



UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS
CÂMPUS UNIVERSITÁRIO DE PALMAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS DO AMBIENTE

DEBORA CRISTINA DE FREITAS ROMÃO

ESTUDO DAS POTENCIALIDADES DOS RESÍDUOS DE BIOMASSA DA
AMAZÔNIA LEGAL PARA APROVEITAMENTO TECNOLÓGICO, SOCIAL E
AMBIENTAL

PALMAS - TO

2022

DEBORA CRISTINA DE FREITAS ROMÃO

ESTUDO DAS POTENCIALIDADES DOS RESÍDUOS DE BIOMASSA DA
AMAZÔNIA LEGAL PARA APROVEITAMENTO TECNOLÓGICO, SOCIAL E
AMBIENTAL

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ciências do Ambiente, da Universidade Federal do Tocantins, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre.

Orientador (a): Prof.^a Dr.^a Magale Karine Diel Rambo.

Coorientador (a): Prof.^a Dr.^a Elisandra Scapin.

PALMAS - TO

2022

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

R761e Romão, Debora Cristina de Freitas.

ESTUDO DAS POTENCIALIDADES DOS RESÍDUOS DE BIOMASSA DA AMAZÔNIA LEGAL PARA APROVEITAMENTO TECNOLÓGICO, SOCIAL E AMBIENTAL. / Debora Cristina de Freitas Romão. – Palmas, TO, 2022.

70 f.

Dissertação (Mestrado Acadêmico) - Universidade Federal do Tocantins – Câmpus Universitário de Palmas - Curso de Pós-Graduação (Mestrado) em Ciências do Ambiente, 2022.

Orientadora : Magale Karine Diel Rambo

Coorientadora : Elisandra Scapin

1. Biomassas lignocelulósicas. 2. Resíduos. 3. Biorrefinarias. 4. Energia. I.
Título

CDD 628

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

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

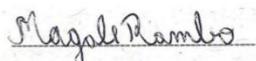
DEBORA CRISTINA DE FREITAS ROMÃO

**ESTUDO DAS POTENCIALIDADES DOS RESÍDUOS DE BIOMASSA DA
AMAZÔNIA LEGAL PARA APROVEITAMENTO TECNOLÓGICO, SOCIAL
E AMBIENTAL**

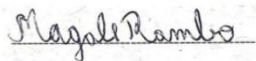
Dissertação aprovada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre no Curso de Mestrado em Ciências do Ambiente, da Universidade Federal do Tocantins, na linha de Biodiversidade e Recursos Naturais.

Data de Aprovação: 14/03/2022

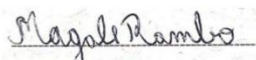
Banca Examinadora:



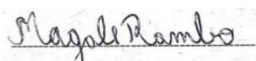
Profª. Dra. Magale Karine Diel Rambo – Orientadora
Universidade Federal do Tocantins, Ciências do Ambiente



Profª. Dra. Elisandra Scapin – Coorientadora
Universidade Federal do Tocantins, Ciências do Ambiente



Prof. Dr. Roberto Dalmo Varallo Lima de Oliveira
Universidade Federal do Paraná



Profª. Dra. Angélica Jaconi
University of Kentucky

DEDICATÓRIA

*Aos meus pais e irmãos,
que são a base sólida e amorosa da minha vida.*

AGRADECIMENTOS

Antes de tudo, dou graças à Deus, o criador da vida e de toda a vastidão do universo em que existimos. Sem Ele nada seria possível.

Aos meus pais, Renato e Lucilma, por sempre me incentivarem na caminhada acadêmica e por fornecerem todo o apoio necessário para que essa jornada fosse possível.

Aos meus irmãos, Sara e Lucas, pelo companheirismo e amor demonstrados a mim.

Às minhas queridas orientadoras, professora Magale Rambo e professora Elisandra Scapin, por toda a paciência, cooperação, encorajamento e trabalho árduo que compartilharam tão humildemente comigo nesses dois anos.

Aos meus colegas, Cláudio Carneiro, Nicole Marasca, Mateus Brito e Lorena Barbosa por me ajudarem em tantas etapas intermináveis de laboratório e de estudos. Vocês foram incríveis!

Aos meus colegas de mestrado do PPGCiamb – UFT, pela amizade e pela experiência de compartilhar conhecimentos riquíssimos.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABIR	Associação Brasileira das Indústrias de Refrigerantes e de bebidas não alcoólicas
ADF	Fibra de Detergente Ácido (do inglês, <i>Acid Detergent Fiber</i>)
AEV	Valor Médio de Energia (do inglês, <i>Average Energy Value</i>)
BCA	Biochar de coco-verde ativado
AIA	Cinza insolúvel em ácido (do inglês, <i>Acid-Insoluble Ash</i>)
AIR	Resíduo insolúvel em ácido (do inglês, <i>Acid-Insoluble Residue</i>)
ART	Açúcar redutor total
ASL	Lignina solúvel em ácido (do inglês, <i>Acid-Soluble Lignin</i>)
ASTM	Sociedade Americana de Testes e Materiais (do inglês, <i>American Society for Testing and Materials</i>)
BCC	Biochar de cascas de coco-verde
BET	Brunauer-Emmett-Teller
BWY	Rendimento de resíduos de biomassa (do inglês, <i>Biomass Waste Yield</i>)
CVAC	Carvão vegetal ativado comercial
DNS	ácido 3,5-dinitrosalicílico (do inglês, <i>3,5-dinitrosalicylic acid</i>)
GC-MS	Cromatografia Gasosa acoplada à Espectrometria de Massas (do inglês, <i>Gas Chromatography Mass Spectrometry</i>)
HHV	Maior valor de aquecimento (do inglês, <i>Higher Heating Value</i>)
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
KL	Lignina de Klason (do inglês, <i>Klason Lignin</i>)
MDF	Fibra de média densidade (do inglês, <i>Medium Density Fiberboard</i>)
NDF	Fibra de Detergente Neutro (do inglês, <i>Neutral Detergent Fiber</i>)
NREL	Laboratório Nacional de Energia Renovável (do inglês, <i>National Renewable Energy Laboratory</i>)
pH	Potencial Hidrogeniônico
SUDAM	Superintendência de Desenvolvimento da Amazônia
TEP	Potencial energético teórico (do inglês, <i>Theoretical Energy Potential</i>)
TL	Lignina total (do inglês, <i>Total Lignin</i>)
UV-Vis	Ultravioleta visível

PRODUÇÃO ACADÊMICA

I) Artigos publicados:

ROMÃO, D. C. F.; SANTANA JUNIOR, C. C.; BRITO, M. R.; QUEIROZ, A. O.; SILVA, G. S.; RAMBO, M. K. D.; RAMBO, M. C. D.; BARBOSA, L. N. Optimizing the process of extraction and acid hydrolysis for Amazon and Cerrado biomass. **International Journal of Advanced Engineering Research and Science**, v. 7 (9), p. 160-165, 2020. DOI: 10.22161/ijaers.79.18.

ROMÃO, D. C. F.; SANTANA JUNIOR, C. C.; BRITO, M. R.; SCAPIN, E.; RAMBO, M. C. D.; RAMBO, M. K. D. Assesment of the economic and energy potential of residues from the green coconut industry. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, p. 1-10, 2022. DOI: <https://dx.doi.org/10.21577/0103-5053.20220042>.

RESUMO GERAL

ROMÃO, D. C. F. Estudo das potencialidades dos resíduos de biomassa da Amazônia Legal para aproveitamento tecnológico, social e ambiental. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Tocantins, Curso de Pós-Graduação em Ciências do Ambiente, 2022.

A Amazônia Legal abriga uma vasta biodiversidade e, assim, os recursos agrofloretais que a compõem fazem parte da cadeia produtiva agrícola e do extrativismo vegetal que servem de sustento para muitas comunidades tradicionais por meio de atividades econômicas industriais e comerciais. Entre esses recursos encontram-se as biomassas lignocelulósicas que, após seu beneficiamento, geram grandes quantidades de resíduos. A partir desses resíduos, por suas características físico-químicas, é possível obter diversos compostos de alto valor agregado com aplicabilidade dentro do contexto das biorrefinarias. Foram estudados os resíduos do coco-verde, babaçu e castanha-do-brasil na fração das cascas. Esses resíduos foram submetidos a técnicas como análise química imediata (teor de umidade, cinzas, matéria volátil, e carbono fixo), extração de Soxhlet, hidrólise ácida, espectroscopia UV, difração de raios-x, pirólise, análise de Brunauer-Emmett-Teller (BET), análise por Cromatografia Gasosa acoplada à Espectrometria de Massas (GC-MS) e cálculos de estimativa do potencial econômico e energético buscando produzir compostos como açúcares, bio-óleo, biochar, e outros bioprodutos de valor agregado foram estudados. Os teores de açúcares redutores totais e de lignina foram superiores a 28% e 30%, respectivamente. A cristalinidade da celulose variou entre 25 e 40%, com maiores valores para o babaçu, que também apresentou valores mais altos de glicose e açúcar total. Os rendimentos encontrados para o biochar e o bio-óleo das cascas do coco-verde foram de 31% e 30%, respectivamente. Os principais componentes encontrados no bio-óleo foram furfural (29,23%), fenol (22,18%) e isoeugenol (10,26%), compostos que podem ser empregados na produção de química fina e plásticos, agroquímicos, biomateriais, na indústria farmacêutica e alimentícia. O biochar apresentou valores de área superficial (BET e Langmuir) maiores que 300 m²/g e um volume de microporos de 0,11 cm³/g, podendo ser utilizado como um adsorvente satisfatório. O potencial energético teórico estimado do biochar e bio-óleo foi de 208.107.180 MJ e 190.205.438 MJ, equivalente a 3.729.518,4 toneladas de casca de coco-verde, que seriam suficientes para suprir o consumo energético de 5.734.747 residências brasileiras em um período de 12 meses.

Palavras-chave: biomassas lignocelulósicas; resíduos; biorrefinarias; açúcares; pirólise; bio-óleo; biochar; energia, rentabilidade econômica.

ABSTRACT

The Legal Amazon is home to vast biodiversity and, thus, specific and differentiated agroforestry resources on the part of the plant production chain that support traditional communities through diversified and commercial activities. Among these resources, such as lignocellulosic biomasses, which, after processing, are large in proportion of waste. From this information, due to their physicochemical characteristics, it is possible to obtain several compounds of high added value with applicability within the context of biorefineries. The residues of green coconut, babassu and Brazil nut in the husk fraction were studied. These residues were subjected to techniques such as immediate chemical analysis (moisture content, ash, volatile matter, and fixed carbon), Soxhlet extraction, acid hydrolysis, UV spectroscopy, x-ray diffraction, pyrolysis, Brunauer-Emmett-Teller analysis. (BET), analysis by Gas Chromatography Mass Spectrometry (GC-MS) and calculations to estimate the economic and energy potential seeking to produce compounds such as sugars, bio-oil, biochar, and other value-added bioproducts were studied. The contents of total reducing sugars and lignin were higher than 28% and 30%, respectively. The cellulose crystallinity varied between 25 and 40%, with higher values for babassu, which also presented higher values of glucose and total sugar. The yields found for the biochar and the bio-oil from the green coconut husks were 31% and 30%, respectively. The main components found in bio-oil were furfural (29.23%), phenol (22.18%) and isoeugenol (10.26%), compounds that can be used in the production of fine chemical and plastics, agrochemicals, biomaterials, in the pharmaceutical and food industry. The biochar presented surface area values (BET and Langmuir) greater than $300 \text{ m}^2\text{g}^{-1}$ and a micropore volume of $0.11 \text{ cm}^3\text{g}^{-1}$, which can be used as a satisfactory adsorbent. The estimated theoretical energy potential of biochar and bio-oil were 208,107,180 MJ and 190,205,438 MJ, equivalent to 3,729,518.4 tons of coconut husks, that would be enough to supply the energy consumption of 5,734,747 Brazilian homes in a period of 12 months.

Keywords: lignocellulosic biomasses; waste; biorefineries; sugars; pyrolysis; bio-oil; biochar; energy, economic profitability.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO GERAL	12
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	13
2.1.Biomassas lignocelulósicas	13
2.1.1. Coco-verde (<i>Cocos nucifera</i> L.)	14
2.1.2. Babaçu (<i>Attalea speciosa</i> Mart. ex Spreng)	17
2.1.3. Castanha-do-brasil (<i>Bertholletia excelsa</i> Bonpl.).....	19
2.2.Descrição estrutural dos materiais lignocelulósicos	21
2.2.1. Celulose	21
2.2.2. Hemicelulose	22
2.2.3. Lignina.....	22
2.3.Separação dos componentes das biomassas lignocelulósicas e obtenção de bioprodutos	23
2.3.1. Extração	23
2.3.2. Hidrólise ácida.....	24
2.3.3. Pirólise.....	26
3. REFERÊNCIAS	27
4. ARTIGO I – Otimização do processo de extração e hidrólise ácida para biomassa Amazônia e do Cerrado.....	34
5. ARTIGO II - Avaliação do potencial econômico e energético dos resíduos da indústria de coco-verde	45
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	70

1. INTRODUÇÃO GERAL

A Amazônia Legal compreende uma área de significativa relevância socioambiental no Brasil, abrangendo uma extensa região e abrigando, além de inúmeros ecossistemas, uma diversidade populacional e cultural moldada ao longo de seu processo histórico de ocupação (MARTHA JÚNIOR et al., 2011). Com o intuito de melhor planejar e gerir o desenvolvimento socioeconômico da região amazônica, foi instituída pela lei federal nº 1.806/1953 e delimitada de acordo com a lei complementar nº 124/2007.

Incorporada também à área de atuação da Superintendência de Desenvolvimento da Amazônia (SUDAM), a Amazônia Legal abrange nove estados – Acre, Amapá, Amazonas, Mato Grosso, Rondônia, Roraima, Tocantins, Pará, Maranhão – pertencentes à bacia Amazônica, em uma área aproximada de 5.015.067,75 km², correspondente a cerca de 58,9% do território brasileiro (BRASIL, 2007; IBGE, 2020). Dentro dessa vasta área, encontram-se dois grandes biomas – Amazônia e Cerrado –, onde há considerável uso dos recursos naturais por atividades econômicas tanto agroflorestais, quanto agropecuárias.

A Amazônia possui um território com mais de 6,9 milhões de km² distribuídos em nove países da América do Sul. Dentro do Brasil, ocupa 4,2 milhões de km² e a sua floresta é conhecida por possuir a maior biodiversidade do mundo, sendo responsável por abrigar e produzir uma vasta quantidade de recursos hídricos, além de sua importância para regulação do clima global (BUAINAIN et al., 2020). Essa extensa possui imensas diversidades geológicas, geomorfológicas, edáficas, climáticas e de vegetação (VALE JUNIOR et al., 2011).

O Cerrado está presente em 4 regiões geográficas do Brasil, excetuando-se apenas a região Sul, e ocupa cerca de 2 milhões de km² do território brasileiro. Possui grande riqueza hídrica por comportar algumas das principais bacias hidrográficas do país e apresenta uma expressiva riqueza de espécies. O tipo de solo predominante é o do tipo latossolos e as suas características climáticas e geomorfológicas proporcionaram uma intensa ocupação de atividades voltadas para o agronegócio (PARRON et al., 2008).

Entre as atividades econômicas desenvolvidas no complexo ambiente da Amazônia Legal, o extrativismo vegetal produz muitos produtos agroflorestais tanto por grandes indústrias, como por meio da agricultura familiar. Nesse sentido, muitas

biomassas lignocelulósicas são cultivadas e comercializadas para diferentes fins. Ao mesmo tempo, há conseqüentemente a geração de um alto montante de resíduos após o processamento e consumo dessas biomassas.

Segundo a Política Nacional dos Resíduos Sólidos (lei nº 12.305/2010), os resíduos sólidos devem receber a destinação ambientalmente adequada, que envolve a reutilização, a reciclagem, a compostagem, a recuperação e o aproveitamento energético (BRASIL, 2010). Assim, por suas características físico-químicas os resíduos de biomassas lignocelulósicas podem e devem ser reaproveitados e transformados em produtos de alto valor agregado.

As biomassas lignocelulósicas vêm sendo utilizadas para a produção de produtos químicos, utilizados como fonte energética e na indústria. Nesse sentido, o processamento dessas biomassas possui caráter extremamente promissor, especialmente diante dos problemas ambientais causados pelo uso dos combustíveis fósseis, que estão em progressivo esgotamento, do aumento da demanda energética e das mudanças ocorridas nos valores sociais e culturais (TÁVORA E SILVA et al., 2017; USMANI et al., 2020; JI et al., 2020).

Desta forma, esse estudo analisa o potencial de aproveitamento dos resíduos de biomassas cultivadas na Amazônia Legal, que são o babaçu (*Attalea speciosa* Mart. ex Spreng) a castanha-do-brasil (*Bertholletia excelsa* Bonpl.) e o coco-verde (*Cocos nucifera* L.), no contexto de utilização em biorrefinarias, com vistas ao seu aproveitamento econômico e social, e à sua destinação ambientalmente adequada.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Biomassas lignocelulósicas

A biomassa lignocelulósica é uma fonte biologicamente renovável e sustentável de carbono orgânico, possuindo alta composição de carboidratos, o que a torna uma matéria-prima para a fabricação de biocombustíveis renováveis, como o etanol, a partir da fermentação de açúcares. Alguns fatores positivos ao se utilizar essa biomassa residem no fato de possuir baixo custo e uma enorme disponibilidade, especialmente quando é obtida por meio de resíduos (USMANI et al., 2020; SINDHU et al., 2016).

Há quatro fontes principais das biomassas lignocelulósicas que são os resíduos agrícolas e florestais, as culturas energéticas e os resíduos celulósicos (REZANIA et al.,

2020). São compostas basicamente de celulose (40–45%), hemicelulose (15–30%) e lignina (16–33%) (JI et al., 2020). As biorrefinarias, onde ocorre o processamento dessas biomassas, enfrentam desafios, pois elas precisam conseguir competir com a indústria de refinaria do petróleo, fazer com que o processo seja o mais ambientalmente amigável no sentido de minimizar a geração de resíduos e o consumo de energia, além de conseguir extrair produtos que tenham aplicabilidade e boa aceitação no mercado (ZANG et al., 2020).

