Agropecuária Aruanã, 2022. Disponível em: <https://agropecuariaaruana.wordpress.com/a-empresa/>. Acesso em 16 de março de 2022.

ÁGUAS CLARAS ENGENHARIA. Estações de Tratamento de Água – Carvão Ativado. Águas Claras Engenharia, 2021. Disponível em: <https://loja.aguasclarasengenharia.com.br/estacoes-de-tratamento-de-agua/carvao-ativado>. Acesso em 18 de janeiro de 2021.

AHMED, Mohammad Boshir et al. Activated carbon preparation from biomass feedstock: clean production and carbon dioxide adsorption. Journal of Cleaner Production, v. 225, p. 405-413, 2019.

ALVES, Brendo Luiz Araújo et al. O uso de tecnologia e o acesso à água na zona rural de um município do nordeste do Estado do Pará. Natural Resources, v. 11, n. 1, p. 12-20, 2021.

ALJEBOREE, Aseel M.; ALSHIRIFI, Abass Noor. 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, v. 10, n. 9, p. 2252-2257, 2018.

AMBIENTE BRASIL. Tecnologia para Tratamento de Água. Ambiente Brasil, 2021. Disponível em <https://ambientes.ambientebrasil.com.br/agua/artigos_agua_doce/tecnologia_para_tratamento_de_agua.html >. Acesso em 12 de maio de 2022.

ANDRADE, Maria Margarida de. Como preparar trabalhos para cursos de pós-graduação: noções práticas. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

ANI, J. U. et al. Potentials of activated carbon produced from biomass materials for sequestration of dyes, heavy metals, and crude oil components from aqueous environment. Applied Water Science, v. 10, n. 2, p. 1-11, 2020.

AKSU, Zümriye; Tatli, Ayşe İdil; Tunç, Özlem. A comparative adsorption/biosorption study of Acid Blue 161: Effect of temperature on equilibrium and kinetic parameters. Chemical Engineering Journal, v. 142, n. 1, p. 23-39, 2008.

ARAÚJO, E. S. A. et al. Diversidade e Funções de Mesoinvertebrados no Tratamento Aeróbio de Resíduos Sólidos Orgânicos Domiciliares em Sistemas Descentralizados, Campina Grande-

PB. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 30. Anais. Natal: ABES, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS – ABRELPE. (2018-2019) Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2019. São Paulo: ABRELPE.

ASTOLFI FILHO, S.; NUNES-SILVA, C. G.; BIGI, M. F. M. A. Bioprospecção e biotecnologia. Parcerias Estratégicas. Brasília-DF, v. 19, nº 38, p. 45-80, jan-jun/2014.

AUCA, E. C. E. A. Propagação de mudas de castanha-do-pará (Humb. And Bonpl) utilizando sementes em miniestufas. Revista On-line Agro@mbiente, v. 12, n. 4, p. 300-313, 2018.

AYRES, M.; AYRES JÚNIOR, M.; AYRES, D. L; SANTOS, A. A. S. BioEstat: Aplicações estatísticas nas áreas das ciências biomédicas, Belém-Pará, 364p, 2007.

BARBOSA, M. A. M; MORET, A. S. Ouriço da castanha-do-brasil: do descarte a geração de energia elétrica à população isolada da Amazônia. Diálogos Economia e Sociedade, v. 2, p. 45-54, 2018.

BACCAR, R. *et al.* Preparation of activated carbon from Tunisian olive-waste cakes and its application for adsorption of heavy metal ions. Journal of Hazardous Materials, v. 162, n. 2-3, p. 1522-1529, 2009.

BASCIETTO, M. et. al. Efficient estimation of biomass from residual agroforestry. ISPRS Int. J. Geo-Inf. 2020, 9, 21.

BHATNAGAR, A., & SILLANPÄÄ, M. Utilização de materiais residuais agroindustriais e municipais como adsorventes potenciais para tratamento de água - uma revisão. *Chemical Engineering Journal , 157* (2-3), 277-296, 2010.

BITENCOURT, M. A. F. Isotermas de dessorção, secagem e caracterização nutricional das amêndoas das castanhas-do-Brasil da região amazônica. Dissertação (Mestrado em ecnologia de Alimentos). Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano. 82p, 2020.

BHATNAGAR, Amit et al. An overview of the modification methods of activated carbon for its water treatment applications. Chemical Engineering Journal, v. 219, p. 499-511, 2013.

BRASIL. Departamento de Meteorologia. Normais climatológicas 1961-1990. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura e Reforma Agrária, 1992.

BRESSAN, Paulo, et al. Resíduo da indústria cervejeira como precursor de carvão ativado comparado a outros resíduos agroindustriais: uma revisão. Evidência, v. 20, n. 2, p. 141-148, 2020.

BAYMA, M. M. A. et al. Aspectos da cadeia produtiva da castanha-do-brasil no estado do Acre, Brasil. Boletim do Museu Paraense Emilio Goeldi. Ciências Naturais, v. 9, p. 417-426, 2014.

BANSAL, R. C., GOYA, M. Activated Carbon Adsorption. Taylor & Francis Group, Boca Raton, 472 p. 2005.

BERNI, J. V. et al. Produção e Caracterização de Carvão Ativado Proveniente do Caroço de Açaí. São Paulo: Blucher, Editora Edgard Blucher Ltda., São Paulo, p. 3100-3103, 2018.

BECKINS. Carvão Ativado para Filtragem de Ar e Água. Beckins, 2021. Disponível em: < https://beckins.com.br/elemento-filtrante-de-carvao-ativado/>. Acesso em 19 de dezembro de 2021.

CARMONA, I. N. *et al*. Potencial energético da biomassa e carvão vegetal de resíduos de Castanha-do-pará (*Bertholletia excelsa* Bonpl.). In: Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia da Madeira. 2017.

MEIO SUSTENTÁVEL. Carvão ativado: Quais os seus benefícios e os seus riscos? Meio Sustentável, 2021. Disponível em: < https://meiosustentavel.com.br/carvao-ativado/>. Acesso em 12 de maio de 2022.

CASAROTTO Filho, N., & KOPITTKE, B. H.. Análise de investimentos: matemática financeira, engenharia econômica, tomada de decisão. 10 a edição, São Paulo: Atlas, 2006.

CHENG, H.; Dastgheib, S.A.; Karanfil, T. Adsorption of dissolved natural organic matter by modified activated carbons. Water Research, v.39, p.2281-2290, 2005.

CLAUDINO, A. Preparação de carvão ativado a partir de turfa e sua utilização na remoção de poluentes. 101 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

CRUZ JÚNIOR, O. F. Produção de carvão ativado a partir de produtos residuais de espécies nativas da Região Amazônica. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica e de Materiais. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, p. 62-71, 2010.