2.1.1. Coco-verde (*Cocos nucifera* L.)

O coco-verde (*Cocos nucifera* L.) ou coco-da-bahia, como também é conhecido, é uma palmeira com estipe solitário, ereto ou levemente curvado, irregularmente anelado, até 30 m de altura × 20–35 cm de diâmetro. A sua ocorrência no Brasil é predominantemente na região Nordeste, no domínio fitogeográfico da Mata Atlântica em restingas. Seus frutos são de ovoides a elipsoides, grandes, com 20–30 cm de comprimento × 12–20 cm de diâmetro e possuem cinco partes principais: o epicarpo, o mesocarpo, o endocarpo, albúmen sólido (polpa) e albúmen líquido (água de coco) (VIANNA, 2020; MARAFON et al., 2019).

Figura 1 – Fruto do coco-verde (*Cocos nucifera* L.).



Fonte: Cabral (2014); Valente (2016) (adaptado).

O epicarpo (casca externa) é liso, fino e de coloração variada (verde, verde-amarelado, amarelo-acinzentado, amarelo, amarelo-alaranjado, pardo). O mesocarpo é fibroso e seco. O endocarpo (parte rígida que protege a polpa) é lenhoso, marrom-escuro e com 3 poros de germinação bem visíveis na base (VIANNA, 2020).

As cascas do coco-verde podem ser aproveitadas e empregadas em diversas aplicações na agricultura, na construção civil, como fonte energética, na indústria farmacêutica, entre outras. Elas podem ser utilizadas como substrato para cultivo agrícola, para a fabricação de painéis do tipo medium density fiberboard (MDF), briquetes, fonte de taninos para formulação de resinas fenólicas e para fins fitoterápicos, fonte de açúcar em processos fermentativos e geração de biogás (NUNES et al., 2020; OLIVEIRA e ARAÚJO, 2019). Como fonte energética, as cascas do coco-verde podem ser submetidas à queima, gerando cinzas, que podem ser empregadas na construção civil como aditivo mineral em substituição parcial do cimento Portland (MATOS e GUIMARÃES, 2017).

O mesocarpo do coco-verde acaba virando um resíduo após o consumo do coco-verde e vem sendo muito estudado por possuir diversas aplicações. As fibras podem ser utilizadas para produzir painéis semelhantes aos painéis de madeira (CRAVO et al., 2015) e também servem como matéria-prima para a produção de polpa celulósica para a fabricação de papel, por suas características morfológicas (CARDOSO e GONÇALEZ, 2016). Há também aplicabilidade da fibra de coco-verde como material adsorvente na remediação de poluentes como o azul de metileno, demonstrado por Oliveira et al. (2018).

O albúmen sólido do coco-verde é um alimento de consistência gelatinosa, de cor esbranquiçada e que possui um gosto levemente adocicado. Essa parte do coco-verde pode ser utilizada para produzir polpa e derivados na forma de bebidas e preparados sólidos, mas na maioria das vezes acaba sendo descartada juntamente com a casca (WALTER et al., 2021).

O coco-verde é colhido do grupo varietal coqueiro-anão com 6 meses de idade, ainda imaturo, quando o albúmen sólido está começando a se formar. Já o coco seco é colhido do coqueiro-gigante com 11 a 12 meses de idade, em plena maturação, quando o albúmen sólido está completamente formado. Os coqueiros híbridos – cruzamento das variedades Anã e Gigante – produzem cocos que são utilizados tanto na forma in natura, quanto para o processamento industrial (MARTINS e JESUS JÚNIOR, 2014).

O Brasil está entre os maiores produtores mundiais de coco, tanto em quantidade produzida quanto em produtividade (relação de toneladas por hectare), sendo que a maior produção mundial se concentra no continente Asiático, com destaque para a Indonésia,

Filipinas e Índia (MARTINS e JESUS JÚNIOR, 2014). As maiores produções nacionais de coco estão localizadas nas regiões Nordeste e Norte, com destaque para os Estados da Bahia e Ceará (MARTINS e JESUS JÚNIOR, 2014).

Anualmente, são geradas mais de 2 milhões de toneladas de frutos de coco-verde no Brasil, sendo que 80% disso corresponde às cascas que, em sua quase totalidade, são descartadas sem qualquer tipo de aproveitamento. Apesar dos diversos usos que podem ser dados às cascas de coco, tem sido comum o seu descarte nas áreas de cultivo, áreas urbanas, aterros sanitários ou lixões. Essa realidade que é real em muitos municípios brasileiros constitui-se como um problema tanto pela ocupação de grandes áreas, quanto pelos passivos ambientais gerados, especialmente pelo tempo de degradação que é de 8 a 10 anos, ocasionando impactos ambientais negativos (MARAFON et al., 2019).

Há muitas potencialidades econômicas no coco, pois todas as suas partes podem ser aproveitadas, seja no estado verde ou seco, de forma *in natura* ou processada. Os cultivos brasileiros de coco são direcionados principalmente à produção de coco seco *in natura*, coco ralado, leite de coco, óleo de coco e água de coco. Já em outros países do mundo, é comum a comercialização da polpa seca ou copra para a produção de óleo e coco desidratado (BRAINER, 2018).

Existe grande importância econômica e social na cadeia de valor do coco, pois gera emprego e renda pela diversidade de produtos *in natura* e industrializados do fruto que são gerados, além da participação nessa cadeia de fornecedores de insumos agrícolas e insumos industriais, como também a parte logística de distribuição e vendas (OLIVEIRA e ARAÚJO, 2019). Cerca de 85% da produção de coco no Brasil advém dos pequenos produtores, que se utilizam de atravessadores para a comercialização de suas produções. Já os grandes produtores são as próprias agroindústrias (MARTINS e JESUS JÚNIOR, 2014).

A produção de coco-verde destina-se prioritariamente à obtenção de água de coco para comercialização. Segundo o Decreto Federal nº 6.871/2009, art. 20, “água de coco é a bebida obtida da parte líquida do fruto do coqueiro (*Cocus nucifera*) não diluída e não fermentada, extraída e conservada por processo tecnológico adequado” (BRASIL, 2009). De acordo com a Abir (2018), foram produzidos 157 milhões de litros de água de coco industrializada no Brasil no ano de 2017, com um crescimento de 6% ao ano (ABIR, 2018). Há também uma tendência global de crescimento no consumo de água de coco de cerca de 26% até 2022, que está associado grandemente aos seus benefícios à saúde (OLIVEIRA e ARAÚJO, 2019).

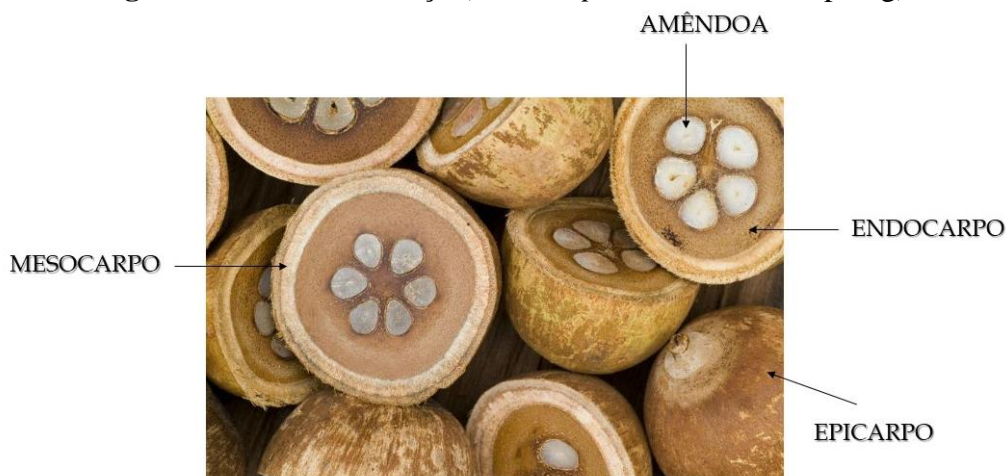
2.1.2. Babaçu (*Attalea speciosa* Mart. ex Spreng)

O babaçu (*Attalea speciosa* Mart. ex Spreng) pertence à família Arecaceae, constitui-se de um tipo de palmeira e é de origem do Brasil, onde são encontradas 41 espécies de *Attalea*. A *Attalea speciosa* Mart. ex Spreng tem ampla distribuição geográfica na América do Sul e no Brasil, sendo que neste é encontrado na região amazônica e no Brasil central, predominantemente nas fitofisionomias floresta amazônica, mata atlântica e cerrado (SALEH, 2016; SANO et al., 2008; UFRJ, 2022).

A altura média dessa palmeira varia de 10 a 30 m e seu fruto – conhecido popularmente e comercialmente como coco babaçu – possui de 10 a 12 cm de comprimento, possuindo casca dura, cor marrom, polpa seca e contendo de 1 a 8 sementes oleaginosas. Um cacho de babaçu pode produzir até 400 nozes (UFRJ, 2022).

O fruto do babaçu é composto por epicarpo, mesocarpo, endocarpo e semente (amêndoa) (figura 2). O epicarpo e o endocarpo possuem alto poder calorífico e caracterizam-se por serem fibroso e lenhoso, respectivamente. O mesocarpo é composto por amido em sua maioria, possuindo alto teor de carboidratos, já a amêndoa concentra a parte oleosa e é de onde se extrai o óleo vegetal do babaçu (QUEIROGA et al., 2015).

Figura 2 – Fruto do babaçu (*Attalea speciosa* Mart. ex Spreng).



Fonte: Lar natural (2014) (adaptado).

As palmeiras dos babaçuais compõem tanto as florestas primárias, como podem originar formações secundárias, pois há uma relação da ocupação de babaçu em locais

antropizados, em que os babaçuais colonizam e atuam na recomposição de áreas de antigas formações florestais desmatadas (GOUVEIA, 2015; SANO et al., 2008).

A atividade extrativista do babaçu é marcada pelo protagonismo feminino, cujas mulheres que estão envolvidas nessa cadeia produtiva são conhecidas como quebradeiras de coco. Essas mulheres iniciam seu ofício na infância, acompanhando as suas mães e avós nos babaçuais, com instrumentos de trabalho rústicos que são basicamente um machado, um porrete de madeira e uma cesta de palha para colher o fruto e extrair a amêndoa. Assim, a organização dessa atividade extrativista é basicamente feminina e coletiva, permeada por uma relação de profundo respeito entre as quebradeiras de coco e a palmeira de babaçu, pois as mulheres a consideram simbolicamente como uma mãe, pois dela emana vida e representa a sobrevivência para vários filhos, traduzida no sustento de muitas famílias (ERTZOGUE, 2002; ERTZOGUE, 2004; SILVA, 2018).

A partir da década 1970, ouve o início do declínio na produção de amêndoas, sobretudo pela substituição dos babaçuais por pastagens, pelo avanço do agronegócio. Este cenário foi marcado por conflitos agrários e por violência contra a mulher extrativista, em que os proprietários de terras passaram a isolar suas áreas e impedir o acesso das quebradeiras para realizar as coletas dos frutos. Dessa maneira, as comunidades tradicionais que sobrevivem da atividade econômica do babaçu foram fortemente impactadas (PORRO, 2019; SCHWARTZ, 2017; SOUSA e OLIVEIRA, 2017).

Entretanto, os movimentos sociais compostos por associações e cooperativas, sobretudo no estado do Maranhão – onde o cultivo do babaçu é mais expressivo – buscam superar esses desafios com a organização e consolidação social e política dos agricultores familiares e a reafirmação da identidade das mulheres atuantes nessa atividade pelo movimento das quebradeiras de coco babaçu. Uma das grandes conquistas desses grupos foi a aprovação da lei do babaçu livre, que permite a extração de babaçu em terras privadas. Além das questões políticas, esses movimentos sociais também buscam promover a preservação ambiental por meio do aperfeiçoamento dos métodos de extração e colheita do coco babaçu que sejam menos impactantes que as práticas tradicionais de queima e derrubada das palmeiras (PORRO, 2019; SCHWARTZ, 2017; SOUSA e OLIVEIRA, 2017).

Além da produção de amêndoas, o extrativismo do babaçu gera outros produtos comercializáveis como o azeite, leite, sabão, farinha do mesocarpo, entre outros. A partir do óleo de babaçu, além do azeite de uso culinário, é produzido sabão, que gera

subprodutos (torta e borra) a partir de seu processamento, utilizados na fabricação de ração animal. O mesocarpo constitui-se de uma farinha amilácea, que é utilizada na alimentação como complemento para crianças desnutridas e mulheres gestantes nas comunidades tradicionais, além de ser aplicado como ingrediente na produção de alimentos como bolos, biscoitos, mingaus, doces e geleias (QUEIROGA et al., 2015; PORRO, 2019; SILVA et al., 2017; SCHWARTZ, 2017).

Da casca do babaçu é produzido um carvão que é utilizado como fonte de energia quando submetido à queima tanto em residências como em escala industrial. Estima-se que, após o processamento físico-químico da casca, para cada quilo é possível obter em média 30% de carvão, 60% de ácido acético, 1,5% de ácido metílico e 8% de alcatrão (QUEIROGA et al., 2015; PORRO, 2019;).

2.1.3. Castanha-do-brasil (*Bertholletia excelsa* Bonpl.)

A castanha-do-brasil é nativa da Amazônia brasileira e suas maiores concentrações ocorrem no planalto que separa a bacia formada pelos afluentes do baixo Amazonas, alto Tocantins e alto Moju, sendo encontrada em sua maioria nos estados do Pará, Amazonas e Acre. A sua árvore (castanheira-do-brasil) se desenvolve em regiões de clima quente e úmido. Quando adulta, pode atingir mais de 60 m de altura e mais de 4 m de diâmetro na base do tronco (ALMEIDA et al., 2021; MAROCCOLO et al., 2021; MÜLLER et al., 1995;).

Seu fruto (figura 3), conhecido como ouriço, é formado por uma cápsula com casca lenhosa muito dura, cujo formato é esférico ou levemente achatado, e possui em seu interior várias sementes cujas amêndoas são altamente nutritivas. O peso do fruto varia de 200 g a 1,5 kg. As suas sementes (amêndoas mais cascas) representam cerca 25% do peso do fruto, enquanto que a casca externa representa aproximadamente 75% (MÜLLER et al., 1995). A amêndoa extraída do ouriço é conhecida como castanha-do-brasil ou castanha-do-pará pelo fato de que o principal escoadouro para exportação se encontra no porto de Belém – PA (SOUZA et al., 2012).

Figura 3 – Fruto da castanha-do-brasil (*Bertholletia excelsa* Bonpl.).



Fonte: UOL, 2020 (adaptado).

Devido ao seu teor nutritivo, a castanha-do-brasil é conhecida como “carne vegetal”, apresentando entre 15% a 20% de proteínas e 60% e 70% de lipídios. As proteínas lhe conferem alto teor de aminoácidos sulfurados, que são componentes que atuam na proteção do organismo contra o aparecimento de câncer e na desintoxicação do fígado pela ativação de enzimas. Outros importantes componentes encontrados na amêndoa são as vitaminas A, B e B2 e sais minerais como fósforo, cálcio e selênio (SOUZA et al., 2012).

A partir da amêndoa é extraído um óleo comestível que é rico em ácidos graxos essenciais, com destaque para os oleico e o linoleico, que possui aplicações também para ser utilizado como matéria-prima na fabricação de produtos farmacêuticos, cosméticos, sabonetes finos etc. Da extração desse óleo é gerado um resíduo, chamado de torta desengordurada, que é utilizado no preparo de pães, biscoitos, bolos, entre outros (SOUZA et al., 2012).

Há grande importância ambiental no cultivo da castanha-do-brasil para o reflorestamento e recuperação de áreas degradadas. Isso ocorre, por exemplo, nos vazios demográficos localizados no sul do Pará, na região denominada Polígono dos Castanhais, onde a sua floresta primária vem sendo destruída para a implantação de pastagens para a atividade de pecuária (MÜLLER et al., 1995).

Além da relevância ecológica do cultivo da castanha-do-brasil, há também grande importância econômica e histórico-cultural, pois existem muitas comunidades tradicionais (ribeirinhos, indígenas, quilombolas) na bacia amazônica que sobrevivem

dessa atividade extrativista, principalmente da comercialização da amêndoa. Estima-se que atualmente no Brasil há mais de 55 mil pessoas obtêm seu sustento do extrativismo da castanha-do-brasil (ALMEIDA et al., 2021; EMBRAPA, 2022; MAROCCOLO et al., 2021).

Segundo o IBGE (2020), a produção nacional de castanha-do-brasil em 2020 foi de 33 mil toneladas e, considerando que a casca externa (ouriço) representa cerca de 75% de sua composição, houve uma produção de cerca de 24 mil toneladas de ouriço, que geralmente viram resíduos após a extração das amêndoas – principal produto comercializado. Essas cascas possuem potencial de aproveitamento em variadas aplicações como matéria-prima para a confecção de peças de artesanato, como aditivo na produção de painéis de partículas aglomeradas para uso na construção civil, como adsorvente após tratamento térmico e transformação em carvão ativado, entre outras (MÜLLER et al., 1995; NOGUEIRA et al., 2018; SOUZA e SILVA, 2021).

2.2. Descrição estrutural dos materiais lignocelulósicos

2.2.1. Celulose

A celulose trata-se de um polímero natural polissacarídeo ($C_6H_{10}O_5$), possuindo cadeia polimérica linear de moléculas de glicose ligadas em β (1 \rightarrow 4). A celulose possui função estrutural na constituição da biomassa lignocelulósica e é encontrada em maior abundância entre os principais componentes formadores (RAMBO, 2013; RAMBO e FERREIRA, 2015; MAGALHÃES, 2011).

As cadeias de celulose nas paredes celulares das biomassas são arranjadas de forma compacta, de modo que as suas microfibrilas apresentam regiões amorfas e cristalinas. Enquanto a região amorfa é pouco ordenada, a região cristalina apresenta alta ordenação e encontra-se em maior quantidade. A presença de regiões cristalinas se dá especialmente pelo grande número de ligações de hidrogênio, que faz da celulose altamente resistente à tração e insolúvel na maioria dos solventes (LINO, 2015; RAMBO e FERREIRA, 2015; XU et al., 2017).

Assim, é necessário utilizar ácidos concentrados e grande quantidade de enzimas nas hidrólises ácida e enzimática a fim de quebrar essa cristalinidade e transformá-la em estado amorfo. Processos de degradação ou despolimerização em seus açúcares primários são necessários para que, estando acessíveis e disponíveis, sejam convertidos em

bioprodutos de alto valor agregado como o etanol (MOTA e MONTEIRO, 2013; RAMBO e FERREIRA, 2015; XU et al., 2017).

2.2.2. Hemicelulose

As hemiceluloses – segundo carboidrato mais abundante da biomassa lignocelulósica –, são polissacarídeos não celulósicos que estão associados à celulose e à lignina nos tecidos vegetais. Elas recebem também a denominação de polioses, sendo assim constituídas por várias unidades de açúcares em diferentes proporções. Os açúcares que formam as estruturas das hemiceluloses incluem pentoses, hexoses, ácidos hexenurônicos e desoxiexoses. As cadeias moleculares das hemiceluloses são menores, em relação à celulose, e ramificadas. (FENGEL e WEGENER, 1984; LINO, 2015; XU et al., 2017).

Pode haver conversão de grande parte de hemiceluloses em seus derivados de açúcar durante pré-tratamentos hidrotérmicos e ácidos diluídos, sendo que seus polímeros podem ser isolados por meio de pré-tratamento alcalino das biomassas em temperatura moderada. As hemiceluloses são insolúveis em água, mas solúveis em soluções alcalinas – que não apenas afetam a dissolução da hemicelulose, mas frequentemente alteram sua estrutura molecular – e são hidrolisadas mais facilmente do que a celulose por álcali e ácido diluído (PENFIELD e CAMPBELL, 1990; WHISTLER e BEMILLER, 1993; XU et al., 2017).

Os açúcares das hemiceluloses possuem potencial para serem empregados em várias aplicações como emulsificantes, estabilizantes e xilooligossacarídeos nas indústrias cosmética, biomédica e alimentar. As hemiceluloses representam também a possibilidade de conversão de biomassa em biocombustíveis, produtos químicos e biomateriais valiosos (XU et al., 2017).

2.2.3. Lignina

A lignina, macromolécula amorfa, constitui-se de um polímero aromático composto por unidades de 4-fenilpropano. Sua estrutura macromolecular é heterogênea e pode conter três tipos de unidades aromáticas: unidades p-hidroxifenil (H), guaiacil (G) e siringil (S). Os diferentes grupos funcionais encontrados na macromolécula orientam o comportamento químico da lignina (LINO, 2015).

Existe uma recalcitrância na biomassa lignocelulósica causada pela complexidade dos constituintes da parede celular, heterogeneidade estrutural, cristalinidade da celulose e pelo grau de lignificação. Ou seja, presença da lignina interfere diretamente e acaba inibindo a produção de certos compostos. Assim, o processo de pré-tratamento é essencial para separar a lignina da celulose, aumentando a eficiência da conversão de açúcar. Para romper essa recalcitrância, o pré-tratamento da biomassa geralmente precisa seja feito sob condições severas como alta carga de ácido, alta temperatura ou longo tempo de processo, que são necessárias para obter resíduos ricos em celulose que favorecem a produção de açúcar em pré-tratamentos tradicionais de carboidratos (JI et al., 2020; MENG et al., 2020; SINDHU et al., 2016; USMANI et al., 2020).

2.3. Separação dos componentes das biomassas lignocelulósicas e obtenção de bioprodutos

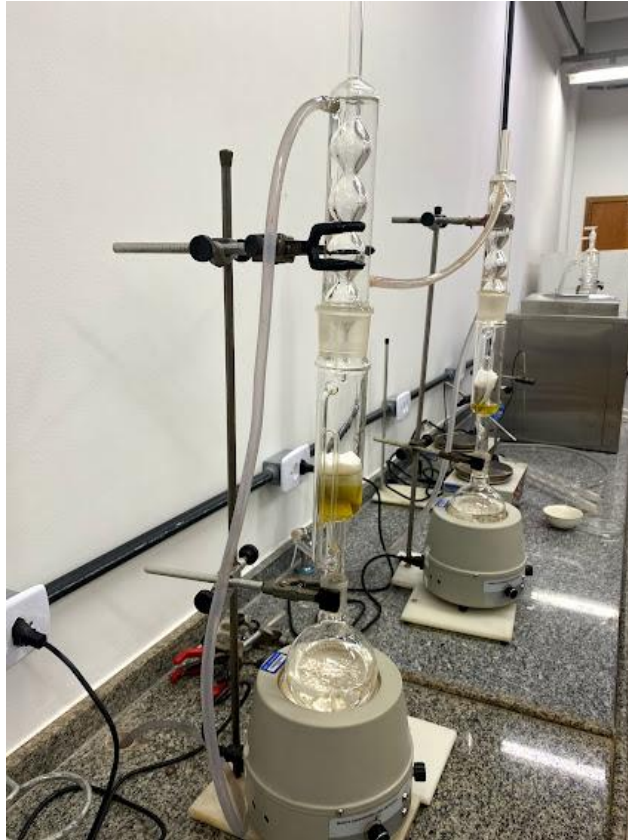
2.3.1. Extração

Além dos principais componentes, as biomassas ligoceulósicas são constituídas de elementos residuais como a pectina, proteína, extrativos e cinzas, que perfazem cerca de 10% de sua composição (ALVES, 2011).

É preciso fazer a remoção dos extrativos da biomassa, pois eles podem interferir potencialmente nas etapas analíticas posteriores da amostra de biomassa. Os extrativos de uma biomassa são os materiais não-estruturais solúveis em água ou etanol durante a extração exaustiva, que não estão ligados quimicamente e incluem nitrato/nitritos, proteínas, cinzas, clorofila e ceras (SLUITER et al., 2008a).

Assim, o método de extração abrange a determinação de materiais não estruturais solúveis em uma amostra de biomassa. Esse processo de extração é realizado em duas etapas visando remover o material solúvel em água e solúvel em etanol. Certas biomassas podem exigir as duas etapas de extração, enquanto outras biomassas podem exigir apenas uma extração exaustiva de etanol (SLUITER et al., 2008a).

Figura 4 – Extrator de Soxhlet utilizado no processo de extração.



Fonte: compilação da autora.

2.3.2. Hidrólise ácida

O método de hidrólise ácida é aplicado para determinar os teores de carboidratos estruturais e lignina, que compõem a maior parte das amostras de biomassa, e é adequado para amostras que não contêm extrativos (SLUITER et al., 2008b).

São utilizadas duas etapas de hidrólise ácida para fracionar a biomassa em formas que são mais facilmente quantificadas, sendo que a lignina é fracionada em material solúvel e insolúvel em ácido. Por meio de espectroscopia UV-Vis a lignina solúvel em ácido é medida, enquanto que o material insolúvel é contabilizado durante a análise gravimétrica. Quanto aos carboidratos poliméricos, durante o processo de hidrólise, são hidrolisados nas formas monoméricas, sendo solúveis no líquido de hidrólise. Para fazer a medição desses carboidratos é utilizada a cromatografia líquida de alta eficiência (SLUITER et al., 2008b).

Figura 5 – Equipamento de banho maria utilizado no processo de hidrólise.



Fonte: compilação da autora.

Figura 6 – Autoclave utilizado no processo de hidrólise.



Fonte: compilação da autora.

2.3.3. Pirólise

Um dos métodos promissores de conversão de biomassas lignocelulósicas em bioprodutos é a pirólise, pois é considerada um processo eficiente, econômico e significativo para converter matérias-primas orgânicas em produtos ricos em energia. Trata-se de um método de conversão térmica, em que a biomassa é submetida a elevadas temperaturas, sob atmosfera inerte – mantida usando argônio ou nitrogênio gasoso. Os produtos da pirólise são uma fração gasosa, uma fração líquida (bio-óleo) e uma fração sólida (biochar), que possuem potencial de aproveitamento em diversas áreas, especialmente como combustíveis energéticos ou recursos energéticos que podem ser utilizados para gerar energia. (BISWAS et al., 2017; KUMAR et al., 2020).

O rendimento e a composição dos produtos da pirólise dependem principalmente do tipo de biomassa utilizada e das variáveis aplicadas durante o processo como temperatura e tempo. As temperaturas usuais variam de 500 a 800 °C, sendo que temperaturas médias favorecem a formação de bio-óleo, juntamente com tempos de residência curtos. As temperaturas mais altas favorecem a formação de gases, enquanto que em temperaturas mais baixas e maiores tempo de residência há maior formação de biochar (AKHTAR E AMIN, 2012; KUMAR et al., 2020; ROY e DIAS, 2017).

Figura 7 – Reator de pirólise.



Fonte: Brito, 2021.

Figura 8 – Bio-óleo das cascas do coco-verde.



Fonte: compilação da autora.

Figura 9 – Biochar das cascas de coco-verde.



Fonte: compilação da autora.

3. REFERÊNCIAS

ABIR. Águas de coco. 2018. Disponível em: <https://abir.org.br/o-setor/bebidas/agua-de-coco/>. Acesso em 20 out. 2021.

AKHTAR, J.; AMIN, N. S. A review on operating parameters for optimum liquid oil yield in biomass pyrolysis. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 16, p. 5101–5109, 2012.

ALMEIDA, E. N.; LIMA, D. H.; PORTO, M. M.; ROCHA, J. F. Cadeia de comercialização da castanha-do-pará na Amazônia brasileira: novos rumos, velhos hábitos. Documentos 462. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2021. 22p.

Disponível em:

<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1135432/1/TC-13-19-DOC-V04.pdf>. Acesso em 07 fev. 2022.

ALVES, R. E. **Caracterização de fibras lignocelulósicas pré-tratadas por meio de técnicas espectroscópicas e microscópicas ópticas de alta resolução**. 2011. 116 f. Dissertação (Mestrado em Ciências e Engenharia de Materiais) - Escola de Engenharia de São Carlos, Instituto de Física de São Carlos, Instituto de Química de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011.

BISWAS, B.; PANDEY, N.; BISHT, Y.; SINGH, R.; KUMAR, J.; BHASKAR, T. Pyrolysis of agricultural biomass residues: Comparative study of corn cob, wheat straw, rice straw and rice husk. **Bioresource Technology**, v. 237, p. 57–63, 2017.

BRAINER, M. S. C. P. **Produção de coco: o Nordeste é destaque nacional**. Caderno Setorial - Escritório Técnico de Estudos Econômicos do Nordeste (ETENE). Ano 3, nº 61, 2018.

BRASIL. **Lei Complementar nº 124, de 3 de janeiro de 2007** – Institui, na forma do art. 43 da Constituição Federal, a Superintendência do Desenvolvimento da Amazônia – SUDAM; estabelece sua composição, natureza jurídica, objetivos, área de competência e instrumentos de ação; dispõe sobre o Fundo de Desenvolvimento da Amazônia – FDA; altera a Medida Provisória nº 2.157-5, de 24 de agosto de 2001; revoga a Lei Complementar nº 67, de 13 de junho de 1991; e dá outras providências. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/lcp/lcp124.htm. Acesso em: 07 fev. 2022.

BRASIL. **Decreto nº 6.871, de 4 de junho de 2009** – Regulamenta a Lei nº 8.918, de 14 de julho de 1994, que dispõe sobre a padronização, a classificação, o registro, a inspeção, a produção e a fiscalização de bebidas. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2009/decreto/d6871.htm. Acesso em: 20 out. 2021.

BRASIL. **Lei Federal lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010**. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Brasília, DF: Presidência da República. Disponível em: <https://bitly.com/ctxpE>. Acesso em: 6 dez. 2021.

BRITO, M. R. **Avaliação do potencial econômico e social de resíduo do cerrado brasileiro como uso de adsorvente para remoção de poluentes**. 2021. 74 f. Dissertação (Mestrado em Ciências do Ambiente) – Universidade Federal do Tocantins, Palmas, 2021.

BUAINAIN, A. M. [et al.]. **Desafios para a agricultura nos biomas brasileiros**. Brasília, DF: Embrapa, 2020.

CABRAL, G. **Comunidade coco verde**. 2014. Disponível em: <https://www.socialdub.com/cocoverde>. Acesso em: 8 fev. 2022.

CONAB. Preços médios mensais do coco. 2021. Disponível em: <http://sisdep.conab.gov.br/precosiagroweb/>. Acesso em 20 out. 2021.

CRAVO, J. C. M.; SARTORI, D. L.; FIORELLI, J.; BALIEIRO, J. C. C.; SAVASTANO JUNIOR, H. Painel aglomerado de resíduos agroindustriais. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 25, n. 3, p. 721-730, jul-set, 2015.

CARDOSO, M. S.; GONÇALEZ, J. C. Aproveitamento da casca de coco-verde (*Cocos nucifera* L.) para produção de polpa celulósica. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 26, n. 1, p. 321-330, jan-mar, 2016.

EMBRAPA. **Projetos – Mapeamento de castanhais nativos e caracterização socioambiental e econômica de sistemas de produção da castanha-do-brasil na Amazônia (MapCast)**. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-projetos/-/projeto/206335/mapeamento-de-castanhais-nativos-e-caracterizacao-socioambiental-e-economica-de-sistemas-de-producao-da-castanha-do-brasil-na-amazonia-mapcast>. Acesso em 06 fev. 2022.

ERTZOGUE, M. H. O canto das quebradeiras: cantigas de trabalho das mulheres extrativistas de coco babaçu na região do Bico do Papagaio. *Fragments de Cultura (Goiânia)*, Goiânia, v. 12, p. 1103-1110, 2002.

ERTZOGUE, M. H. Conversando com Raimunda. *Fragments de Cultura (Goiânia)*, Goiania, v. 14, n.6, p. 1125-1136, 2004.

FENGEL, D.; WEGENER, G. **Wood: chemistry, ultrastructure, reactions**. Berlin: Walter de Gruyter, 1984. 613 p.

GOUVEIA, V. M. **O mercado de amêndoas de babaçu no estado do maranhão**. 2015. 140 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, 2015.

IBGE. **Amazônia Legal**. 2020. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/cartas-e-mapas/mapas-regionais/15819-amazonia-legal.html?=&t=o-que-e>. Acesso em: 07 fev. 2022.

IBGE. **Extração vegetal e silvicultura**. 2020. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pesquisa/16/0>. Acesso em: 07 fev. 2022.

JI, Q.; YU, X.; YAGOUB, A. E. A.; CHEN, L.; ZHOU, C. Efficient removal of lignin from vegetable wastes by ultrasonic and microwave-assisted treatment with ternary deep eutectic solvent. **Industrial Crops & Products**, v. 149, 2020.

KUMAR, R.; STREZOV, V.; WELDEKIDAN, H.; HE, J.; SINGH, S.; KAN, T.; DASTJERDI, B. Lignocellulose biomass pyrolysis for bio-oil production: A review of biomass pre-treatment methods for production of drop-in fuels. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 123, 2020.

LAR NATURAL. **Benefícios do coco babaçu**. 2014. Disponível em: <https://lar-natural.com.br/beneficios-coco-babacu/>. Acesso em: 8 fev. 2022.

LINO, A. G. **Composição química e estrutural da lignina e lipídios do bagaço e palha da cana-de-açúcar**. 2015. 107 f. Tese (Doutorado em Agroquímica) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2015.

MAGALHÃES, T. S. **Estudo de pré-tratamentos de bagaço de cana para produção de etanol celulósico por hidrólise enzimática**. 2011. 79 f. Dissertação (Mestrado em Química) – Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, São José do Rio Preto, 2011.

MAROCCHOLO, J. F.; WADT, L. H. O.; DINIZ, J. D. A. S.; SILVA, K. R. O protagonismo de organizações indígenas na estruturação da cadeia produtiva da castanha-da-amazônia no estado de Roraima, Amazônia brasileira. **Interações**. Campo Grande, MS, v. 22, n. 1, p. 19-35, jan./mar. 2021.

MARAFON, A. C.; NUNES, M. U. C.; AMARAL, A. F. C.; SANTOS, J. P. **Aproveitamento de cascas de coco para geração de energia térmica: potencialidades e desafios**. Documentos 234. Aracajú, SE: Embrapa, 2019. 22p. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/210127/1/DOC-234.pdf>. Acesso em 20 out. 2021.

MARTHA JÚNIOR, G. B.; CONTINI, E.; NAVARRO, Z. **Caracterização da Amazônia Legal e macrotendências do ambiente externo**. Brasília, DF: Embrapa Estudos e Capacitação, 2011.

MARTINS, C. R.; JESUS JÚNIOR, L. A. **Produção e Comercialização de Coco no Brasil Frente ao Comércio Internacional: Panorama 2014**. Documentos 184. Aracajú, SE: Embrapa, 2014. 51p. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/122994/1/Producao-e-comercializacao-Doc-184.pdf>. Acesso em: 19 out. 2021.

MATOS, S. R. C.; GUIMARÃES, C. C. Utilização da cinza da casca do coco verde como substituição parcial do cimento Portland em argamassas. **Revista eletrônica de engenharia civil**, v. 13, n. 1, p. 251-269, jan-jun, 2017.

MENG, X.; PU, Y.; LI, M.; RAGAUSKAS, A. J. A biomass pretreatment using cellulose-derived solvent Cyrene. **Green Chemistry**, v. 22, p. 2862–2872, 2020.

MOTA, C. J. A.; MONTEIRO, R. S. Química e sustentabilidade: novas fronteiras em biocombustíveis. **Química nova**, v. 36, n. 10, p. 1483-1490, 2013.

MÜLLER, C. H.; FIGUEIRÊDO, F. J. C.; KATO, A. K.; CARVALHO, J. E. U.; STEIN, R. L. B.; SILVA, A. B. **A cultura da castanha-do-brasil**. Centro de Pesquisa Agroflorestral da Amazônia Oriental. Brasília, DF: Embrapa, 1995. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/387229/a-cultura-da-castanha-do-brasil>. Acesso em 04 fev. 2022.

NOGUEIRA, I. M. S.; LAHR, F. A. R.; GIACON, V. M. 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. **Revista Matéria**, v. 23, n. 1, 2018.

NUNES, M. U. C.; RESENDE, R. S.; TEODORO, M. S. **Biomanta da fibra da casca de coco no cultivo de alface orgânica**. Comunicado técnico 240. Aracajú, SE: Embrapa, 2020. 9p. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/224048/1/COT-240-20-Embrapa-Tabuleiros-Costeiros.pdf>. Acesso em 20 out. 2021.

OLIVEIRA, D. M.; ARAÚJO, J. P. P. **Drivers de mercado de produtos do coco e o desenvolvimento de novas cultivares de coqueiro no Brasil**. Documentos 231. Aracajú, SE: Embrapa, 2019. 57p. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/213999/1/DOC-231-Deise-v4.pdf>. Acesso em 20 out. 2021.