COBASI. Carvão Ativado. Cobasi, 2021. Disponível em: <https://www.cobasi.com.br/>. Acesso em: 18 de dezembro de 2021.

COUTO, L. C. *et al*. Vias de valorização energética da biomassa. Biomassa Energia, v. 1, n. 1, p. 71–92, 2004.

CYMERYS, Margaret et al. Castanheira Bertholletia excelsa H. &B. Embrapa Acre-Capítulo em livro científico (ALICE), 2005.

DE MEDEIROS MORAIS, Rayssa *et al*. Produção de carvão ativado microporoso com vapor d'água preparado a partir de endocarpo de coco (Cocos nucifera). Advances in Forestry Science, v. 6, n. 3, p. 699-703, 2019.

DA SILVA, Neide Andrade et al. O uso de tecnologias sociais para o fornecimento de água potável na comunidade nossa senhora de Fátima. RECIMA21-Revista Científica Multidisciplinar-ISSN 2675-6218, v. 3, n. 2, p. e321124-e321124, 2022.

DANISH, M. & Ahmad, T. A review on utilization of wood biomass as a sustainable precursor for activated carbon production and application. Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 87, p. 1-21, 2018.

DANIEL BARCELLOS. Tipos de Fornos de Carvão Vegetal. Daniel Barcellos, 2020. Disponível em: <https://danielbarcellos.com/tipos-de-fornos-de-carvao-vegetal/>. Acesso em 10 de maio de 2022.

DO AMARAL, Pedro Henrique Borges et al. Liação do carvão ativado da casca de arroz produzido no processo de degradação térmica. In: 11ª JICE-Jornada de Iniciação Científica e Extensão. 2020.

DOS SANTOS, Juliana Palermo Evangelista et al. Remoção da Atividade Estrogênica por Carvão Ativado. Principia: Caminhos da Iniciação Científica, v. 21, p. 11-11, 2021.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Ciência que Transforma: Resultados e Impactos Positivos da Pesquisa Agropecuária na Economia, no Meio Ambiente e na Mesa do Brasileiro. Embrapa, 2020.

ECYCLE. Carvão ativado: usos e cuidados. Disponível em: < https://www.ecycle.com.br/6914-carvao-ativado.html>. Acesso em 14/02/2021.

EDDY, A.L. et al. The Role of Thermographyin the Management of Equine Lameness. Veterinary of Journal, v.162:172-181, 2001.

ELOY, Ludivine; LASMAR, Cristiane. Urbanização e transformação dos sistemas indígenas de manejo de recursos naturais: o caso do alto rio Negro (Brasil). Acta Amazonica, v. 41, n. 1, p. 091-102, 2011.

FREITAS, Leizer Cordeiro da Silva; BUENO, S. M. Carvão ativo: breve histórico e estudo de sua eficiência na retenção de fármacos. Revista Científica Unilago, v. 1, 2014.

FLIR. Manual da FLIR T650sc Systems 6.3v, Wilsonville, OR, EUA, 2015.

FUNASA. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde. Manual de Saneamento. Brasília, DF, 5ed, 2019.

FUSATI. Filtro de Água. Saiba O Que É Carvão Ativado e Porque É Usado em Filtros. Fusati, 2020. Disponível em: < https://www.fusati.com.br/saiba-o-que-e-carvao-ativado-e-por-que-e-usado-em-filtros/>. Acesso em 01 de fevereiro de 2022.

GHASEMI, Maryam et al. Microwave-assisted synthesis of tetraethylenepentamine functionalized activated carbon with high adsorption capacity for Malachite green dye. Journal of Molecular Liquids, v. 213, p. 317-325, 2016.

GLASSLAB. Reagentes e Meio – Carvão Ativado. Glasslab, 2021. Disponível em: <https://www.glasslab.com.br/>. Acesso em 19 de dezembro de 2021.

GOMES, Henrique Miller Andrade et al. Aplicação das técnicas de processamento digital de imagens na caracterização de carvão ativado da biomassa do coco babaçu. 2019.

GONÇALVES, M. Preparação de carvão ativado e impregnação com ferro ou cromo para aplicações em processos de descontaminação ambiental. Tese de Doutorado, Programa de Pós-graduação em Agroquímica, UFLA, 2008.

GONZÁLEZ-García, P. Activated carbon from lignocellulosics precursors: a review of the synthesis methods, characterization techniques and applications. Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 82, n. 1, p. 1393-1414, 2017.

GRAÇA, C. H.; CALDAS, R. M. F. Estimativa da quantidade de resíduos (casca e polpa) produzidos durante o processo de beneficiamento do café no município de Varginha – MG. 2017. Revista Geonorte, 8:104-117, 2017.

GUPTA, V. K., Ali, I., SALEH, T. A., Nayaka A., Agarwal S. Advances in water treatment by adsorption technology. RSC Adv., v.2, p 6380 – 6388, 2012a.

HAMDAOUI, O.; Naffrechow, E. Modeling of adsorption isotherms of phenol and chlorofenols onto granular activated carbon. Part I. Two-parameter models and equations allowing determination of thermodynamic parameters. Journal Hazard Materials, v.147, p.381-394, 2007. 2

HANSEN, D. R., & MOWEN, M M. Managerial Accounting (8th ed.). South Western College Pub, 2003.

HASAN, Ruqaiya. Ways of saying: ways of meaning: Selected papers of Ruqaiya Hasan. Bloomsbury Publishing, 2015.

HEIDARI, A. et al. A sustainable power supply system, Iran's opportunities via bioenergy. Environ Prog Sustain Energy, n. 38, p. 171-88, 2018.

HENRIQUES, Renata Leal *et al*. Utilização da microscopia eletrônica de varredura (MEV) para avaliação da ação de cloretos em compósitos de matriz cimentícia. 2019.

HORNGREN, C. T. et. al. Introduction to management accounting, 16th ed.. New York: Pearson, 2014.

IBGE. Produção e extração vegetal e da silvicultura. SIDRA, 2016. Disponível em: https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/pevs/quadros/brasil/2020. Acesso em: 20 abr. 2022.

INOVA AMBIENTAL. Qual o tratamento mais indicado para cada tipo de resíduo? Inova Ambiental Gerenciamento de Resíduos, 2022. Disponível em: < https://inovarambiental.com.br/2020/11/23/tratamento-indicado-tipo-residuo/>. Acesso em 16 de maio de 2022.

INOVATIVA - Revista eletrônica do Instituto Nacional de Tecnologia Ano 4, no 18 - janeiro | fevereiro de 2017. Acesso em 14/02/2021.