OLIVEIRA, F. M. ; COELHO, L. M.; MELO, E. I. Avaliação de processo adsortivo utilizando mesocarpo de coco verde para remoção do corante azul de metileno. **Revista Matéria**, v. 23, n. 4, 2018.

PARRON, L. M.; AGUIAR, L. M. de S.; DUBOC, E.; OLIVEIRA-FILHO, E. C.; CAMARGO, A. J. A. de.; AQUINO, F. de G. **Cerrado: desafios e oportunidades para o desenvolvimento sustentável**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2008. 464 p.

PENFIELD, M. P.; CAMPBELL, A. D. **Experimental food and Science**. 3. ed. Academic Press, 1990. 541 p.

PORRO, R. A economia invisível do babaçu e sua importância para meios de vida em comunidades agroextrativistas. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Ciências Humanas**, Belém, v. 14, n. 1, p. 169-188, jan.-abr. 2019.

QUEIROGA, V. P.; GIRÃO, E. G.; ARAÚJO, I. M. S.; GONDIM, T. M. S.; FREIRE, R. M. M.; VERAS, L. G. C. Composição centesimal de amêndoas de coco babaçu em quatro tempos de armazenamento. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v.17, n.2, p.207-213, 2015.

RAMBO, M. K. D. **Caracterização de resíduos lignocelulósicos por espectroscopia NIR aliada à quimiometria para a obtenção de insumo químicos**. 2013. 181 f. Tese (Doutorado em Ciências) – Instituto de Química, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2013.

RAMBO, M. K. D.; FERREIRA, M. M. C. Determination of Cellulose Crystallinity of Banana Residues Using Near Infrared Spectroscopy and Multivariate Analysis. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, Campinas, v. 26, n. 7, p. 1491-1499, 2015.

REZANIA, S.; ORYANI, B.; CHO, J.; TALAIEKHOZANI, A.; SABBAGH, F.; HASHEMI, B.; RUPANI, P. F.; MOHAMMADI, A. A. Different pretreatment technologies of lignocellulosic biomass for bioethanol production: an overview. **Energy**, v. 199, p. 1-14, 2020.

ROY, P.; DIAS, G. Prospects for pyrolysis technologies in the bioenergy sector: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 77, p. 59–69, 2017.

SALEH, E. O. L. **Fisiologia da germinação *in vitro*, embriogênese somática e conservação *ex situ* de babaçu (*Attalea speciosa* Mart. *ex Spreng*)**. 2016. Tese (Doutorado em Botânica) – Universidade de Brasília, Brasília, 2016.

SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P. de; RIBEIRO, J. F. **Cerrado: ecologia e flora**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2008. 1279 p.

SCHWARTZ, R. M. P. B. Quebradeiras de coco de babaçu: cultura tradicional e a preservação do meio ambiente. **Emblemas**, v. 14, n. 1, p. 53-72, jan. – jun., 2017.

SILVA, L. C. C. **Quebradeiras de coco babaçu, organização e mobilização política no lago do Junco e lago dos Rodrigues, região do Médio Mearim (MA): a experiência da fábrica de sabonete**. 2018. Dissertação (Mestrado em Cartografia Social e Política da Amazônia) – Universidade Estadual do Maranhão, São Luís, 2018.

SILVA, M. E. C.; BASTOS, E. M.; ALMEIDA NETO, J. R.; SANTOS, K. P. P.; VIEIRA, F. J.; BARROS, R. F. M. Aspectos etnobotânicos da palmeira babaçu (*Attalea speciosa* Mart. *ex Spreng*), em comunidades extrativistas no Piauí, nordeste do Brasil. **Gaia Scientia**, v.11, p.196-211, 2017.

SINDHU, R.; GNANSOUNOU, E.; BINOD, P.; PANDEY, A. Bioconversion of sugarcane crop residue for value added products: An overview. **Renewable Energy**, v. 98, p. 203–215, 2016.

SLUITER A.; RUIZ C.; SCARLATA J.; SLUITER D. TEMPLETON D. NREL/TP-510-42619: Determination of extractives in Biomass. Laboratory Analytical Procedure (LAP). National Renewable Energy Laboratory (NREL): Golden, USA, 2008a.

SLUITER A.; HAMES, B.; RUIZ R.; SCARLATA C., SLUITER J.; TEMPLETON D.; CROCKER D. NREL/TP-510-42618: Determination of Structural Carbohydrates and Lignin in Biomass. National Renewable Energy Laboratory (NREL): Golden, USA, 2008b.

SOUZA, C. D. R.; SILVA, K. C. Potencial energético dos resíduos da castanha do Brasil (*Bertholletia excelsa* H.B.K.) para produção de carvão ativado. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 2, 2021.

SOUSA, D. R. N.; OLIVEIRA, M. L. R. Conflitos e Desafios de populações tradicionais na Amazônia brasileira: o caso da Reserva Extrativista do Extremo Norte do Estado do Tocantins. **Mundo Agrario**, v. 18(38), 2017.

SOUZA, J. M. L.; SILVA, R. F.; LEITE, F. M. N.; REIS, F. S. **Castanha-do-brasil despeliculada e salgada**. 2 ed. rev. e atual. - Brasília, DF: Embrapa, 2012. 37 p.

TÁVORA E SILVA, W. A.; SIQUEIRA, F. L. T.; SIQUEIRA, G. B. Caracterização química, potencial de uso e aspectos poluentes de três cultivares de batata-doce antes e após a fermentação etílica. **Multi-Science Journal**, v. 1, n. 7, p. 12-22, 2017.

UFRJ. Horto Botânico – *Attalea speciosa*, 2022. Museu Nacional. Disponível em: <https://www.museunacional.ufrj.br/hortobotanico/Palmeiras/attaleaspeciosa.html>. Acesso em 16 fev. 2022.

UOL. Forte como um ouriço – sínteses, 2020. Disponível em: <https://sinteses.blogfolha.uol.com.br/2020/02/13/forte-como-um-ourico/>. Acesso em 08 fev. 2022.

USMANI, Z.; SHARMA, M.; GUPTA, P.; KARPICHEV, Y.; GATHERGOOD, N.; BHAT, R.; GUPTA, V. K. Ionic liquid based pretreatment of lignocellulosic biomass for enhanced bioconversion. **Bioresource Technology**, v. 304, p. 1-13, 2020.

VALE JÚNIOR, J. F.; SOUZA, M. I. L.; Pedro Paulo Ramos Ribeiro do NASCIMENTO, P. P. R. R.; CRUZ, D. L. S. Solos da Amazônia: etnopedologia e desenvolvimento sustentável. **Revista Agro@mbiente On-line**, v. 5, n. 2, p.158-165, maio/agosto, 2011.

VALENTE, J. P. **Características gerais do coco**. 2016. Disponível em: <https://www.todafruta.com.br/coco/>. Acesso em: 8 fev. 2022.

VIANNA, S.A. 2020. *Cocos in Flora do Brasil 2020*. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: <http://floradobrasil.jbrj.gov.br/reflora/floradobrasil/FB80541>>. Acesso em: 26 jan. 2022.

WALTER, E. H. M.; COSTA, R. L.; SILVA, J. C. A.; DIAS, L. F.; DUTRA, A. S.; LEAL JUNIOR, W. F.; FONSECA, M. J. O.; TORREZAN, R.; MATTA, V. M. Obtenção de polpa de coco verde congelada com e sem uso de aditivo químico. Comunicado técnico 241. Rio de Janeiro, RJ: Embrapa, 2021. 6p. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/224387/1/CT-241-15abr2021.pdf>. Acesso em: 7 dez. 2021.

WHISTLER, R.; BEMILLER, J. N. **Industrial Gums – polysaccharides and their derivatives**. 3. ed. Academic Press, 1993. 642 p.

XU, J.; HOU, H.; LIU, B.; HU, J. The integration of different pretreatments and ionic liquid processing of eucalyptus: Hemicellulosic products and regenerated cellulose fibers. **Industrial Crops and Products**, v. 101, p. 11–20, 2017.

ZANG, G.; SHAH, A.; WAN, C. Techno-economic analysis of an integrated biorefinery strategy based on one-pot biomass fractionation and furfural production. **Journal of Cleaner Production**, v. 260, p. 1-10, 2020.

4. ARTIGO I – Otimização do processo de extração e hidrólise ácida para biomassa Amazônia e do Cerrado

Artigo original publicado com o título: OPTIMIZING THE PROCESS OF EXTRACTION AND ACID HYDROLYSIS FOR AMAZON AND CERRADO BIOMASS, na revista International Journal of Advanced Engineering Research and Science, em set. 2020, ISSN 2349-6495, DOI: <https://dx.doi.org/10.22161/ijaers.79.18>, ahead of print.

RESUMO

O efeito da variável reacional (tempo) de reação no processo de extração e de hidrólises foi investigado. Os dados obtidos demonstraram que as metodologias do *Laboratório Nacional de Energia Renovável (NREL)* devem ser adequadas para cada tipo de biomassa e para cada realidade regional. Para os teores de açúcares totais nas biomassas de coco verde, babaçu e ouriço da castanha, os maiores rendimentos foram encontrados em condições diferentes das propostas pelo NREL. Já para o teor de lignina total, os maiores rendimentos obtidos foram os propostos pelo método NREL para todas as biomassas. No teor de extrativos para coco e babaçu, o uso de maior tempo de extração proporcionou uma maior remoção. Já para as frações da castanha, menores tempos levaram a maiores rendimentos. Importante notar que, com os resultados otimizados, estas biomassas podem ser empregadas na produção de bioprodutos de alto valor agregado com maiores rendimentos.

Palavras -chave – NREL, babaçu, castanha-do-brasil, coco verde.

INTRODUÇÃO

A biomassa lignocelulósica é um dos recursos renováveis mais abundantes do mundo e se apresenta como uma alternativa econômica e ambientalmente amigável para a produção de produtos químicos bioderivados (JI et al., 2020; SHEN et al., 2020). Por possuir uma alta composição de carboidratos, esse tipo de biomassa possui grande potencial para a produção de biocombustíveis e é considerada um dos potenciais substitutos dos combustíveis fósseis na indústria química (HAN et al., 2019; SINDHU et al., 2016).

Vários métodos de pré-tratamento têm sido estudados, que são físicos, químicos, físico-químicos, biológicos e pré-tratamentos combinados, na busca de se obter uma maior recuperação de carboidratos fermentáveis da degradação do açúcar (KUMARI e SINGH, 2018; REZANIA et al., 2020). E os procedimentos para a execução desses métodos baseiam-se, em sua maioria, em metodologias estabelecidas pelo National Renewable Energy Laboratory.

Segundo o Laboratório Nacional de Energias Renováveis (NREL/TP-510-42618), a hidrólise ácida ocorre em duas etapas para fracionar os componentes da biomassa. As amostras foram mantidas a 30 °C por 1 h na primeira etapa e autoclavadas por 1 h a 120 °C na segunda etapa. Para a análise dos extrativos (NREL/TP-510-42619) é recomendado o refluxo por 16-24 horas em etanol 95% utilizando o aparelho Soxhlet.

O procedimento de extração é importante porque remove possíveis interferências, que podem afetar o desempenho da hidrólise (NREL/TP-510-42619). A hidrólise ácida é utilizada para converter os polímeros em carboidratos poliméricos e lignina (lignina insolúvel em ácido e lignina solúvel em ácido), que pode ser utilizada para indústrias de biorrefinação. Assim, tanto a hidrólise ácida concentrada como a diluída têm sido usadas para obter açúcares livres de biomassa lignocelulósica pré-tratada altamente complexa (EL-ZAWAWY et al., 2011).

No entanto, essas metodologias são utilizadas para biomassas padrões da Europa (*miscanthus*), Estados Unidos (palha de milho) ou então para bagaço da cana-de-açúcar do Brasil (GOMES et al., 2018; KIM et al., 2015; KIM et al., 2016;).

Novas biomassas da região Amazônica e do Cerrado tem apresentado potencial no contexto de biorrefinarias, tanto pela sua composição química, como também pela quantidade de resíduos gerados e descartados no ambiente (RAMBO et al., 2020a; SCAPIN et al., 2020).

Muitas dessas biomassas, como casca de coco, ouriço e casca de castanha-do-Brasil, endocarpo e mesocarpo de babaçu, apresentam altos teores de carboidratos e

lignina, que podem ser convertidos em produtos de alto valor agregado (CABRAL et al., 2016; CARDOSO, 2017; LEANDRO et al., 2019; RAMBO et al., 2015;).

Portanto, este estudo visa *otimizar as melhores condições para maximizar o rendimento nos processos de extração e hidrólise das biomassas brasileiras do Cerrado e da Amazônia*, principalmente de seus principais constituintes (celulose, hemicelulose e lignina), que têm sido cada vez mais empregados em processos de biorrefinação.

MATERIAIS E MÉTODOS

Amostras

Três biomassas típicas de regiões do Cerrado e da Amazônia do Brasil foram devidamente coletadas entre 2018 e 2019. As matérias-primas avaliadas foram as seguintes: *Cocos nucifera* (coco verde, cujo mesocarpo foi utilizado), *Orbygnia phalerata* (babaçu, cujo mesocarpo foi usado) e *Berthollitia excelsa* H.B.K. (castanha-do-brasil, cuja epicarpo e endocarpo foram usados). Essas amostras foram mantidas congelados em sacos plásticos aguardando os próximos passos do processo. Depois de secas à temperatura ambiente, foram moídas em moinho de facas (MA 580, Marconi) e peneiradas em peneira automática (VP-01, Bertel), até partículas de 355 µm de diâmetro (peneira de 45 mesh).

Extração de Soxhlet

Foi utilizado um extrator Soxhlet, e os cartuchos de extração receberam 3g de cada biomassa. Em seguida, foram cobertos com algodão e levados ao extrator, com 190 mL de etanol (90%), por 8, 12 e 24 horas em refluxo (NREL/TP-510-42619).

Após o término do refluxo, os cartuchos foram retirados e colocados em placas de Petri no balcão por 48 horas para secagem. Após 48 horas, o teor de umidade da amostra extraída foi novamente determinado, de modo que o teor de extrativos foi calculado de acordo com a perda de massa após a extração, descontando a umidade.

Hidrólise ácida

A etapa de hidrólise ácida foi realizada de acordo com a metodologia do National Renewable Energy Laboratory (NREL/TP-510-42618) para a determinação de carboidratos estruturais e lignina em biomassa. Foram utilizados tubos de pressão, nos quais foram colocados 300 mg da biomassa extraída e 3,0 mL (4,91 g) de H₂SO₄ a 72% (m/v); em seguida, os tubos foram levados ao banho-maria (TE 056, Technal) por 120 min a 30 °C e agitados a cada 10 min. Esta é a etapa de hidrólise primária. Em seguida, foram adicionados 84 mL de água deionizada para que a concentração de ácido sulfúrico fosse reduzida para 4% (m/v); os tubos foram então levados para uma autoclave (AV 18, Phoenix) por 1 hora a 120 °C (etapa de hidrólise secundária).

Em nossas condições, testamos duas metodologias diferentes: hidrólise primária com 60 min e hidrólise secundária com 1h, e também hidrólise primária com 180 min e hidrólise secundária com 1,5h. Após esta etapa, a solução hidrolisada foi filtrada em cadinhos de porosidade média (10 a 15 µm) utilizando uma bomba de vácuo (NOF-650). Os sólidos retidos nos cadinhos filtrantes foram levados a uma estufa a 105 °C para que se determinasse o teor de resíduo insolúvel em ácido (AIR) e, em seguida, mantidos em forno mufla por 4 horas a 575 °C para obtenção da cinza insolúvel em ácido. (AIA). A partir da diferença entre AIR e AIA, foi determinado o teor de lignina insolúvel – também conhecida como Lignina de Klason (KL). O filtrado (hidrolisado) contém a lignina solúvel em ácido (ASL) e quaisquer outros componentes ácidos solúveis da biomassa, como os açúcares hidrolisados.

Espectroscopia UV

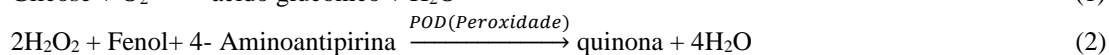
A ASL é determinada usando um espectrofotômetro UV-Vis (DR 5000, HACH). O hidrolisado foi colocado em uma cubeta de quartzo e diluído quando necessário, e os espectros de UV foram coletados usando um comprimento de onda de 205 nm com absorvidade molar de 113 M⁻¹cm⁻¹ (SLUITER et al., 2010). O branco era uma solução de H₂SO₄ a 4% (m/v).

Teor de carboidratos

A absorbância dos açúcares redutores em 540 nm foi medida em um espectrofotômetro UV-Vis (Varian, Cary 4000) para quantificar o teor de açúcar. As concentrações de açúcar redutor total (ART) foram calculadas com base na curva padrão

de D-glicose. O hidrolisado foi fervido na solução de ácido 3,5-dinitrosalicílico (DNS) por 5 min e resfriado em banho de água gelada.

Um kit de teste (LAB TEST) foi utilizado para medir a atividade enzimática pela quantidade de glicose formada pela enzima glicose oxidase (GOD/POD) que é uma flavoproteína utilizada nestes kits, foi utilizada para determinação de glicose. A reação é:



O procedimento analítico consistiu em adicionar 1,0 mL da amostra hidrolisada e 1,0 mL da solução reagente de glicose enzimática. As alíquotas formadas foram levadas a banho-maria (37°C) por 15 minutos (VISVANATHAN et al., 2016). Em seguida, a absorvância das amostras a 500 nm foi medida em espectrofotômetro (Varian, Cary 4000).

Análise de celulose, hemicelulose e lignina

A fibra em detergente ácido (FDA) e a fibra em detergente neutro (NDF) segundo Trujillo, Marichal e Carriquiry (TRUJILLO et al., 2010), foram utilizadas para determinar o teor de hemicelulose, enquanto a lignina foi determinada pelas metodologias NREL e a celulose por diferença.

Difração de raio-X

Por meio da difração de raios-x, determinou-se os valores de referência de cristalinidade. Os difratogramas foram registrados em um difratômetro Shimadzu modelo XRD-7000, com radiação Cu K α , voltagem de 30 kV e corrente de 10 mA. A varredura foi realizada na faixa de ângulo de 5° <2 Θ > 99,98°.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A tabela 1 apresenta os valores da análise aproximada. A biomassa de babaçu e coco apresentaram percentuais considerados baixos de umidade (<10%), já as de castanha com percentuais elevados e que podem interferir em futuros processos de manuseio e

transporte da matéria prima (CHARLTON et al., 2009), além de afetar processos de combustão (MACEDO, 2017).