INSTITUTO SOKA AMAZÔNIA. Precioso fruto do Brasil: a nossa CASTANHEIRA! Instituto Soka Amazônia, 2016. Disponível em: < https://institutosoka-

amazonia.org.br/precioso-fruto-do-brasil-a-nossa-castanheira/>. Acesso em 20 de janeiro de 2022.

IORDANIDIS, A. *et al.* Application of TG-DTA to the study of Amynteon lignites, northern Greece. Thermochim Acta, n. 371, p. 137-41, 2001.

JAIN, M. et al. Chromium (VI) removal from aqueous system using Helianthus annuus (sunflower) stem waste. Journal of Hazardous Materials v. 162, p. 365–372, 2009.

JANUÁRIO, Eduarda Freitas Diogo et al. Remoção de ibuprofeno por meio da adsorção com carvão ativado de coco de babaçu funcionalizado com óxido de grafeno. Encontro internacional de Produção Científica, 2021.

JIN, Pengkang *et al*. Biological activated carbon treatment process for advanced water and wastewater treatment. Biomass Now-Cultivation and Utilization, p. 153-192, 2013.

JOÃO, M. V. N., Carlos, E. C. L., P.J.M. C., *et al*., "Production of activated carbons from almond shell," Fuel Processing Technology, v. 92, n. 2, pp. 234-240, Feb. 2011.

JOHNSON, C. Advances in Pretreatment and Clarification Technologies. 2014.

KABIR, Tamanna. et al. Applicability of Activated Carbon Filtration in Surface Water Treatment. AJIRSET, 2018.

KLASSON, K. T. *et al*. Activated biochar removes 100 % dibromochloropropane from field well water. Environ. Chem. Lett., v. 11, p. 271-275, 2013.

, R.I.; MITROPOULOS, A.C.; KYZAS, G.Z. Synthesis of activated carbon from food waste. Environmental Chemistry Letters, v. 17, p. 429-438, 2019.

LI, Q. *et al*. Comparison of pulverized coal combustion in air and in O2/CO2 mixtures by thermo-gravimetric analysis. J Anal Appl Pyrolysis , v. 85, p. 21-28, 2009.

MARTORANO L, VITORINO M.I., CAXIAS DA SILVA B.P, CABRAL DE MORAES J.R., LISBOA L. S., DOFF SE, REICHARDT K. Climate conditions in the eastern amazon: Rainfall variability in Belem and indicative of soil water deficit. African Journal of Agricultural Research, 12(21), pp. 1801-1810, 2017.

LIMA, L. W et al. Selenium accumulation, speciation and localization in Brazil nuts (Bertholletia excelsa H. B. K.). Plants (Basel), 8, n.8, 1-7, 2019.

MUCCIACIT, J C; BARACAT, D E. A Importância Da Água Tratada Para Ingestão Humana Utilizando Meios Filtrantes Para Purificação Deste Recurso Natural. Revista TAE, Ed. 41, 2018.

MELO, S. S. Produção de Carvão Ativado a Partir da Biomassa Residual da Castanha do Brasil (Bertholletia excelsa L.) para Adosorção de Cobre II. Orientador: Prof. Dr. Denilson Luz da Silva. 2012. 146 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ, Belém - PA, 2012.

MOODLEY, R. et al. Elemental composition and chemical characteristics of five edible nuts (almond, Brazil, pecan, macadamia and walnut) consumed in Southern Africa. Journal of Environmental Science and Health, Part B, 42, pp. 585-591, 2007.

MORAIS, R.M. Produção de Carvões Ativados Preparados a Partir de Diferentes Materiais Precursores. Orientador: Roberto Carlos Costa Lelis. 2017. 50 p. Dissertação (Mestre em Ciências) - UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO, [*S. l.*], 2017.

MULLER, C. H. E. A. Castanha-do-Brasil. EMBRAPA. Belém, PA. 1995.

NAMASIVAYAM, C.; SANGEETHA, D. Recycling of agricultural solid waste, coir pith: removal of anions, heavy metals, organics and dyes from water by adsorption onto ZnCl2 activated coir pith carbon. Journal of Hazardous Materials, v. 135, n. 1-3, p. 449-452, 2006.

NASCIMENTO, M. V. B. *et al.* Ag2−xCuxWO4 Solid Solution: Structure, Morphology, Optical Properties, and Photocatalytic Performance in the Degradation of RhB under Blue Light-Emitting Device Irradiation. The Jornal of Physical Chemistry, [*s. l.*], ano 2021, v. 125, p. 11875−11890, 1 jun. 2021.

NASCIMENTO, V. F. Caracterização de biomassas amazônicas – ouriço de castanha-do-brasil, ouriço de sapucaia e caroço do fruto do tucumã – visando sua utilização em processos de termoconversão. Dissertação de Mestrado - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Química. Campinas - SP, 2012.

NASCIMENTO, L. C.; SILVA, L. A. O.; FIGUEIREDO, L. C.; Vieira, R. K. Metodologia para Minimizar os Impactos Ambientais oriundos da Indústria de Beneficiamento de Castanha. Simpósio Internacional de Gestão, Projetos, Inovação e Sustentabilidade. Anais do IV SINGEP - São Paulo – SP – Brasil – 2015.

NATURALTEC. Carvão Ativado Ficha Técnica. Disponível em: <https://www.naturaltec.com.br/carvao-ativado-ficha-tecnica/.> Acesso em 19 de dezembro de 2021.

NOBRE, J. R. C., CASTRO, J. P., MOTTA, J. P., BIANCHI, M. L., TRUGILHO, P. F., Borges, W. M. S., & Moulin, J. C. Activated carbon production of the wood residue of the Amazonian area. Scientia Forestalis, 43(108), 895-906, 2015.

NOGUEIRA, R. M. *et al*. Avaliação da carbonização do ouriço da Castanha-do-Brasil em forno tipo tambor. Scientific Electronic Archives, v. 6, p. 7-17, 2014.

NOGUEIRA, R. M. Secagem da castanha-do-brasil em condições de floresta e carbonização do resíduo do fruto da castanheira. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Viçosa – Viçosa, MG, 2011.

NOGUEIRA, I. M. S. et al. Desenvolvimento e caracterização de painéis de partículas aglomeradas utilizando o resíduo do ouriço da Castanha-do-brasil (*Bertholletia excelsa*) e resina poliuretana derivada do óleo da mamona. Materia-Rio de Janeiro, v. 23, p. 1-11, 2018.

OLIVARES MARÍN, M. *et al*. O desenvolvimento de um carvão ativado a partir de pedras de cereja e seu uso na remoção de ocratoxina A do vinho tinto. Food Control, v. 20, n. 3, pág. 298-303, 2009.

OLIVEIRA, L. R. de. Remoção De Alumínio Em Sistema Contínuo Por Adsorção Em Coluna De Leito Fixo Com Carvão Ativado. Dissertação de mestrado, Programa de Pós-graduação em Engenharia Química, UFU, 2014.

OLIVEIRA, Ocineria Fidel de *et al*. Estudo da hidrólise catalítica do óleo de soja em reator de leito fixo. 2020.

OLIVEIRA, Leandro Arantes de; FREITAS Giunco, Natalia; DE OLIVEIRA, Ester. "Procedimentos de composição dos custos e determinação do preço de vendas em uma fábrica de camisetas sem estampas-produção em larga escala." III Congresso Nacional Online de Empreendedorismo – CONEMP – 2021.

PACHECO, Clecia Simone Gonçalves Rosa; DOS SANTOS, Reinaldo Pacheco. Impactos Ambientais dos Resíduos Sólidos Urbanos: uma análise a partir da ecoeficiência e da sustentabilidade. Ed. 1, Editora Científica Digita, Sociedade, tecnologia e meio ambiente [livro eletrônico]: avanços, retrocessos e novas perspectivas: volume 2, pag 349 a 363. SP, 2022.

PANORAMA DOS RESÍDUOS SÓLIDOS NO BRASIL - PRSB. 19ª edição. ABRELPE – Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais, 2021.

PARIKHA, J.; CHANNIWALA, S. A.; GHOASAL, G. K. A correlation for calculation HHV from proximate analysis of solid fuels. Fuel, v. 84, p. 487-494, 2005.

PHAN, Ngoc Hoa *et al*. Production of fibrous activated carbons from natural cellulose (jute, coconut) fibers for water treatment applications. Carbon, v. 44, n. 12, p. 2569-2577, 2006.

PEREIRA, E. *et al*. Preparação de carvão ativado em baixas temperaturas de carbonização a partir de rejeitos de café: utilização de FeCl3 como agente ativante. Química Nova, v. 31, n. 6, p. 1296-1300, 2008.

PEREIRA, Simone de Fátima Pinheiro *et al*. Remoção de metais de águas superficiais usando carvão vegetal de açaí (Euterpe oleracea mart). In: Proceedings of International Conference on Engineering and Technology Education. p. 401-405, 2014.

PEREIRA, D. T. O. et al. Energy quality of waste from Brazil nut (bertholletia excelsa), in the state of Pará. Brazilian Journal of Development, [S. l.], v. 5, n. 4, p. 3258-3265, 13 mar. 2019.

PORTAL TRATAMENTO DE ÁGUA. Uso eficiente do carvão ativado como meio filtrante em processos industriais. Disponível em: < https://tratamentodeagua.com.br/artigo/uso-eficiente-do-carvao-ativado-como-meio-filtrante-em-processos-industriais.>. Acesso em 14/02/2021.

QUEIROZ, A. J. P. *et al.* Analysis of deterioration and calorific value of urban solid residues. J Therm Anal Calorim, n. 123, p. 949-53, 2016.

RAMOS Mab. Ion removal Cr (III) from Aqueous Solutions by Adsorption on Activated Carbon and Biosorption and Immobilized Yeast. In: Master's Thesis. Brazil: Federal University of Pará; 2005.

RAMOS, Paulize H.; GUERREIRO, Mário C.; RESENDE, Eliane C.; GONÇALVES, Maraísa. Produção e caracterização de carvão ativado produzido a partir do efeito preto, verde, ardido (PVA) do café, Lavras, v. 32, n. 5, p. 1139-1143, 2009.

RAUPP, Fabiano Maury; BEUREN, Ilse Maria. Metodologia da pesquisa aplicável às ciências. Como elaborar trabalhos monográficos em contabilidade: teoria e prática. São Paulo: Atlas, p. 76-97, 2006.

REINOSO, F. R. Adsorbentes em la solución de algunos problemas ambientales. Ediciones CYTED, Madrid, 2004.

REIS, J. S. *et al*. Combustion properties of potential Amazon biomass waste for use as fuel. Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, v. 138, p. 3535–3539, 2019.

RESIDUALL. A tecnologia revolucionando o gerenciamento de resíduos. Quais as principais tendências? Residuall, 2019. Disponível em: < https://blog.residuall.com/tecnologias-para-residuos/>. Acesso em 16 de maio de 2022.

REZA, M. S. et al. Preparation of activated carbon from biomass and its' applications in water and gas purification, a review. Arab Journal Of Basic And Applied Sciences, 27(1), 208-238, 2020.

REZENDE, José Luiz Pereira; DE OLIVEIRA, Antônio Donizette. Análise econômica e social de projetos florestais. UFV, 2008.

RIBEIRO, M. S. Tecnopolítica em laboratórios da Embrapa e florestas de castanha. Revista de Antropologia da UFSCar (R@U), 80-104, 2018.

SAINI, Ramesh Kumar; NILE, Shivraj Hariram; PARK, Se Won. Carotenoids from fruits and vegetables: Chemistry, analysis, occurrence, bioavailability and biological activities. Food Research International, v. 76, p. 735-750, 2015.

SAKA, Cafer. BET, TG – DTG, FT-IR, SEM, análise do número de iodo e preparação de carvão ativado a partir de casca de bolota por ativação química com ZnCl2. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, v. 95, p. 21-24, 2012.

SANTOS, R. História econômica da Amazônia: 1800-1920. São Paulo: T. A. Queiroz, 1980. 35 Castanha-do-brasil: Aspectos Socioeconômicos nas Comunidades da RDS Piagaçu-Purus, Município de Anori, AM.

SANTOS, C. DA C. S. *et al*. Descarte E Reaproveitamento De Resíduos Da Castanha-do-brasil (Bertholletia Excelsa) Em Uma Cooperativa Extrativista No Município De Laranjal Do Jari. I Congresso Sul -Americano de Resíduos Sólidos e Sustentabilidade. Anais...Gramado: 2018.

SANTOS, Suili de Fátima de Oliveira Miranda e HATAKEYAMA, Kazuo. Processo sustentável de produção de carvão vegetal quanto aos aspectos: ambiental, econômico, social e cultural. Revista Scielo, v. 22, n. 2, p. 309-321, mar/abr. 2012.

SEBRAE. O cultivo e o mercado da castanha do Brasil. SEBRAE, 2022. Disponível em: < https://www.sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/artigos/o-cultivo-e-o-mercado-da-castanha-do-brasil,c0ca9e665b182410VgnVCM100000b272010aRCRD#:~:text=O%20fruto%20da%20castanheira%20%C3%A9,17%25%20de%20prote%C3%ADna%20quando%20desidratada.>. Acesso em 27 de janeiro de 2022.

SHANK, John K.; GOVINDARAJAN, Vijay. A revolução dos custos: como reinventar e redefinir sua estratégia de custos para vencer em mercados crescentemente competitivos. Elsevier, 1997.