Os percentuais de cinzas todos foram baixos, o que é essencial em processos envolvendo biorrefinarias. Tanto matéria volátil como carbono fixo estão de acordo com o esperado para biomassas lignocelulósicas (RAMBO et al., 2015).

Tabela 1. Análise aproximada das biomassas.

<i>Análises (%)</i>	<i>Amostras brutas</i>			
	Mesocarpo do babassu	Mesocarpo do coco-verde	Epicarpo da casca da castanha-do-brasil	Endocarpo da casca da castanha-do-brasil
<i>Umidade</i>	7,25 ± 0,07	5,22 ± 0,02	13,9 ± 0,00	11,35 ± 0,70
<i>Cinzas</i>	1,70 ± 0,14	2,82 ± 0,04	6,75 ± 0,49	0,9 ± 0,28
<i>Material Volátil</i>	86,7 ± 0,14	90,78 ± 0,28	75,02 ± 0,71	77,45 ± 0,35
<i>Carbono Fixo</i>	4,35 ± 0,01	1,18 ± 0,01	4,33 ± 0,01	10,3 ± 0,01

Quanto ao processo de extração (tabela 2), maiores tempos de extração (24h) favoreceram a remoção de constituintes do coco e do babaçu, enquanto que nas frações de castanha-do-Pará, tempos menores foram mais eficientes na remoção de possíveis interferentes. Altos teores foram encontrados para o coco verde (valor médio de 15,3%), enquanto que para as demais biomassas valores baixos foram determinados (valor médio < 3%). Esses valores estão de acordo com os dados encontrados por outros autores (RAMBO et al., 2016; RAMBO et al., 2020b).

Tabela 2. Rendimento em extrativos em diferentes tempos.

<i>Análise (%)</i>	Mesocarpo do babassu	Mesocarpo do coco-verde	Epicarpo da casca da castanha-do-brasil	Endocarpo da casca da castanha-do-brasil
<i>Extrativos (8h)</i>	2,12	12,16	3,43	3,33
<i>Extrativos (12h)</i>	1,32	14,13	4,13	1,53
<i>Extrativos (24h)</i>	2,37	19,83	2,59	2,64

As três diferentes metodologias de hidrólise primária e secundária para os teores de polissacarídeos e seus respectivos monossacarídeos foram testadas e seus resultados são apresentados na figura 1.

Tempos intermediários nas duas etapas apresentaram os máximos rendimentos de celulose, exceto para o ouriço da castanha. Da mesma forma para os ART, exceto para a casca da castanha com o maior percentual de ART nos tempos de 1h tanto para hidrólise primária, quanto secundária. A glicose também apresentou rendimentos superiores em tempos intermediários, sendo novamente a exceção o ouriço da castanha, com teores maiores (5,81%) em condições mais drásticas (2h e 1,5h).

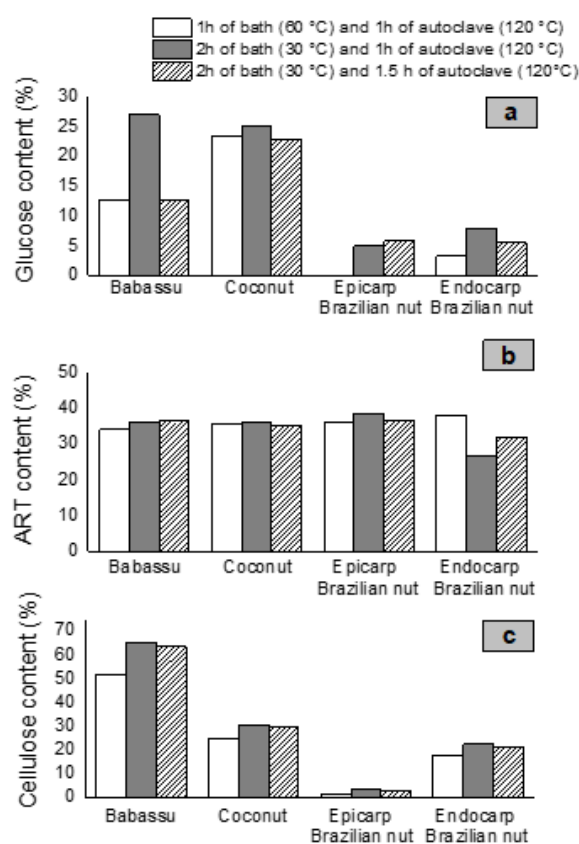


Figura 1. Teor de glicose, ART e celulose.

A figura 2 mostra os resultados das ligninas solúveis, insolúveis e total após as diferentes condições de hidrólise. Ao contrário dos carboidratos, para a lignina solúvel os menores tempos reacionais, favorecem os melhores resultados, exceto para o ouriço da castanha. Da mesma forma, a tendência seguiu para a lignina insolúvel (Klason), na qual os maiores rendimentos foram em condições menos severas. E como lignina total, é o somatório das ligninas solúveis e insolúveis obteve-se o mesmo resultado.

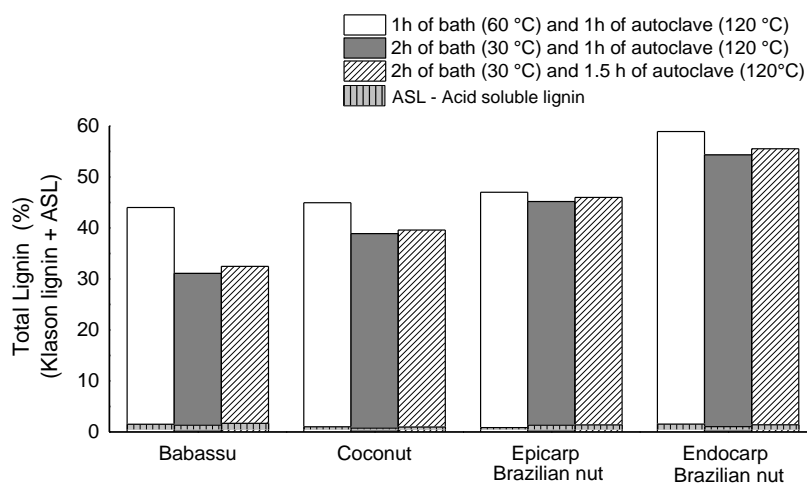


Figura 2. Teor de lignina total após diferentes condições.

Esses resultados demonstram o alto potencial dessas biomassas, pois teores acima de 28% de ART foram encontrados e acima de 30% para as ligninas, o que sugere fortemente que podem ser usadas em indústrias de biorrefinarias.

A Figura 3 mostra os difratogramas de raios-X das amostras brutas e das amostras extraídas em diferentes tempos de extração. Não foram observadas grandes alterações entre as amostras. Se observou que, de forma geral, após a extração alguns picos ficaram mais proeminentes, aumentando o teor de cristalinidade das amostras.

Os dados obtidos mostram que as biomassas apresentaram porcentagens de celulose cristalina que variaram entre 25 e 40,0%; associados respectivamente ao endocarpo da castanha-do-brasil e ao babaçu extraído (24 e 12h). Tem sido relatada uma relação entre um maior nível de cristalinidade e rendimentos de hidrólise, que é dado pelo teor de carboidratos (ART); isso indica que a faixa de variação da cristalinidade afeta o rendimento das hidrólises. Por exemplo, o endocarpo da castanha-do-brasil, com menor cristalinidade, também apresentou níveis mais baixos de ART e glicose. Por outro lado, o babaçu, com maiores níveis de cristalinidade, também apresentou os maiores valores de glicose e ART.

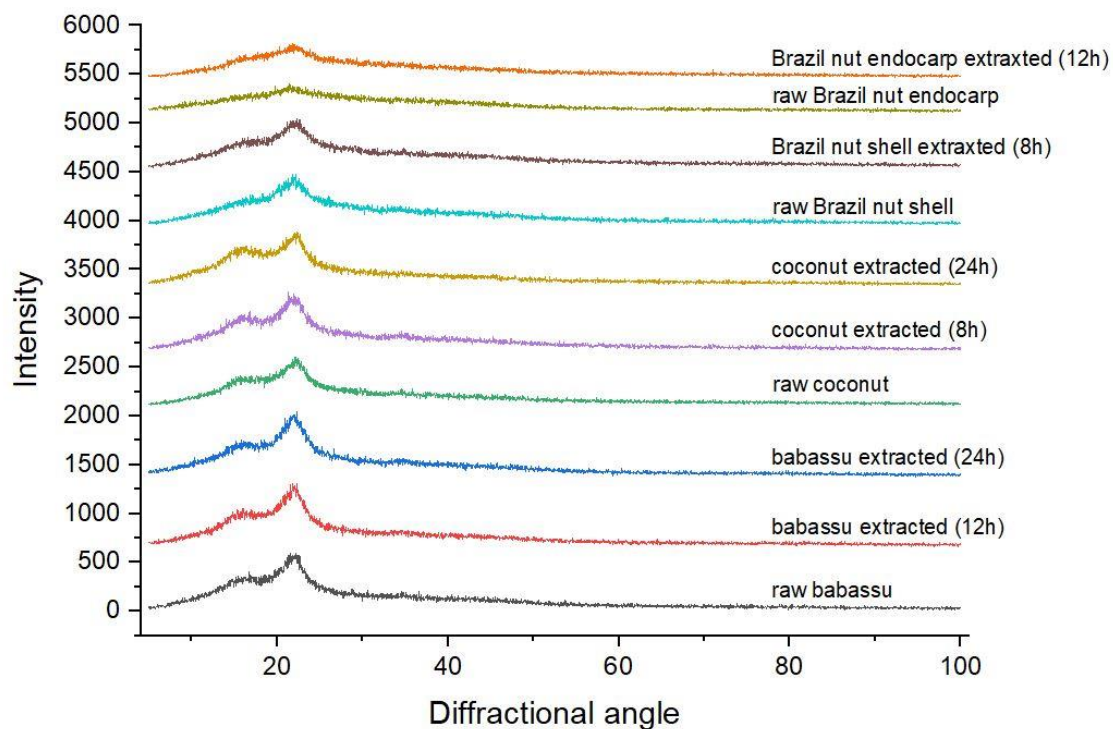


Figura 3. Difratoogramas de raio-x.

CONCLUSÃO

Diante desses resultados, concluímos que a metodologia NREL precisa ser adaptada para cada biomassa lignocelulósica, pois foi encontrada uma diferença considerável na otimização da hidrólise primária e secundária. O conteúdo extrativo também precisa ser corrigido para cada biomassa específica. Altos teores de polissacarídeos foram encontrados em todas as frações (exceto no epicarpo da casca da castanha-do-brasil), mostrando que as biomassas residuais da região amazônica e do Cerrado brasileiro podem fornecer uma gama de produtos valiosos.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Universidade Federal do Tocantins (UFT) e ao programa PAP/Inova do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins (IFTO) pelo apoio técnico.

REFERÊNCIAS

CABRAL M. M. S., ABUD A. K. S., SILVA C. E. F., ALMEIDA R. M. R. G. (2016). Bioethanol production from coconut husk fiber. *Ciência Rural*, 46 (10), pp. 1872-1877. Doi: <http://dx.doi.org/10.1590/0103-8478cr20151331>.

CARDOSO Z. S. (2017). Avaliação das características químicas e eletroquímicas do etanol obtido do mesocarpo de coco babaçu para uso em células a combustível. Dissertação (Mestrado em Química) – Universidade Federal do Maranhão, São Luís.

CHARLTON A., ELIAS R., FISH S., FOWLER P., GALLAGHER J. (2009) The biorefining opportunities in Wales: Understanding the scope for building a sustainable, biorenewable economy using plant biomass. *Chemical Engineering Research and Design*, 87(9), pp. 1147–1161, 2009. Doi: 10.1016/j.cherd.2009.06.013.

EL-ZAWAWY W. K., IBRAHIM M. M., ABDEL-FATTAH Y. R., SOLIMAN N. A., MAHMOUD M. M. (2011). Acid and enzyme hydrolysis to convert pretreated lignocellulosic materials into glucose for ethanol production. *Carbohydrate Polymers*, 84, pp. 865–871. Doi:10.1016/j.carbpol.2010.12.022

GOMES G. R., RAMPON D. S., RAMOS L. P. (2018). Production of Furan Compounds from Sugarcane Bagasse Using a Catalytic System Containing ZnCl₂/HCl or AlCl₃/HCl in a Biphasic System. *Journal of the Brazilian Chemical Society*, 29 (5), pp. 1115-1122. Doi: <http://dx.doi.org/10.21577/0103-5053.20180014>.

HAN X., GUO Y., LIU X., XIA Q., WANG Y. (2019). Catalytic conversion of lignocellulosic biomass into hydrocarbons: A mini Review. *Catalysis Today*, 319, pp. 2–13. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.cattod.2018.05.013>.

JI Q., YU X., YAGOUB A. E. A., CHEN L., ZHOU C. (2020). Efficient removal of lignin from vegetable wastes by ultrasonic and microwave-assisted treatment with ternary deep eutectic solvent. *Industrial Crops & Products*, 149, 112357. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.112357>.

KIM J-Y., HWANG H., OH S., CHOI J. W. (2015). Structural features of lignin-rich solid residues obtained from two-step acid-hydrolysis of *Miscanthus* biomass (*Miscanthus sacchariflorus* Benth.). *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 30, pp. 302–308. Doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jiec.2015.05.037>.

KIM S. M., DIEN B. S., TUMBLESÓN M. E., RAUSCH K. D., SINGH V. (2016) Improvement of sugar yields from corn stover using sequential hot water pretreatment and disk milling. *Bioresource Technology*, 216, pp. 706–713. Doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2016.06.003>.

KUMARI D., SINGH R. Pretreatment of lignocellulosic wastes for biofuel production: A critical Review. (2018). *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 90, pp. 877-891. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.03.111>.

LEANDRO R. I. M., ABREU J. J. C., MARTINS C. S., SANTOS I. S., BIANCHI M. L., NOBRE J. R. C. (2019). Elementary, Chemical and Energy Characteristics of Brazil Nuts Waste (*Bertholletia excelsa*) in the State of Pará. *Floresta e Ambiente*, ISSN 2179-

8087 (online), 26(Spec n° 2): e20180436. Doi: <https://doi.org/10.1590/2179-8087.043618>.

MACEDO L. P. R., RAMBO M. K. D. (2017). Biorrefinarias: caracterização de biomassas residuais do Tocantins por espectroscopia NIR aliada a Quimiometria visando a obtenção de insumos químicos e condicionadores de solo. *Desafios*, 3(especial), pp. 49-54. Doi: <http://dx.doi.org/10.20873/uft.2359-3652.2016v3nespp49>.

RAMBO M. K. D., ALEXANDRE G. P., RAMBO M. C. D., ALVES A. R., GARCIA W. T., BARUQUE E. (2015). Characterization of biomasses from the north and northeast regions of Brazil for processes in biorefineries. *Ciência e Tecnologia de Alimentos (Online)*, 35(4), pp. 605-611. Doi: <http://dx.doi.org/10.1590/1678-457X.6704>.

RAMBO M. K. D., MELO P. M., FERREIRA M. M. C., RAMBO M. C. D., BERTUOLE D. A., MOTA V. L. (2020). Optimization of Alkaline, Acidic, Ionic Liquid and Oxidative Pretreatments for Coconut Waste Conversion into Fermentable Sugars. *Journal of the Brazilian Chemical Society*, 31(5), pp. 904-915. Doi: <https://doi.org/10.21577/0103-5053.20190254>.

RAMBO M. K. D., RAMBO M. C. D., MELO P. M., OLIVEIRA N. M. L., NEMET Y. K. S., SCAPIN E., VIANA G. C. C., BERTUOL, D. A. (2020). Sustainability of Biorefinery Processes Based on Baru Biomass Waste. *Journal of the Brazilian Chemical Society*, 31 (2), pp. 273-279. Doi: <http://dx.doi.org/10.21577/0103-5053.20190169>.

RAMBO, M. K. D., ALMEIDA K. J. C. R., RAMBO M. C. D., BARUQUE E A. (2016). The Response Surface Methodology as a tool to optimize the extraction and acid hydrolysis processes applied to babassu residues. *RBPG. Revista Brasileira de Pós-Graduação*, 13(32), pp. 807-825.

REZANIA S., ORYANI B., CHO J., TALAIEKHOZANI A., SABBAGH, F., HASHEMI B., RUPANI P. F., MOHAMMADI A. A. (2020). Different pretreatment technologies of lignocellulosic biomass for bioethanol production: an overview. *Energy*, 117457. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.117457>.

SCAPIN E., RAMBO M. K. D., VIANA G. C. C., BORGES M. S., RAMBO M. C. D., CARNEIRO C. (2020) Production of Furanic Compounds and Organic Acids from Brazilian Pequi (*Caryocar brasiliensis* Camb.) Residues Using Green Chemistry. *Journal of the Brazilian Chemical Society*, 31 (7), pp. 1383-1391. Doi: <http://dx.doi.org/10.21577/0103-5053.20200023>.

SHEN F., XIONG X., FU J., YANG J., QIU M., QI X., TSANG D. C. W. (2020). Recent advances in mechanochemical production of chemicals and carbon materials from sustainable biomass resources. *Renewable and sustainable energy reviews*, 130, 109944. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.109944>.

SINDHU R., GNANSOUNOU E., BINOD P., PANDEY A. (2016). Bioconversion of sugarcane crop residue for value added products: An overview. *Renewable Energy*, 98, pp. 203–215. Doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.renene.2016.02.057>.

SLUITER A., HAMES, B., RUIZ R., SCARLATA C., SLUITER J., TEMPLETON D., CROCKER D. NREL/TP-510-42618: Determination of Structural Carbohydrates and Lignin in Biomass. National Renewable Energy Laboratory (NREL): Golden, USA, 2008.

SLUITER B., RUIZ C., SCARLATA J., SLUITER D., TEMPLETON D. NREL/TP-510-42619: Determination of extractives in Biomass. Laboratory Analytical Procedure (LAP). National Renewable Energy Laboratory (NREL): Golden, USA, 2008.

SLUITER J. B., RUIZ R. O., SCARLATA C. J., SLUITER A. D., TEMPLETON D. W. (2010). Compositional Analysis of Lignocellulosic Feedstocks. 1. Review and Description of Methods. *Journal of Agricultural Food Chemistry*, 58, pp. 9043–9053. Doi: 10.1021/jf1008023.