SHOAIB, Muhammad; Al-Swaidan, Hassan M. Optimization and characterization of sliced activated carbon prepared from date palm tree fronds by physical activation. Biomass and bioenergy, v. 73, p. 124-134, 2015.

SILVA, L. J. S. et al. Castanha-do-brasil: Aspectos Socioeconômicos nas Comunidades da RDS Piagaçu- -Purus, Município de Anori, AM. Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, 2017. 35 p.: il. color. - (Documentos / Embrapa Amazônia Ocidental, ISSN 1517-3135; 135).

SILVA, Alexandre Alcântara da. Estrutura, Análise e Interpretação das Demonstrações Contábeis. 3ª edição. Editora Atlas, São Paulo, 2012.

SILVA, M. M. P. et al. Educação ambiental: ferramenta indispensável à gestão municipal de resíduos sólidos. Brazilian Journal of Development, v.6, n.5, p.28743-28757, 2020.

SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE GESTÃO, Projetos, Inovação e Sustentabilidade. Anais do IV SINGEP - São Paulo – SP – Brasil – 2015.

SOARES, Simone Cesario; SIGNOR, Altevir. Água um bem de todos: Interfaces desenvolvimento e sustentabilidade. Research, Society and Development, v. 10, n. 9, p. e1310917728-e1310917728, 2021.

SOLANKI, A.; H. BOYER, T. Pharmaceutical removal in synthetic human urine using biochar. Environmental Science: Water Research & Technology, v. 3, p. 553-565, 2017.

SOUZA, R., & TRINDADE, A. A biomassa como solução energética para o estado do Amazonas. In: 10º Congresso sobre Geração Distribuída e Energia no Meio Rural, São Paulo, 2015.

SPESSATO, Lucas et al. KOH-super activated carbon from biomass waste: Insights into the paracetamol adsorption mechanism and thermal regeneration cycles. Journal of hazardous materials, v. 371, p. 499-505, 2019.

SNATURAL AMBIENTE. Carvão Ativado para Filtração de Água e Ar. Snatural Ambiente, 2021. Disponível em: < https://www.snatural.com.br/carvao-ativado-filtracao-agua-ar/.>. Acesso em 25/02/2021.

SURIYANON, N. *et al.* Selective adsorption mechanisms of antilipidemic and non-steroidal anti-inflammatory drug residues on functionalized silica-based porous materials in a mixed solute. Chemosphere, v. 136, p. 222-231, 2015.

TAN, I. A. W.; AHMAD, A. L.; HAMEED, B. H. Adsorption of basic dye on high-surface-area activated carbon prepared from coconut husk: Equilibrium, kinetic and thermodynamic studies. Journal of hazardous materials, v. 154, n. 1-3, p. 337-346, 2008.

TRATA BRASIL. Etapas para o Tratamento de Água. Disponível em: <http://www.tratabrasil.org.br/blog/2019/04/18/venha-conhecer-as-etapas-para-o-tratamento-de-agua/>. Acesso em 20/03/2021.

TCHIKUALA, Emílio; Mourão, Paulo; Nabais, João. Valorisation of natural fibres from african baobab wastes by the production of activated carbons for adsorption of diuron. Procedia engineering, v. 200, p. 399-407, 2017.

TECNOCARBO CARVÕES ATIVADOS. O que é carvão ativado?. Tecnocarbo Carvões Ativados, 2022. Disponível em: <https://tecnocarbo.com.br/o-que-e-carvao-ativado/>. Acesso em 28 de janeiro de 2022.

UNICEF. Objetivos de Desenvolvimento Sustentável. Disponível em: <https://www.unicef.org/brazil/objetivos-de-desenvolvimento sustentavel#:~:text=Os%20ODS%20represetam%20um%20plano> acesso em: 09 de nov. 2022.

VALENÇA, Rodrigo Maia *et al*. Adsorção de Fluoreto em Solução Aquosa e em Água de Abastecimento em Carvão Ativado à Base de Casca de Castanha-do-brasil. Engenharia Ambiental: Pesquisa e Tecnologia, v. 14, n. 2, 2017.

VERGARA, Walter Roberto et al. Análise de viabilidade econômico-financeira para aquisição de uma unidade de armazenagem de soja e milho. Revista Gestão da Produção Operações e Sistemas, v. 12, n. 1, p. 41, 2017.

VGRESIDUOS. Conheça algumas tecnologias para tratamento de resíduos sólidos. VGResíduos, 2020. Disponível em: < https://www.vgresiduos.com.br/blog/conheca-algumas-tecnologias-para-tratamento-de-residuos-solidos/>. Acesso em 16 de maio de 2022.

VIA FILTRO. Filtros de Carvão Ativado. Via Filtros, 2021. Disponível em: <https://loja.viafiltros.com.br/carvao-ativado>. Acesso em 18 de dezembro de 2021.

VIANA, Leandro Gomes; CRUZ, Patrícia Silva. Reaproveitamento de Resíduos Agroindustriais. In: Congresso Baiano de Engenharia Sanitária e Ambiental, IV COBESA, Cruz das Almas – Bahia, Brasil, 2016.

XIANG, Y. *et al.* Carbon-based materials as adsorbent for antibiotics removal: Mechanisms and influencing factors. J. Environ, v. 237, p. 128-138, 2019.

ZABANIOTOU, A. et al. Experimental study of pyrolysis for potential energy, hydrogen and carbon material production from lignocellulosic biomass. International Journal of Hydrogen Energy, v. 33, n. 10, p. 2433-2444, 2008.

ZAGO, A. P. P et al. Área Temática: Finanças Cálculo Do Ponto De Equilíbrio em Condições de Risco e Incerteza. Universidade Federal de Uberlândia, 2005.

ZHAO, J. *et al*. TG-DSC analysis of straw biomass pytolysis and release characteristics of noncondensable gas in a fixed-bed-reator. J Dry Technol, n. 53, p. 47-55, 2017.

ZIN, R. A. et al. Avaliação das equipes de vendas de duas empresas com a matriz BCG utilizando lucro e margem de contribuição. Gestão & Produção, v. 25, p. 826-838, 2018.

ZIPROUDINA N. et al. Plantar infrared thermography measurements and low back pain intensity. Journal of Manipulative and Physiological Therapeutic. 29:219-223, 2006.

ZUIDEMA, P.A.; BOOT, R.G.A. Journalof Tropical Ecology, v.18, p.1-31, 2002.

WERNK e, Rodney. Gestão de custos: uma abordagem prática. São Paulo: Atlas, 2017.
WERTHER, M. Saenger, E.U. Hartge, T. Ogada, Z. Siagi Combustion of agricultural residues Progress in Energy and Combustion Science, 26 (1), pp. 1-27, 2017.

WWF. Castanheira-do-Brasil: grandiosa e ameaçada. WWF, 2022. Disponível em: < https://www.wwf.org.br/natureza_brasileira/especiais/biodiversidade/especie_do_mes/fevereiro_castanheira_do_brasil/ >. Acesso em 20 de janeiro de 2022.

APÊNDICES

APÊNDICE I – DADOS FINANCEIROS CONSOLIDADOS QUE SERVIRAM DE BASE PARA AS ANÁLISES DE VIABILIDADE ECONÔMICA DA IMPLATAÇÃO DE UNIDADE FABRIL PARA A PRODUÇÃO DE CARVÃO ATIVADO NA FAZENDA ARUANÃ

Matéria Prima	**Unid. de Medida**	**Cenários**		
		1	**2**	**3**
1. Castanheiras	Un	200.000	1.300.000	2.395.644
2. Produção de ouriços (29 x 1)	Un	5.800.000	37.700.000	69.473.676
3. Quantidade útil para produção (95% de 2)	Un	5.510.000	35.815.000	66.000.000
4. Produção de carvão ativado (0,4% de 3)	**Kg**	**22.040**	**143.260**	**264.000**
Material de Embalagem	**R$ unit**	**1**	**2**	**3**
Sacos	1,00	22.040,00	143.260,00	264.000,00
Rótulos	0,50	11.020,00	71.630,00	132.000,00
Total		**33.060**	**214.890**	**396.000**

Resultado Financeiro			
Discriminação	**CENÁRIOS**		
	1	**2**	**3**
1 - RECEITA TOTAL	**551.000**	**3.581.500**	**6.600.000**
2 - CUSTO TOTAL	**1.283.321**	**1.675.408**	**3.617.359**
2.1 - Custos Fixos	1.193.198,58	1.358.127,33	1.516.598,58
2.2 - Custos Variáveis	90.122,49	317.281,17	2.100.760,20
3 - RESULTADO FINANCEIRO (1 - 2)	**(732.321)**	**1.906.092**	**2.982.641**
4 - MARGEM DE CONTRIBUIÇÃO (1 - 2.2)	**460.878**	**3.264.219**	**4.499.240**
5 - PONTO DE NIVELAMENTO (2.1/4)	**258,90%**	**41,61%**	**33,71%**
6 - RENTABILIDADE (3/1)	**-132,91%**	**53,22%**	**45,19%**

Demonstração do Fluxo de Caixa Operacional	CENÁRIOS		
	1	2	3
1 - Receita Total	551.000	3.581.500	6.600.000
2 - Custo Total	1.283.321	1.675.408	3.617.359
3 - Lucro Bruto (1 - 2)	- 732.321	1.906.092	2.982.641
4 - Provisão para o IR (25% de 3)		476.523	745.660
5 - Contribuição Social		171.548	268.438
6 - Lucro Líquido (3 - 4 - 5)	- 732.321	1.258.020	1.968.543
7 - (+) Depreciação	11.078	11.078	11.078
8 - Fluxo de Caixa Gerado	- 721.243	1.269.098	1.979.621

APÊNDICE II. CENÁRIOS

CENÁRIO 1	PERÍODOS				
	1	2	3	4	5
1 - Receita Total	551.000	551.000	551.000	551.000	551.000
2 - Custo Total	1.283.321	1.283.321	1.283.321	1.283.321	1.283.321
3 - Lucro Bruto (1 - 2)	- 732.321	- 732.321	- 732.321	- 732.321	- 732.321
4 - Provisão para o IR (25% de 3)					
5 - Contribuição Social					
6 - Lucro Líquido (3 - 4 - 5)	- 732.321	- 732.321	- 732.321	- 732.321	- 732.321
7 - (+) Depreciação	-	-	-		
8 - Fluxo de Caixa Gerado	- 732.321	- 732.321	- 732.321	- 732.321	- 732.321

INDICADORES	Investimento Inicial	Caixa Operacional Gerado				
		1	2	3	4	5
	- 1.653.234,94	- 732.321,07	- 732.321,07	-732.321,07	- 732.321,07	- 732.321,07
Valor Presente Líquido - VPL	-R$ 3.622.651,34					
Taxa Interna de Retorno - TIR						
Valor Anual Equivalente	-R$ 1.347.071,09					
Lucratividade	-132,91%					
Razão Custo-Benefício (B/C)	42,94%					
Ponto de Equilíbrio (qtd)	57061					

CENÁRIO 2	PERÍODOS				
	1	2	3	4	5
1 - Receita Total	3.581.500	3.581.500	3.581.500	3.581.500	3.581.500
2 - Custo Total	1.675.408	1.675.408	1.675.408	1.675.408	1.675.408
3 - Lucro Bruto (1 - 2)	1.906.092	1.906.092	1.906.092	1.906.092	1.906.092
4 - Provisão para o IR (25% de 3)	- 476.523	- 476.523	- 476.523	- 476.523	- 476.523
5 - Contribuição Social	- 171.548	- 171.548	- 171.548	- 171.548	- 171.548
6 - Lucro Líquido (3 - 4 - 5)	1.258.020	1.258.020	1.258.020	1.258.020	1.258.020
7 - (+) Depreciação	11.078	11.078	11.078	11.078	11.078
8 - Fluxo de Caixa Gerado	1.269.098	1.269.098	1.269.098	1.269.098	1.269.098

INDICADORES	Investimento Inicial	Caixa Operacional Gerado				
		1	2	3	4	5
	- 1.891.575,09	1.269.098,19	1.269.098,19	1.269.098,19	1.269.098	1.269.098
Valor Presente Líquido - VPL	R$ 1.521.385,30					
Taxa Interna de Retorno - TIR	61%					
Valor Anual Equivalente	R$ 565.722,16					
Lucratividade	35,13%					
Razão Custo-Benefício (B/C)	154,14%					
Ponto de Equilíbrio (qtd)	59605					

CENÁRIO 3	PERÍODOS				
	1	2	3	4	5
1 - Receita Total	6.600.000	6.600.000	6.600.000	6.600.000	6.600.000
2 - Custo Total	3.617.359	3.617.359	3.617.359	3.617.359	3.617.359
3 - Lucro Bruto (1 - 2)	2.982.641	2.982.641	2.982.641	2.982.641	2.982.641
4 - Provisão para o IR (25% de 3)	- 745.660	- 745.660	- 745.660	- 745.660	- 745.660
5 - Contribuição Social	- 268.438	- 268.438	- 268.438	- 268.438	- 268.438
6 - Lucro Líquido (3 - 4 - 5)	1.968.543	1.968.543	1.968.543	1.968.543	1.968.543
7 - (+) Depreciação	11.078	11.078	11.078	11.078	11.078
8 - Fluxo de Caixa Gerado	1.979.621	1.979.621	1.979.621	1.979.621	1.979.621