TRUJILLO A. I., MARICHAL M. J., CARRIQUIRY M. (2010). Comparison of Dry Matter and Neutral Detergent Fiber Degradation of Fibrous Feedstuffs as Determined with in Situ and in Vitro Gravimetric Procedures. *Animal Feed Science and Technology*, 161, pp. 49-57.

VISVANATHAN R., JAYATHILAKE C., LIYANAGE R. (2016). A simple microplate-based method for the determination of α -amylase activity using the glucose assay kit (GOD method). *Food Chemistry*, 211, pp. 853-589. Doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.05.090>.

5. ARTIGO II - Avaliação do potencial econômico e energético dos resíduos da indústria de coco-verde

Artigo original publicado com o título: ASSESSMENT OF THE ECONOMIC AND ENERGETIC POTENTIAL OF RESIDUES FROM THE GREEN COCONUT INDUSTRY, na revista *Journal of the Brazilian Chemical Society*, no dia 08 mar. 2022, ISSN 0103-5053, DOI: <https://dx.doi.org/10.21577/0103-5053.20220042>, ahead of print.

RESUMO

Este trabalho usa uma nova matéria-prima de resíduos, essencial para aumentar a gama de novas biomassas, demonstrando experimentalmente e numericamente o potencial econômico dos resíduos de casca de coco para produzir biocombustíveis renováveis (óleo pirolítico e biochar) através da pirólise lenta. As amostras foram submetidas a um processo de pirólise (500 °C por 30 min, com uma taxa de aquecimento de 20 °C min⁻¹, utilizando vapor de água como gás transportador), onde os rendimentos do biochar e do bio-óleo alcançados foram 31 e 30%, respectivamente. Os principais componentes encontrados no bio-óleo foram furfural (29,23%), fenol (22,18%) e isoeugenol (10,26%). Os valores de área superficial (Brunauer-Emmett-Teller (BET) e Langmuir) encontrados

para o biochar foram maiores que 300 m²/g e o volume de micropore foi de 0,11 cm³/g. Os potenciais energéticos teóricos estimados do biochar e do bio-óleo foram 208.107.180 MJ e 190.205.438 MJ, equivalentes a 3.729.518,4 toneladas de cascas de coco. Assim, este estudo traz como uma novidade uma nova matéria-prima associada aos modelos tecnológicos de bioprocessos que abrirão caminhos sustentáveis para o desenvolvimento de biorrefinarias, oferecendo uma opção verde sustentável para produzir bioprodutos e bioenergia. No modelo proposto, os resíduos são valorizados usando vários processos que abordam a economia.

Palavras-chave: biomassa lignocelulósica, pirólise, bio-óleo, biochar, energia.

INTRODUÇÃO

Há uma busca crescente por recursos energéticos renováveis que podem substituir a dependência global existente dos recursos fósseis (PERSSON e YANG, 2019). Entre esses recursos renováveis, pode-se encontrar a biomassa lignocelulósica, considerada atraente em utilização energética, porque além de sua grande abundância, baixo custo e natureza neutra em carbono, tem o potencial de ser transformada em biocombustíveis através de várias tecnologias (AHMED et al., 2020; SETTER et al., 2020). Resíduos de atividades agrícolas e o ambiente florestal são importantes fontes de biomassa lignocelulósica (RANGABHASHIYAM e BALASUBRAMANIAN, 2019).

No entanto, os estudos projetaram que 476 milhões de toneladas de biomassa lignocelulósica serão necessárias para atender ao mercado crescente de produtos bio-baseados até 2030. Para atender a essas necessidades, a ampla utilização de fontes de biomassa não tradicionais de resíduos será adotada por biorrefinarias (HICKEY et al., 2021). Entre essas culturas subutilizadas, as cascas de coco (*Cocos nucifera* L.) são promissoras. De acordo com Santana Jr. et al., (SANTANA JUNIOR et al., 2021) são uma cultura tolerante à seca, e devido à sua composição química, 30% de celulose, 27% de hemicelulose e 27% de lignina, têm potencial para utilização industrial.

O Brasil é um dos maiores produtores de coco do mundo e, portanto, gera uma grande quantidade de resíduos desse mercado. Para cada 250 ml de água de coco (a parte principal vendida), cerca de 1 kg de resíduos é gerado. Em 2019, o Brasil produziu aproximadamente 1,5 milhão de toneladas desses resíduos, que se torna uma responsabilidade ambiental devido ao enorme espaço que ocupa em aterros sanitários e à sua lenta degradação (8 anos em média) (ALMEIDA et al., 2013).

Esta biomassa pode ser convertida em produtos de valor agregado, como biochar, bio-óleo e gás não condensável do processo de pirólise, que é uma técnica considerada promissora no contexto de fornecimento de energia e controle de emissões de carbono (AHMED et al., 2020).

O bio-óleo contém vários compostos orgânicos, tais como ácidos, fenóis, cetonas, ésteres, álcoois, aldeídos, açúcares e éteres. Assim, devido às suas características, o bio-óleo tem o potencial de ser usado como matéria-prima na indústria química e também como combustível para motores, caldeiras e turbinas, sendo assim uma alternativa aos combustíveis fósseis (SETTER et al., 2020).

O biochar tem várias aplicações e pode ser usado para corrigir o solo, melhorando sua estrutura e fertilidade, disponibilidade de nutrientes, capacidade de retenção de água e também para sequestro de carbono. Outras aplicações incluem seu uso como material de adsorção para remover poluentes e também nas indústrias química e farmacêutica (RANGABHASHIYAM e BALASUBRAMANIAN, 2019; HICKEY et al., 2021). Entre suas aplicações ambientais, o biochar também tem sido usado para tratamento de águas residuais, remediação do solo (ANAE et al., 2021) e captura de gases poluentes, uma vez que tem uma boa capacidade de adsorção (LENG et al., 2021). Também pode ser usado como combustível para geração de energia térmica e elétrica (SANTOS et al., 2020; DAS et al., 2021).

A fim de avaliar o potencial dos produtos de coco mencionado acima, o objetivo deste estudo foi a investigação dos custos econômicos e de energia, incluindo um valor próximo dos bioprodutos, confirmando assim a novidade do presente trabalho com uma análise global.

Portanto, o uso desses resíduos se torna uma oportunidade interessante para produzir novos compostos comercializáveis, especialmente para a indústria química, além de minimizar os impactos ambientais adversos causados pela sua disposição.

EXPERIMENTAL

Preparação de amostra

O epicarpo do coco-verde (*Cocos nucifera* L.) foi coletado a partir dos resíduos de coco descartados no comércio da cidade de Palmas, no estado do Tocantins. O material coletado foi processado no laboratório de química da Universidade Federal de Tocantins,

onde as frações foram separadas manualmente, as cascas foram secas em estufa a 50 ° C por 24 h, moídas (48 mesh) em um moinho de facas WILEE (modelo Estrela FT 50, Fortenox, Piracicaba, São Paulo, Brasil) e depositadas em garrafas de vidro hermeticamente seladas. Todas as análises foram realizadas em duplicatas.

Análise química aproximada

A análise química aproximada foi realizada seguindo os procedimentos da Sociedade Americana de Testes e Materiais (ASTM). A biomassa bruta foi levada para a estufa, permanecendo durante 12 h a 105 ° C para determinar a umidade (ASTM D 3173-87). Então, este material foi mantido por 4 h a uma temperatura de 600 ° C para determinar o conteúdo de cinzas (ASTM D 3174-04). A matéria volátil foi mensurada com o auxílio da mufla a 800 ± 10 ° C durante 8 min, com base numa amostra seca de 1,0 g (ASTM D 3175-07). Por meio da diferença entre o teor de cinzas e a matéria volátil, a porcentagem de carbono fixo (FC) foi determinada.

Extração de Soxhlet

Um extrator de Soxhlet foi utilizado e os cartuchos de extração receberam 3 g de biomassa cada um. Depois disso, eles foram cobertos de algodão e levados para o extrator, com 190 ml de etanol 90% (Merck, Darmstadt, Alemanha) por 12 h em refluxo (NREL/TP-510-42619). Após o final do refluxo, os cartuchos foram retirados e colocados em placas de Petri no balcão para 48 h para serem secos. Após 48 h, o teor de umidade da amostra extraída foi determinado novamente, para que o conteúdo extrativo fosse calculado de acordo com a perda de peso após a extração, descontando a umidade.

Hidrólise ácida

A etapa de hidrólise ácida foi realizada de acordo com a metodologia do Laboratório Nacional de Energia Renovável (NREL/TP-510-42618) para a determinação de carboidratos estruturais e lignina em biomassa. Os tubos de pressão foram utilizados, em que 300 mg da biomassa extraída foram colocados, e 3,0 ml (4,91 g) de H₂SO₄ (Merck, Darmstadt, Alemanha) a 72% (m/v); então, os tubos foram levados para um banho-maria (TE 056, Technal, Piracicaba, Brasil) por 120 min a 60 ° C e agitados a cada

10 min. Este é o passo primário de hidrólise. Subsequentemente, foram adicionados 84 ml de água deionizada para que a concentração de ácido sulfúrico fosse reduzida para 4% (m/v); os tubos foram então levados para uma autoclave (AV 18, Phoenix, Araraquara, Brasil) por 1 h a 120 ° C (etapa de hidrólise secundária).

Após esta etapa, a solução hidrolisada foi filtrada em cadinhos de porosidade média (10 a 15 µm) usando uma bomba de vácuo (NOF-650, evpvacuum, Xangai, China). Os sólidos retidos nos cadinhos filtrantes foram levados para a estufa a 105 ° C, para que o conteúdo de resíduo insolúvel ácido (AIR) fosse determinado, e depois foram mantidos em mufla por 4 h a 575 ° C para obter o conteúdo de cinza insolúvel em ácido (AIA). A partir da diferença entre o AIR e a AIA, o conteúdo da lignina insolúvel – também conhecida como Lignina de Klason (KL) – foi determinado. O filtrado (hidrolisado) contém a lignina solúvel em ácido (ASL) e quaisquer outros componentes da biomassa solúveis em ácido, tal como os açúcares hidrolisados.

Análise de celulose, hemicelulose e lignina

De acordo com a Associação de Químicos Analíticos Oficiais (AOAC, 1995), a fibra de detergente ácido (ADF) e a fibra de detergente neutro (NDF) foram utilizadas para determinar o conteúdo da hemicelulose, enquanto a lignina foi determinada por metodologias do NREL e a celulose por diferença (DING et al., 2012).

Processo de Pirólise

A pirólise ocorreu usando um reator de quartzo tubular de leito fixo, com 10 cm de diâmetro externo e 100 cm de comprimento, utilizando 30 g de biomassa a 500 °C com uma taxa de aquecimento de 20 °C durante 30 min (RODRIGUES et al., 2021). Vapor de água foi usado como gás transportador. No final do reator foi acoplado um sistema de condensação composto por um condensador tipo Friedrich, um balão de vácuo, dois tubos e um tanque de água de 20 L para resfriamento do condensador. Com a passagem do vapor, foi possível separar o biogás dos produtos líquidos (extrato de bio-óleo e ácido), que são retidos no balão de vácuo. Para a separação do bio-óleo e do extrato ácido, diclorometano (Merck, Darmstadt, Alemanha) (20 ml) foi utilizado. Após o processo de pirólise, o biochar e o bio-óleo foram coletados e pesados para obter os rendimentos do produto. O rendimento do gás de síntese foi calculado pela diferença. Os rendimentos (%)

do biochar e do bio-óleo foram calculados de acordo com as equações 1 e 2, respectivamente.

$$\text{Rendimento de biochar (\%)} = \frac{m_2}{m_1} \times 100 \quad (1)$$

Onde:

m_1 : peso da amostra em gramas (g);

m_2 : peso do biochar em gramas (g).

$$\text{Rendimento de bio-óleo (\%)} = \frac{m_2}{m_1} \times 100 \quad (2)$$

Onde:

m_1 : peso da amostra em gramas (g);

m_2 : peso do bio-óleo em gramas (g).

Análise do biochar

Ativação do biochar

A ativação do biochar foi realizada com uma solução de cloreto de zinco (ZnCl_2) da Merck (Darmstadt, Alemanha) com concentração de 10% m/v na proporção de 1:5 (biochar: solução, massa:volume) que foi adicionada ao biochar (fração do processo de pirólise). Em seguida, o recipiente da amostra foi coberto com papel filme por 24 h. Posteriormente, a amostra foi lavada com água destilada e seca em estufa a $110 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$ (COSTA et al., 2015).

A biomassa lavada foi colocada em um cadinho de cordierita, fechado com lã de rocha e placa de cordierita, e novamente pirolisado em estufa vertical (Jung 815) a $600 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$ por 2 h. Uma solução 2 mol/L de ácido clorídrico (HCl) (Merck, Darmstadt, Alemanha) foi utilizada para lavar o biochar ativado, removendo e desobstruindo os poros. O processo foi concluído com a secagem da amostra em estufa a $110 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$ por 24 h, resultando no biochar ativado da casca de coco.

Análise da área superficial

A análise BET (Brunauer-Emmett-Teller) foi realizada para determinar a área superficial e a porosidade do biochar. A análise BET foi executada usando um Micromerítico ASAP 2010 (Norcross, GA 30093 USA). A amostra é previamente tratada a vácuo para limpeza da superfície e, em seguida, é enviada para análise. Para cada corrida, foi usado 0,5 g de amostra e as amostras foram desgaseificadas a 300 °C por 2 h sob nitrogênio em 77 K de temperatura. A faixa de diâmetro utilizada como padrão foi de 0,35 a 300 nm para os poros e de 0,01 a 3.000 m²/g na faixa de área superficial. As pressões parciais utilizadas estão entre 0,01 e 0,995. Para cálculo de área, tanto BET quanto Langmuir, a faixa utilizada é de 0,05 a 0,30. Para o volume total de poros, o último ponto, 0,995, é usado. As pressões parciais utilizadas foram de 0,02 a 0,995 na adsorção e dessorção.

Rendimento de energia

O rendimento energético foi calculado pela seguinte equação 3 (SELVARAJOO e OCHIT, 2020):

$$\text{Rendimento de energia (\%)} = \frac{W_b}{W_{rb}} \times 100 \times \frac{HHV_b}{HHV_{rb}} \quad (3)$$

Onde:

W_b = peso do biochar (kg);

W_{rb} = peso da biomassa bruta (kg);

HHV_b = Maior valor de aquecimento do biochar (MJ/kg) (foi considerado como 24,15 MJ/kg) (SANTANA JUNIOR et al., 2020);

HHV_{rb} = Maior valor de aquecimento da biomassa bruta (MJ/kg) (foi considerado como 18,71 MJ/kg) (RAMBO et al., 2015).

Análise do bio-óleo

Análise por Cromatografia Gasosa acoplada à Espectrometria de Massas (GC-MS)

Com o auxílio do equipamento GC-MS QP2010 Plus (PerkinElmer do Brasil Ltda, São Paulo, Brasil) equipado com uma coluna capilar Rtx-5MS WCOT (30 m × 0,25 mm

× 0,25 μm), as frações orgânica e aquosa do bio-óleo foram separadas. Para a separação cromatográfica, seguiu-se o planejamento para utilização das temperaturas: por 1 min (isotérmica), aumentada para 7 °C/min a 100 °C e depois a 4 °C/min a 320 °C seguido de 10 minutos a 320°C. O gás de arraste utilizado foi o hélio a 1,90 mL/min. Para obter os espectros de massa, foi utilizado o modo IEI (com energia de ionização de 70 eV). A quantificação dos componentes foi realizada pela área do pico.

Estimativa do potencial econômico e energético

Foi realizado um levantamento da rentabilidade econômica dos principais produtos encontrados no bio-óleo e biochar. Foi considerada a quantidade obtida de cada produto a partir do processamento de 1 tonelada de biomassa de coco, levando em consideração os respectivos rendimentos, juntamente com os valores de mercado (SIGMA-ALDRICH, 2022; SEFA, 2015) obtidos pela Sigma-Aldrich para os produtos do bio-óleo e pela SEFA Portaria nº 611, de 10/09/2015,25 do Estado do Pará para o biochar, a fim de obter um valor próximo ao quanto renderia a venda desses produtos. Não foram considerados os gastos com energia elétrica, equipamentos e água.

Considerando a possibilidade de realizar o aproveitamento energético da casca de coco, o potencial energético teórico do biochar e do bio-óleo também foi estimado pela equação 4, segundo Milian-Luperón et al. (2020):

$$TEP = \frac{BWY \cdot AEV}{100} \quad (4)$$

Onde:

TEP = Potencial energético teórico (MJ);

BWY = Rendimento dos resíduos da biomassa (kg);

AEV = Valor médio de energia (MJ kg) (foi considerado ~18 MJ/kg para o biochar e ~17 MJ/kg para o bio-óleo).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Caracterização físico-química

A figura 1 mostra os valores obtidos na análise aproximada e imediata das

biomassas brutas.

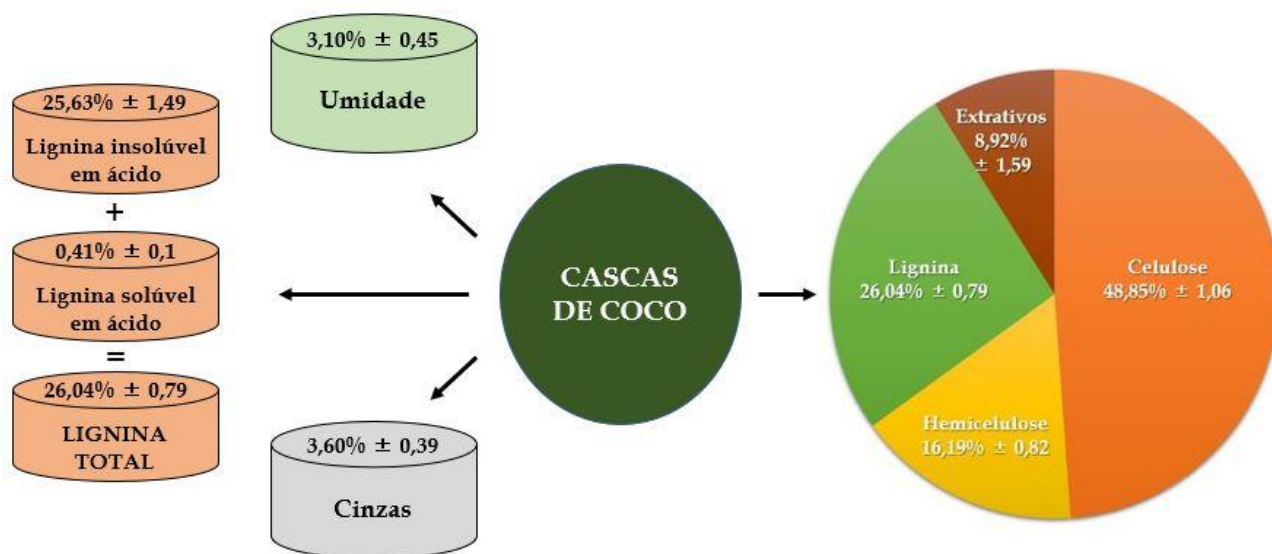


Figura 1. Composição da biomassa lignocelulósica.