INDICADORES	Investimento Inicial	Caixa Operacional Gerado				
		1	2	3	4	5
	- 2.128.971,470	1.979.621,01	1.979.621,01	1.979.621,01	1.979.621	1.979.621
Valor Presente Líquido - VPL	3.194.783,721					
Taxa Interna de Retorno - TIR	0,891					
Valor Anual Equivalente	1.187.969,911					
Lucratividade	0,298					
Razão Custo-Benefício (B/C)	1,425					
Ponto de Equilíbrio (qtd)	88.988,816					

APÊNDICE III. INDICADORES ECONÔMICOS PARA CADA CENÁRIO

INDICADORES DOS CENÁRIOS 1, 2 e 3	CENÁRIO		
	1	**2**	**3**
Valor Presente Líquido - VPL	-R$ 3.622.651,34	R$ 1.521.385	R$ 3.194.784
Taxa Interna de Retorno - TIR		R$ 1	R$ 1
Valor Anual Equivalente	-R$ 1.347.071,09	R$ 565.722	R$ 1.187.970
Lucratividade	-132,91%	35,13%	29,83%
Razão Custo-Benefício (B/C)	0,43	1,54	1,43
Ponto de Equilíbrio (qtd)	57061	59605	88989
Payback (anos)		1,08	1,49
		1 ano, 1 mês	1 ano, 4 meses e 3 dias

ANÁLISE DE SENSIBILIDADE - CENÁRIO 2

Variação nos custos e despesas	Variação nas receitas										
R$ 1.521.385	**-25%**	**-20%**	**-15%**	**-10%**	**-5%**	**0%**	**5%**	**10%**	**15%**	**20%**	**25%**
75%	-7.184.470	-6.855.589	-6.494.157	-6.097.530	-5.662.950	-5.187.540	-4.668.309	-4.102.149	-3.485.836	-2.816.030	-2.089.273
60%	-5.197.894	-4.869.013	-4.507.581	-4.110.954	-3.676.374	-3.200.964	-2.681.734	-2.115.574	-1.499.261	-829.454	-102.698
45%	-3.585.442	-3.256.561	-2.895.129	-2.498.502	-2.063.922	-1.588.512	-1.069.282	-503.122	113.191	782.998	1.509.754
30%	-2.293.184	-1.964.303	-1.602.871	-1.206.245	-771.664	-296.255	222.976	789.136	1.405.449	2.075.256	2.802.012
15%	-1.271.593	-942.712	-581.280	-184.654	249.927	725.336	1.244.567	1.810.727	2.427.040	3.096.847	3.823.603
0%	-475.544	-146.663	214.769	611.395	1.045.976	**1.521.385**	2.040.616	2.606.776	3.223.089	3.892.896	4.619.652
-15%	135.684	464.565	825.998	1.222.624	1.657.205	2.132.614	2.651.845	3.218.005	3.834.318	4.504.125	5.230.881
-30%	598.413	927.295	1.288.727	1.685.353	2.119.934	2.595.343	3.114.574	3.680.734	4.297.047	4.966.854	5.693.610
-45%	944.560	1.273.441	1.634.873	2.031.500	2.466.080	2.941.490	3.460.721	4.026.881	4.643.194	5.313.000	6.039.757
-60%	1.201.639	1.530.520	1.891.953	2.288.579	2.723.159	3.198.569	3.717.800	4.283.960	4.900.273	5.570.079	6.296.836
-75%	1.392.764	1.721.645	2.083.077	2.479.704	2.914.284	3.389.694	3.908.924	4.475.084	5.091.397	5.761.204	6.487.960

ANÁLISE DE SENSIBILIDADE - CENÁRIO 3

Variação nos custos e despesas	Variação nas receitas										
R$ 3.194.784	**-25%**	**-20%**	**-15%**	**-10%**	**-5%**	**0%**	**5%**	**10%**	**15%**	**20%**	**25%**
75%	-14.970.343	-14.364.280	-13.698.231	-12.967.327	-12.166.481	-11.290.394	-10.333.554	-9.290.233	-8.154.489	-6.920.167	-5.580.898
60%	-10.681.146	-10.075.083	-9.409.035	-8.678.130	-7.877.284	-7.001.197	-6.044.357	-5.001.036	-3.865.292	-2.630.970	-1.291.701
45%	-7.199.716	-6.593.653	-5.927.605	-5.196.700	-4.395.854	-3.519.767	-2.562.927	-1.519.606	-383.862	850.460	2.189.729
30%	-4.409.614	-3.803.551	-3.137.503	-2.406.598	-1.605.752	-729.665	227.175	1.270.496	2.406.240	3.640.562	4.979.831
15%	-2.203.907	-1.597.844	-931.795	-200.890	599.956	1.476.042	2.432.882	3.476.204	4.611.947	5.846.269	7.185.539
0%	-485.165	120.898	786.946	1.517.851	2.318.697	**3.194.784**	4.151.624	5.194.945	6.330.689	7.565.011	8.904.280
-15%	834.534	1.440.597	2.106.645	2.837.550	3.638.396	4.514.482	5.471.323	6.514.644	7.650.388	8.884.709	10.223.979
-30%	1.833.608	2.439.671	3.105.719	3.836.624	4.637.470	5.513.556	6.470.397	7.513.718	8.649.461	9.883.783	11.223.053
-45%	2.580.969	3.187.032	3.853.081	4.583.986	5.384.832	6.260.918	7.217.758	8.261.080	9.396.823	10.631.145	11.970.414
-60%	3.136.027	3.742.090	4.408.138	5.139.043	5.939.889	6.815.976	7.772.816	8.816.137	9.951.881	11.186.202	12.525.472
-75%	3.548.682	4.154.745	4.820.793	5.551.698	6.352.544	7.228.631	8.185.471	9.228.792	10.364.536	11.598.858	12.938.127

APÊNDICE V - COMPROVANTES DE SUBMISSÃO, ACEITAÇÃO E/OU PUBLICAÇÃO DOS ARTIGOS

I. THE POTENTIAL OF ACTIVATED CARBON IN THE TREATMENT OF WATER FOR HUMAN CONSUMPTION, A STUDY OF THE STATE OF THE ART AND ITS TECHNIQUES USED FOR ITS DEVELOPMENT

Advances in Bioscience and Biotechnology, 2021, 12, 143-153
https://www.scirp.org/journal/abb
ISSN Online: 2156-8502
ISSN Print: 2156-8456

The Potential of Activated Carbon in the Treatment of Water for Human Consumption, a Study of the State of the Art and Its Techniques Used for Its Development

Adenes Teixeira Alves[1*], Dimas José Lasmar[1], Ires Paula de Andrade Miranda[2], Jamal da Silva Chaar[1], Jardson dos Santos Reis[1]