Os valores de cinzas (3,60%) e umidade encontrados foram baixos, semelhantes a outros estudos que utilizaram pirólise na biomassa lignocelulósica, segundo Rambo et al. (2020a), que obtiveram 1,41% de cinzas e 9,56% de umidade para resíduos de coco. Ali et al. (2017) encontraram a mesma quantidade de cinzas (3,6%) e umidade (7,9%) nos resíduos da casca de coco. O alto teor de cinzas pode prejudicar os processos de hidrólise ácida e/ou enzimática (23). Assim, um baixo teor de cinzas é importante quando se considera os processos envolvidos na utilização da biomassa lignocelulósica.

O teor de umidade encontrado (6,1%) por Balasundram et al. (2017) para resíduos de coco foi semelhante a este estudo. O teor de umidade abaixo de 10% é considerado favorável, pois pode aumentar o teor de energia da biomassa (29), embora a comparação dos valores de umidade seja muito relativa, pois depende fortemente das condições/origem da biomassa.

Romão et al. (2020) obtiveram uma quantidade total de lignina de aproximadamente 30% em condições de hidrólise semelhantes, o que resultou em dados semelhantes para o mesocarpo de coco-verde. Scapin et al. (2020) obtiveram para a biomassa de pequi (*Caryocar brasiliense*) um teor de lignina total (TL) de 25,71%, valor semelhante ao encontrado neste estudo (26,04%). Altos teores de açúcares foram obtidos, considerando celulose (48,85%) e hemicelulose (16,19%), que juntas somam 65,04%, assim como Santana Junior et al. (2020), que obtiveram > 85% para mesocarpo de coco,

indicando que a utilização de esta biomassa é favorável para uso em biorrefinarias (31).

O valor de extrativos ficou abaixo de 10% (8,92%), que é o valor esperado para biomassas lignocelulósicas (DAI et al., 2020). Wang et al. (2018) obtiveram 4,97% para biomassa de bambu e Yu et al. (2017) obtiveram 5,7% para pinus. Extrativos podem inibir a formação de gás e carvão (WANG et al., 2011). Assim, a obtenção de valores baixos torna-se interessante; além disso, evita que ocorram reações paralelas, que podem afetar a seletividade do processo (RAMBO et al., 2017).

Produtos da pirólise

Biochar e bio-óleo

O rendimento de biochar encontrado foi de 31%, resultado semelhante ao encontrado para outras biomassas lignocelulósicas submetidas à pirólise na faixa de temperatura de 400 – 700 °C, mesmo sob diferentes tempos de residência, conforme os estudos contidos na Tabela 1.

Mohammed et al. (2016), utilizando capim-elefante, compararam o bio-óleo e o biochar obtidos a partir de diferentes abordagens: pirólise da biomassa bruta e pirólise para o processo catalítico. O biochar registrado da biomassa bruta foi de 29,24%. Para o processo catalítico, o biochar tem um pequeno incremento (29,79 - 30,22% em peso). Isso demonstra que o biochar obtido no presente trabalho teve melhores rendimentos (31%) e sem etapas adicionais.

Tabela 1. Rendimento do biochar de resíduos de biomassa lignocelulósica.

Biomassa	Temp / °C	Tempo de residência / (min)	Rendimento (%)	Referência
Mesocarpo de coco	500	60	36,16	Johari et al., 2016
Casca de coco	500	20	38,30	Siengchum et al., 2013
Casca de coco	700	5	29,22	Almeida et al., 2013
Baru	450	30	> 48,00	Rambo et al., 2020b
Pequi	500	30	34,00	Brito et al., 2020
Casca de arroz	450	60	35,00	Biswas et al., 2017
Subprodutos de algodão	400	240	44,38	Chen et al., 2016
Cascas de pinhões	550	20	34,11	Qin et al., 2020
Serragem	500	50	38,60	Soni e Karmee., 2020

A presença de alguns minerais, um alto teor de lignina e uma alta faixa de temperatura de pirólise (400 - 700 °C) são condições que favorecem a produção de um biochar estável, com alta porosidade e área superficial específica fortemente desenvolvida (LENG et al, 2021; LENG et al, 2018; Tomczyk et al., 2020).

A Tabela 2 apresenta resultados satisfatórios quanto à área superficial e microporos das cascas de coco. Uma alta área superficial associada à alta porosidade são propriedades físicas importantes do biochar, pois influenciam diretamente muitas de suas aplicações, como a capacidade de absorção (ONI et al., 2019), que são semelhantes ao carvão vegetal ativado comercial que é amplamente utilizado como adsorvente.

Tabela 2. Área superficial e porosidade do biochar da casca de coco.

<i>Componentes</i>	<i>Biochar</i>	
	BCA	CVAC
<i>Área superficial BET (m²/g)</i>	321,4532 ± 6,5400	597,33
<i>Área superficial Langmuir (m²/g)</i>	432,3222 ± 1,6591	-
<i>Área superficial externa (m²/g)</i>	73,4686	-
<i>Volume total de poros (cm³/g)</i>	0,164346	-
<i>Volume de microporos (cm³/g)</i>	0,115292	0,22
<i>Área de microporos (m²/g)</i>	247,9846	-
<i>Tamanho médio dos poros (Å)</i>	20,3378	-

BCA: biochar de coco-verde ativado; CVAC: carvão vegetal ativado comercial (LINHARES et al., 2016).

A área superficial (BET e Langmuir) do biochar encontrada foi acima de 300 m²/g. Comparando com trabalhos já publicados, Wang et al. (2018) obtiveram uma área superficial de 181,05 m²/g para o biochar de bambu e Brito et al. (2020) encontraram 30,1 m²/g (BET) e 30,9 m²/g (Langmuir) para o biochar de pequi ativado, usando o mesmo processo de ativação. De acordo com as diretrizes para a certificação do biochar (Certificado Europeu de Biochar, versão 4.8) (EBC, 2014), é necessária uma superfície específica mínima > 150 m²/g. Assim, o valor > 300 m²/g mostra o enorme potencial deste biochar para ser utilizado como adsorvente no solo, uma vez que uma elevada área superficial favorece sua aplicação na estabilização/imobilização de metais pesados, podendo também ser utilizado na remoção de metais pesados de águas residuais para reduzir ameaças à saúde humana (HU et al., 2021). O biochar com grande área superficial

aplicado ao solo também pode adsorver gases de efeito estufa, como o óxido nitroso (N₂O), reduzindo sua emissão para a atmosfera (ONI et al., 2019).

O volume de microporos (0,115292 cm³/g) do biochar da casca de coco foi satisfatório e superior ao encontrado no biochar de outras biomassas (LINHARES et al., 2016). Os microporos do biochar são responsáveis pela alta capacidade de absorção e área superficial. A presença de uma boa microporosidade proporciona vantagens ao solo, como a sorção de matéria orgânica dissolvida e uma melhor atividade de microrganismos, o que acelera a remediação de poluentes orgânicos nos solos (ONI et al., 2019). As características do biochar da casca do coco também demonstram sua viabilidade para aplicação na construção civil, pois, para ser utilizado como aditivo cimentício, o biochar precisa ter área superficial maior que 5 m²/g e volume microporoso maior que 0,010 cm³/g, sendo encontrados valores superiores a estes (HU et al., 2021). Pela distribuição do diâmetro dos poros, observa-se que os poros são menores que 20,50 Å, confirmando que a estrutura do BCA é constituída, em sua maioria, por microporos.

O rendimento energético calculado (equação 3) para a casca de coco foi de 40,01% (Tabela 3), semelhante ao encontrado por Padilla et al. (2018), cujo rendimento energético foi de 52,76% para o biochar da casca de coco-verde também submetido à pirólise no temperatura de 500 °C. Outro estudo realizado por Selvarajoo e Oochit (2020) com fibra de palma obteve um rendimento energético de 47,93% para o biochar pirolisado a 500 °C. Em ambos os estudos, as biomassas foram submetidas a diferentes temperaturas e concluiu-se que os melhores rendimentos energéticos do biochar foram obtidos em temperaturas mais baixas, indicando que um menor consumo de energia pode ser utilizado para produzir o biochar a ser utilizado para esta finalidade.

Tabela 3. Maior poder calorífico (HHV) para amostras de coco bruto e de biochar.

Amostra	HHV (MJ/kg)	Rendimento energético (%)
<i>Biomassa bruta</i>	18,71 (RAMBO et al., 2015)	-
<i>BCC</i>	24,15 (SANTANA JUNIOR et al., 2020)	40,01

BCC: biochar da casca de coco.

Em relação ao bio-óleo com rendimento de 30%, os principais compostos identificados foram água, ácidos, álcoois, aldeídos, ésteres, cetonas, carboidratos, hidrocarbonetos, fenóis e outras substâncias derivadas da lignina e da celulose (ALMEIDA et al., 2013) (Figura 2). Foram encontrados valores de fenol (45,81%) e

aldeído (32,76%) na composição do bio-óleo, e menores valores de cetona (11,7%), alceno (5,24%), álcool (1,88%), ácido (1,7%) e hidrocarbonetos (0,91%). Resultados semelhantes foram encontrados por Almeida et al. (2013) para biomassa de coco, onde obteve 55,2% de fenóis, 14,2% de aldeídos, 10,2% de cetonas e 4,1% de álcoois.

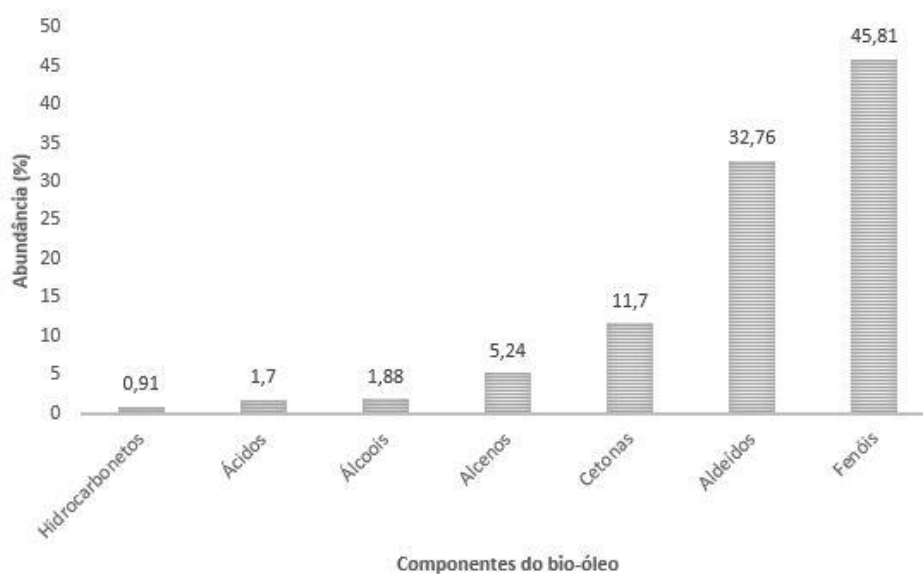


Figura 2. Composição química do bio-óleo da casca de coco.

Mohammed et al. (2017a) estudaram a pirólise da casca do amendoim bambara. A distribuição do composto químico na fase orgânica do bio-óleo apresenta relação com a temperatura de pirólise. O teor de fenólicos totais na fase orgânica registrado a 450 °C foi de 74,08% e aumentou para 82,28% a 750 °C, sugerindo que a maior temperatura de pirólise promove a liberação de fenóis do componente lignina da biomassa. Isso ocorre porque a degradação primária (450 - 550 °C) da lignina gera fenólicos máximos, como siringóis e guaiacóis, enquanto a decomposição da lignina secundária promove o fenol. Esta observação está de acordo com o reportado neste estudo (Tabela 4) para a degradação primária.

A alta composição de ácidos, aldeídos e cetonas (> 40%) na fase orgânica pode ser atribuída à polimerização de moléculas orgânicas de cadeia curta ativas geradas a partir de ésteres metílicos e outras moléculas de cadeia longa com as carbonilas e carboxílicas instáveis durante a condensação do vapor da pirólise (MOHAMMED et al. (2017a).

Mohammed et al. (2017b) avaliaram as mudanças na composição entre o óleo pirolítico bruto e o óleo pirolítico aprimorado. O aumento no teor de fenol foi registrado

no óleo pirolítico aprimorado em relação ao óleo pirolítico bruto. No entanto, o bio-óleo produzido neste estudo (cru) apresenta a mesma composição de fenóis (45,8%) em comparação com o óleo aprimorado (41-47%) produzido com catalisadores. Outra semelhança diz respeito à composição de hidrocarbonetos aromáticos no presente óleo em comparação com o óleo aprimorado obtido pelos autores (MOHAMMED et al., 2017b), ambos apresentam baixa composição. Isso sugere que o óleo produzido pelos autores tem um enorme potencial de uso se for atualizado no futuro com catalisadores.

Os componentes mais abundantes encontrados no bio-óleo (Tabela 4) da casca de coco foram furfural (29,23%), fenol (22,18%) e fenol, 2-metoxi-(isoeugenol) (10,26%). Atualmente, a principal matéria-prima para produção de furfural utilizada na indústria é proveniente da biomassa lignocelulósica, e este composto é produzido principalmente pela degradação da hemicelulose. O furfural pode ser usado como substituto sustentável de componentes à base de petróleo na produção de química fina e plásticos, como solvente para o refino de óleo lubrificante e óleo diesel, bem como na produção de agroquímicos (LIU, et al., 2018; BIZZI et al., 2019; HUI et al., 2019).

Os compostos fenólicos têm muitas aplicações na indústria farmacêutica, na produção de biomateriais e na indústria alimentícia, pois possuem efeitos antioxidantes e antimicrobianos que ajudam a prevenir a oxidação e deterioração dos alimentos (OKUMURA, 2021; XU et al., 2021). O fenol também é um produto químico usado como bloco de construção em fibras sintéticas, plásticos de engenharia e resinas fenólicas (GAO et al., 2021; LIU et al., 2021).

Tabela 4. Compostos químicos do bio-óleo da casca de coco determinados por análise GC-MS.

Componentes	Quantidade / %
Furfural	29,23
Phenol	22,18
Phenol, 2-methoxy-	10,26
p-Cresol	4,52
Phenol, 2-methyl-	4,00
2-Furancarboxaldehyde, 5-methyl-	3,53
2,4-Dimethylhept-1-ene	3,24
2-Propanone, 1-(acetyloxy)-	3,18
Creosol	3,08
2-Cyclopenten-1-one, 2-methyl-	2,42
Ethanone, 1-(2-furanyl)-	2,13
Cyclopentanone	2,06
2-Furanmethanol, tetrahydro-	1,88
Phenol, 4-ethyl-2-methoxy-	1,77

Acetic acid, trifluoro-, 3,7-dimethyloctyl ester	1,70
2-Cyclopenten-1-one, 2,3-dimethyl-	1,33
1-Undecene, 7-methyl-	1,19
Nonane, 2,6-dimethyl-	0,91
1-Undecene, 7-methyl-	0,81
2-Cyclopenten-1-one, 3,4-dimethyl-	0,58

Análise econômica e energética aproximada

Foram considerados os três produtos encontrados em maior quantidade no bio-óleo, que juntos compreendem > 60% de sua composição em massa, e são o furfural, o fenol e o isoeugenol. Foi considerado um rendimento médio de 30% de bio-óleo, como é esperado para essa biomassa lignocelulósica em condições semelhantes de temperatura e tempo de pirólise (RAMBO et al., 2020b; BRITO et al., 2020). Como o rendimento de biochar encontrado foi de 31%, podem ser obtidos 310 kg de biochar por tonelada de cascas de coco.

Admitidos os valores de mercado (SIGMA-ALDRICH, 2022; SEFA, 2015) de cada produto (Tabela 5), é possível obter um saldo total de US\$ 81.017,48 com o processamento de 1 tonelada de biomassa com a venda dos principais produtos da biomassa de coco verde, desconsiderando a despesas de processamento, como água e energia. Apenas o diclorometano, reagente utilizado para a separação dos bioprodutos, foi considerado.

Tabela 5. Valores de mercado (SIGMA-ALDRICH, 2022; SEFA, 2015) dos principais componentes do bio-óleo e biochar da casca de coco.

<i>Componentes</i>	<i>Valores de mercado (US\$/kg)</i>
Furfural	119,00
Bio-óleo	
Fenol	908,00
Isoeugenol	435,00
Biochar	0,25

Portanto, esses compostos químicos encontrados no bio-óleo podem ser separados e purificados por diferentes métodos de processamento para serem usados como química fina em diferentes aplicações nas indústrias químicas (SONI e KARMEE, 2020). O presente estudo não avaliou a pureza desses compostos, apenas a

identificação/quantificação dos produtos potenciais. Trabalhos futuros pretendem fazer essa separação.

Biochar é um bioproduto comercializável, com aplicabilidade na agricultura, indústria e setor energético. A qualidade, segurança e quantidade do bioproduto têm um efeito significativo na bioeconomia; assim, esses fatores devem ser considerados na produção de biochar, pois uma grande produção efetiva resultará em benefícios econômicos e ambientais (ONI et al., 2019).

Tanto o biochar quanto o bio-óleo podem ser usados como fontes de energia através da combustão. Considerando o processamento de 1 tonelada de biomassa de casca de coco, com base em cálculos feitos de potencial energético teórico (TEP) (equação 4), com rendimento de 30% para o bio-óleo e 31% para o biochar, é possível estimar um TEP de 51 MJ para o bio-óleo e 55,8 MJ para o biochar para 1 tonelada de resíduos.