[1]Federal University of Amazonas-UFAM, Manaus, Amazonas, Brazil
[2]National Institute for Amazon Research (INPA), Manaus, Amazonas, Brazil
Email: *professoradenes@hotmail.com, dimas.lasmar@gmail.com, ires@inpa.gov.br, jchaar@gmail.com, jardsonreis@ufam.edu.br

How to cite this paper: Alves, A.T., Lasmar, D.J., de Andrade Miranda, I.P., da Silva Chaar, J. and dos Santos Reis, J. (2021) The Potential of Activated Carbon in the Treatment of Water for Human Consumption, a Study of the State of the Art and Its Techniques Used for Its Development. *Advances in Bioscience and Biotechnology*, **12**, 143-153.
https://doi.org/10.4236/abb.2021.126010

Received: May 5, 2021
Accepted: June 8, 2021
Published: June 11, 2021

Copyright © 2021 by author(s) and Scientific Research Publishing Inc.
This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).
http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/

Open Access

Abstract

This review article addresses the use of biological activated carbon in water treatment and its techniques for its development, with the premise of analyzing the potential of Activated Carbon (AC) in the treatment of water for human consumption. For this end, it aims to identify the techniques used for the production of AC, use and its benefits, production from vegetable waste for water treatment. Activated carbon has the ability to selectively collect gases, liquids and impurities inside its pores, which is the reason it is widely used in filtration systems and for that the treatment of water, the coal fulfills the function of adsorbent, retaining in its pores certain types of impurities: large particles that cause undesirable color, taste or odor in the water. In the treatment of effluents, coal is used for clarification, deodorization and purification of effluents.

Keywords

Activated Carbon, Water Treatment, Techniques Used

II. THERMAL DIAGNOSIS OF HEAT CONDUCTION AND COMBUSTION TIME OF FRUITS OF THE BRAZIL NUT TREE (*BERTHOLLETIA EXCELSA* BONPL.)

Scientific Research Publishing

Advances in Bioscience and Biotechnology, 2020, 11, 60-71
https://www.scirp.org/journal/abb
ISSN Online: 2156-8502
ISSN Print: 2156-8456

Thermal Diagnosis of Heat Conduction and Combustion Time of Fruits of the Brazil Nut Tree (*Bertholletia excelsa* Bonpl.)

Adenes Teixeira Alves[1*], Lucieta Guerreiro Martorano[2], Gelson Dias Florentino[3], Dimas José Lasmar[1], Íres Paula de Andrade Miranda[4], Leila Sheila Lisboa[5], Jamal da Silva Chaar[1]

[1]Federal University of Amazonas-UFAM, Manaus, Amazonas, Brazil
[2]Brazilian Agricultural Research Corporation (EMBRAPA) Eastern Amazon (CPATU/NAPT), Santarém, Pará, Brazil
[3]Biodiversity and Biotechnology Network of the Legal Amazon (Bionorte), Belém, Pará, Brazil
[4]National Institute for Amazon Research (INPA), Manaus, Amazonas, Brazil
[5]Geoprocessing, Belém, Pará, Brazil
Email: *professoradenes@hotmail.com, martorano.lucietta@gmail.com, gelson.florentino@lasalle.org.br, dimas.lasmar@gmail.com, ires@inpa.gov.br, leilasheila@gmail.com, jchaar@gmail.com

How to cite this paper: Alves, A.T., Martorano, L.G., Florentino, G.D., Lasmar, D.J., de Andrade Miranda, Í.P., Lisboa, L.S. and da Silva Chaar, J. (2020) Thermal Diagnosis of Heat Conduction and Combustion Time of Fruits of the Brazil Nut Tree (*Bertholletia excelsa* Bonpl.). *Advances in Bioscience and Biotechnology*, **11**, 60-71.
https://doi.org/10.4236/abb.2020.112005

Received: December 27, 2019
Accepted: February 22, 2020
Published: February 25, 2020

Copyright © 2020 by author(s) and Scientific Research Publishing Inc.
This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).
http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/

Open Access

Abstract

The objective of this work was to evaluate the spatial and temporal dynamics of the process of combustion of fruits of the Brazil nut tree (*Bertholletia excelsa* Bonpl.) using thermographic images in order to characterize the potential of this biomass as an energy source for use in ceramic kilns. Infrared thermography was used as a diagnostic tool, and the trial was conducted in November 2018, in two blocks with two repetitions in each, with the fruits organized so that the cavity was oriented upward and also downward. The thermograms were analyzed using Flir Tools (6.3 v). The temperatures were the highest in the center of the fruits (>160˚C), attaining incandescence in 6 min 30 s. Heat was propagated from the center to the edge, and this process was quicker for fruits with their cavities pointed upward. A second order polynomial model explained combustion time with a maximum duration of 7.2 minutes. The thermographic diagnostic has the potential to be used in management strategies for this biomass as an energy source, thus aggregating value to the residuals that are normally left in the forest during harvest by extractivists.

Keywords

Residual Biomass, Thermographic Patterns, Non-Wood Forest Products

III. PRODUÇÃO DE CARVÃO ATIVADO ATRAVÉS DE RESÍDUOS DA CASTANHEIRA-DO-BRASIL (*BERTHOLLETIA EXCELSA* BONPL.) VOLTADOS NA SOLUÇÃO PARA TRATAMENTO DE ÁGUAS

Research, Society and Development, v. 11, n. 12, e394111234482, 2022
(CC BY 4.0) | ISSN 2525-3409 | DOI: http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v11i12.34482

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_rabello98@hotmail.com
Jamal da Silva Chaar
ORCID: https://orcid.org/0000-0003-2697-0278
Universidade Federal do Amazonas, Brasil
E-mail: jchaar@gmail.com

IV. ESTUDO DE VIABILIDADE ECONÔMICA DA PRODUÇÃO DE CARVÃO ATIVADO COM RESÍDUOS DE OURIÇO DA CASTANHA-DO-BRASIL (*Bertholletia excelsa*)

GeAS
e-ISSN:2316-9834
Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade
Journal of Environmental Management & Sustainability

Submissões Ativas

ATIVO ARQUIVO

ID	MM-DD ENVIADO	SEÇÃO	AUTORES	TÍTULO	SITUAÇÃO
22746	18/08	ART	Alves, Lasmar, Miranda, Filho,...	ESTUDO DE VIABILIDADE ECONÔMICA DA PRODUÇÃO DE CARVÃO...	EM AVALIAÇÃO

1 a 1 de 1 itens

Iniciar nova submissão

e-ISSN: 2316-9834
QUALIS-CAPES
A3
Scopus
CiteScore 2021
CiteScoreTracker 2022