Assim, buscando estimar qual seria o TEP dos resíduos da casca de coco produzidos no Brasil, tomou-se como base a produção de 4.661.898 toneladas de coco-verde no Brasil em 2019 (IBGE, 2019) e o percentual da casca correspondente a aproximadamente 80% do peso do fruto. Para o cálculo (equação 4) foram utilizadas 3.729.518,40 toneladas de casca de coco (80%), rendimentos de 30 e 31% e os valores obtidos para TEP de 51 e 55,8 MJ para o bio-óleo e o biochar, respectivamente. Portanto, o potencial energético teórico alcançado foi de aproximadamente 190.205.438 MJ ou 5.283.484 MWh para o bio-óleo e 208.107.180 MJ ou 5.780.755 MWh para o biochar.

Utilizando a mesma base de cálculo (equação 4), Milian-Luperón et al. (2020) obtiveram um potencial energético de 128.448 MJ para o biochar e 113.940 MJ para o bio-óleo a partir de 716 ton de casca de café e também 20.160 e 22.860 MJ para o biochar e o bio- óleo, respectivamente, de 121 toneladas de cascas de semente de cacau. Da mesma forma, para 3.026 toneladas de resíduos de cascas de cupuaçu produzidos no Brasil, Marasca et al. (2021) obtiveram um TEP de 70.342 MJ. Foi possível atingir altos valores de TEP para as cascas de coco-verde, pois esta fruta tem alta produção no Brasil, gerando grandes quantidades de resíduos que podem ser utilizados como fonte de energia.

O TEP total da soma dos potenciais de biochar e bio-óleo das cascas de coco-verde encontrado na equação 4 (MILIAN-LUPERÓN et al., 2020) foi de 398.312.618 MJ para um ano de produção de resíduos no Brasil. Se essa quantidade de energia fosse utilizada para suprir a demanda energética das residências brasileiras, cujo consumo médio por residência é de aproximadamente 0,1608 MWh por mês (EPE, 2020), essa quantidade de biochar e bio-óleo produzida seria capaz de suprir o consumo de 5.734.747

residências em um período de 12 meses. Esta é uma contraprestação bruta, desconsiderando gastos como conversão em escala industrial de biomassa em biochar e bio-óleo, energia, logística, manutenção de equipamentos, funcionários, entre outros.

A Figura 3 mostra um levantamento da rentabilidade econômica e do potencial energético teórico dos principais produtos encontrados no bio-óleo e no biochar da pirólise das cascas de coco-verde.

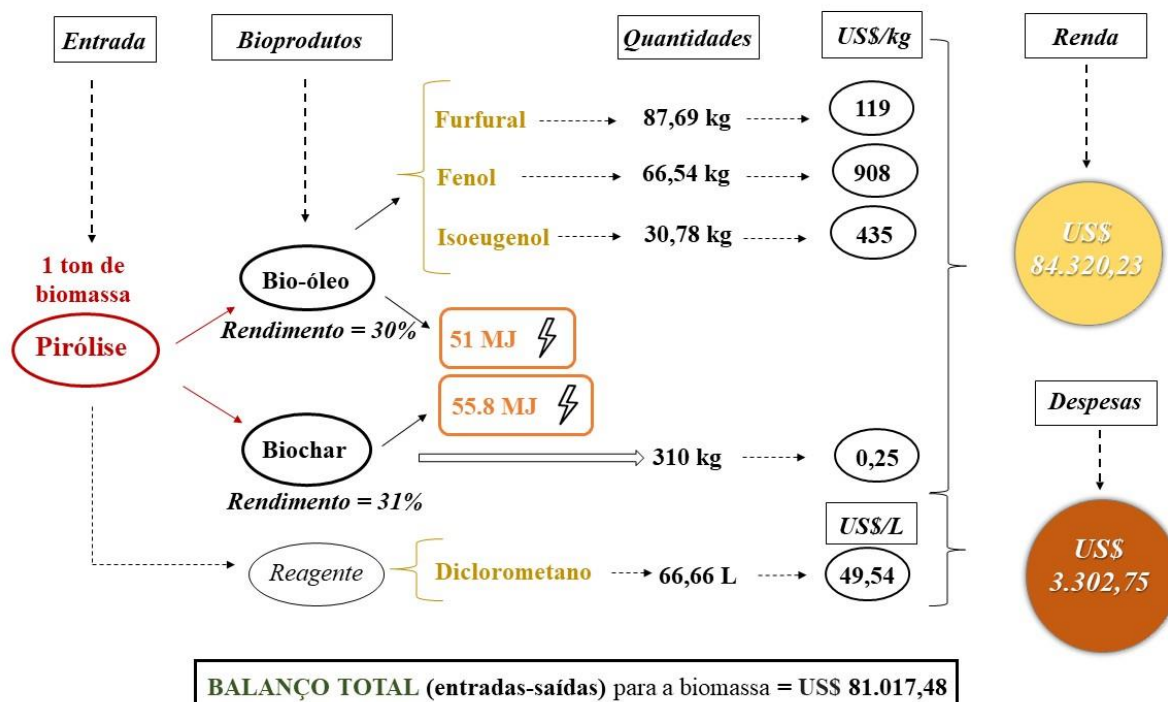


Figura 3. Rendimento do produto e potencial energético teórico obtido da pirólise da biomassa.

A produção de biochar pode ser atrativa se a renda obtida compensar os custos econômicos de todo o processamento da biomassa, alcançando um equilíbrio econômico. A comercialização do biochar parece promissora quando usado na agricultura para melhorar as características do solo e como adsorvente de gases de efeito estufa para pagamentos de sequestro de dióxido de carbono (ONI et al., 2019).

A viabilidade da coprodução de biochar e metanol (biocombustível) a partir do tratamento térmico da biomassa de pinus foi estudada por Shabangu et al (2014). As variáveis que tiveram maior impacto na rentabilidade do sistema foram o custo da biomassa, o valor dos produtos (metanol e biochar) e os custos de capital representados pelo tamanho da planta e o fator de investimento total do projeto. Os preços de venda encontrados para o biochar que viabilizam o sistema foram US\$ 220/t para pirólise a 300

°C e US\$ 280/t para pirólise a 450 °C. Concluiu-se também que a produção de biochar em conjunto com metanol é mais vantajosa, pois ajuda a reduzir os custos do biocombustível, demonstrando assim a aplicabilidade e importância econômica do biochar.

CONCLUSÕES

Os resultados do bio-óleo coletado revelaram que os constituintes são predominantemente fenóis, aldeídos e cetonas, com traços de ácidos, alcenos e álcoois, fontes importantes para a produção de biocombustíveis de qualidade e produtos químicos valiosos. Dentre esses compostos, o furfural e o fenol estão presentes em mais de 20% da composição.

O biochar produzido também é considerado promissor para uso em processos de adsorção, como biofertilizante ou combustível sólido, pois possui excelente área superficial ($> 300 \text{ m}^2/\text{g}$) e características microporosas, além de sua utilização para produção de energia, uma vez que apresentou um potencial energético teórico satisfatório, podendo ser aplicado em processos de combustão.

Este estudo demonstrou que o óleo pirolítico e o biochar derivados da casca de coco podem ser transformados em óleo pirolítico de alta qualidade, e outros produtos químicos de valor agregado podem ser produzidos. Este estudo revelou que a casca de coco, resíduo de cultura alimentar, é um bom material para a produção sustentável de bioenergia, gerando um potencial energético teórico equivalente a 398.312.618 MJ por ano.

É possível desenvolver uma economia circular baseada no bio-óleo e biochar da casca do coco, gerando ganhos econômicos e ambientais; entretanto, alguns desafios precisam ser enfrentados e algumas barreiras sociais, políticas e científicas precisam ser superadas.

Assim, são necessárias ações, como: investir em pesquisas que considerem a escala industrial do processamento de biomassa, como as biorrefinarias, uma vez que as pesquisas são realizadas em laboratórios de pequena escala; conhecer os impactos ambientais de longo prazo do uso desses bioprodutos; garantir incentivos para a inserção do bio-óleo e do biochar a preços competitivos no mercado; desenvolver tecnologias de separação eficientes; e obtenção de biomassas com propriedades ideais para suas diversas aplicações.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior pela bolsa concedida (CAPES), ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais (PPGCiamb) por todo apoio financeiro pelo Edital nº 19/2021, da Universidade Federal de Tocantins, e ao Instituto Federal de Ciência e Tecnologia do Tocantins (IFTO) pelo Edital nº 28/2021 PAP/PQ por todo o apoio e por permitir a utilização dos laboratórios.

CONTRIBUIÇÕES DOS AUTORES

Debora Cristina F. Romão foi responsável pela supervisão, conceituação, recursos, curadoria de dados, validação, análise formal, software, visualização, investigação, redação do rascunho original, revisão e edição; Claudio C. Santana Junior pela curadoria, validação, investigação, revisão e edição dos dados; Mateus R. Brito pela curadoria, validação, investigação, revisão e edição dos dados; Elisandra Scapin pela supervisão, recursos, investigação e análise formal; Michele C. D. Rambo pela supervisão, curadoria de dados, validação, investigação, revisão e edição; Marcelo M. Pedroza pela supervisão, investigação, análise formal, revisão e edição; Magale K. D. Rambo pela supervisão, recursos, conceituação, visualização, curadoria de dados, análise formal, metodologia, redação do rascunho original, revisão e edição.

REFERÊNCIAS

- AHMED, A.; BAKAR, M. S. A.; SUKRI, R. S.; HUSSAIN, M.; FAROOQ, A.; MOOGI, S.; PARK, Y. Sawdust pyrolysis from the furniture industry in an auger pyrolysis reactor system for biochar and bio-oil production. **Energy Convers. Manage.**, v. 226, 113502, 2020.
- ALI, I.; BAHATHAM, H.; NAEBULHARAM, R. A comprehensive kinetics study of coconut shell waste pyrolysis. **Biores. Technol**, v. 235, p. 1-11, 2017.
- ALMEIDA, T. M.; BISPO, M. D.; CARDOSO, A. R. T.; MIGLIORINI, M. V.; SCHENA, T.; CAMPOS, M. C. V.; MACHADO, M. E.; LÓPEZ, J. A.; KRAUSE, L.; C.; CARAMÃO, E. B.; **J. Agric. Food Chem**, v. 61, p. 6812-6821, 2013.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS – ASTM International. ASTM D 3173-87. Standard method for determination of moisture content in biomass; <https://www.astm.org/Standards/E1358.htm>, accessed on March 9, 2021.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS – ASTM International. ASTM D 3174-04. Standard method for ash in the analysis sample of coal and coke; <https://www.astm.org/Standards/D3174.htm>, accessed on March 9, 2021.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS – ASTM International. ASTM D 3175-07. Standard method for volatile matter in the analysis sample of coal; <https://www.astm.org/Standards/D3175.htm>, accessed on March 9, 2021.

ANAE, J.; AHMAD, N.; KUMAR, V.; THAKUR, V. K.; GUTIERREZ, T.; YANG, X. J.; CAI, C.; YANG, Z.; COULON, F. Recent advances in biochar engineering for soil contaminated with complex chemical mixtures: Remediation strategies and future perspectives. **Sci. Total Environ**, v. 767, 144351, 2021.

AOAC - ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. Methods of analysis of the Association of official Analytical Chemists. 12th ed.; Washington, D.C., USA, 1995.

BALASUNDRAM, V.; IBRAHIM, N.; KASMANI, R. M.; HAMID, M. K. A.; ISHA, R.; HASBULLAH, H.; ALI, R. R. Thermogravimetric catalytic pyrolysis and kinetic studies of coconut copra and rice husk for possible maximum production of pyrolysis oil. **Journal of Cleaner Production**, v. 167, p. 218-228, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.08.173>.

BISWAS, B.; PANDEY, N.; BISHT, Y.; SINGH, R.; KUMAR, J.; BHASKAR, T. Pyrolysis of agricultural biomass residues: Comparative study of corn cob, wheat straw, rice straw and rice husk. **Bioresource Technology**, v. 237, p. 57-63, 2017.

BIZZI, C. A.; SANTOS, D.; SIEBEN, T. C.; MOTTA, G. V.; MELLO, P. A.; ERICO M.M. FLORES. Furfural production from lignocellulosic biomass by ultrasound-assisted acid Hydrolysis. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 51, p. 332-339, 2019.

BRITO, M. R.; ARRUDA, M. G.; PEDROZA, M.; FAGNANI, H. M. C.; JACONI, A.; RAMBO, M. K. D. Use of low-cost adsorbent derived from the brazilian cerrado biome to remove pollutants in effluente. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 13, 2021. DOI: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v10i13.21154>.

BRITO, M. R.; SANTANA JUNIOR, C. C.; RAMBO, M. K. D.; SCAPIN, E.; PEDROZA, M. M.; RAMBO, M. C. D.; BARBOSA, L. N. Utilization of pequi Residual Biomass from the Brazilian cerrado for obtaining raw and activated biochars and bio-oil. **International Journal of Advanced Engineering Research and Science**, v. 7, p. 251-259, 2020.

CHEN, J.; LIANG, J.; WU, S. Lignin-rich biomass of cotton by-products for biorefineries via pyrolysis. **Bioresource Technology**, v. 218, p. 402-409, 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2016.06.122>.

COSTA, P. D. DE.; FURMANSKI, L. M.; DOMINGUINI, L. Produção, Caracterização e Aplicação de Carvão Ativado de Casca de Nozes para Adsorção de Azul de Metileno. **Revista Virtual de Química**, v. 7, n. 4, p. 1272-1285, 2015.

DAI, L.; WANG, Y.; LIU, Y.; HE, C.; RUAN, R.; YU, Z.; JIANG, L.; ZENG, Z.; WU, Q. A review on selective production of value-added chemicals via catalytic pyrolysis of lignocellulosic biomass. **Science of the Total Environment**, v. 749, 142386, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142386>.

DAS, S. K.; GHOSH, G. K.; AVASTHE, R. Applications of biomass derived biochar in modern Science and technology. **Environmental Technology & Innovation**, v. 21, 101306, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eti.2020.101306>.

DING, T. Y.; HUI, S. L.; ONG, L. Comparison of pretreatment strategies for conversion of coconut husk fiber to fermentable sugars. **Bioresources**, v. 7, n. 2, p. 1540-1547, 2012.

EPE - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2020**. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-160/topico-168/Anu%C3%A1rio%20Estat%C3%ADstico%20de%20Energia%20El%C3%A9trica%202020.pdf>. Acesso em 15 jun. 2021.

EBC - EUROPEAN BIOCHAR CERTIFICATE. **Comparison of European Biochar Certificate Version 4. 8 and IBI Biochar Standards Version 2.0**. EBC foundation, 2012. Disponível em: <https://www.european-biochar.org/en>. Acesso em 10 mar. 2021.

GAO, H.; ZONG, Z.; TENG, D.; LI, J.; WEI, X.; GUO, Q.; ZHAO, T.; BAI, H.; KANG, Y. Catalytic *o*-methylation of phenols and its application in converting crude phenols in a low-temperature coal tar to mesitol and durenol. **Fuel**, v. 288, p. 119681, 2021.

HICKEY, D. T.; HAYES, D. J.; PEMBROKE, J. T.; RYAN, M. P.; LEAHY, J. J. The importance of extraction protocol on the analysis of novel waste sources of lignocellulosic biomass. **Energies**, v. 14, p. 6406, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/en14196406>.

HU, Q.; JUNG, J.; CHEN, D. et al. Biochar industry to circular economy. **Science of the Total Environment**, v. 757, p. 143820, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143820>.

HUI, W.; ZHOU, Y.; DONG, Y.; CAO, Z.; HE, F.; CAI, M.; TAO, D. Efficient hydrolysis of hemicellulose to furfural by novel superacid SO₄H functionalized ionic liquids. **Green Energy Environment**, v. 4, p. 49-55, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gee.2018.06.002>.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pesquisa/15/0>. Acesso em 17 mai. 2021.

JOHARI, K.; SAMAN, N.; SONG, S. T.; CHEU, S. C.; KONG, H.; MAT, H. Development of coconut pith chars towards high elemental Mercury adsorption performance e Effect of pyrolysis temperatures. **Chemosphere**, v. 156, p. 56-68, 2016.

LENG, L.; HUANG, H. An overview of the effect of pyrolysis process parameters on biochar stability. **Bioresource Technology**, v. 270, p. 627-642, 2018.

LENG, L.; XIONG, Q.; YANG, L.; LI, H.; ZHOU, Y.; ZHANG, W.; JIANG, S.; LI, H.; HUANG, H. An overview on engineering the surface area and porosity of biochar. **Science of the Total Environment**, v. 763, p. 144204, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144204>.

LINHARES, F. A.; MARCÍLIO, N. R.; MELO, P. J. Estudo da produção de carvão ativado a partir do resíduo de casca da acácia negra com e sem ativação química. **Scientia cum industria**, v. 4, n. 2, p. 74-79, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.18226/23185279.v4iss2p74>.

LIU, L.; CHANG, H.; JAMEEL, H.; PARK, S. Furfural production from biomass pretreatment hydrolysate using vaporreleasing reactor system. **Bioresource Technology**, v. 252, p. 165-171, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.01.006>.

LIU, X.; LI, Y.; XING, X.; ZHANG, G.; JING, X. Fully recyclable and high performance phenolic resin based on dynamic urethane bonds and its application in self-repairable composites. **Polymer**, v. 229, p. 124022, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.polymer.2021.124022>.

MARASCA, N. BRITO, M. R.; RAMBO, M. C. D.; PEDRAZZI, C.; SCAPIN, E.; RAMBO, M. K. D. Analysis of the potential of cupuaçu husks (*Theobroma grandiflorum*) as raw material for the synthesis of bioproducts and energy Generation. **Food Science and Technology**, p. 1-9, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1590/fst.48421>.

MILIAN-LUPERÓN, L., HERNÁNDEZ-RODRÍGUEZ, M., FALCÓN-HERNÁNDEZ, J., & OTERO-CALVIS, A. (2020). Obtaining bioproducts by slow pyrolysis of coffee and cocoa husks as suitable candidates for being used as soil amendment and source of energy. **Revista Colombiana de Química**, v. 49, n. 2, p. 23-29, 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.15446/rev.colomb.quim.v49n2.83231>.

MOHAMMED, I.Y.; ABAKR, Y. A.; HUI, J. N. X.; ALABA, P. A.; MORRIS, K. I.; IBRAHIM, M. D. Recovery of clean energy precursors from Bambara groundnut waste via pyrolysis: Kinetics, products distribution and optimisation using response surface methodology. **Journal of Cleaner Production**, v. 164, p. 1430-1445, 2017a. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.07.068>.

MOHAMMED, I. Y.; ABAKR, Y. A.; YUSUP, S.; ALABA, P. A.; MORRIS, K. I.; SANI, Y. M.; KAZI, F. K. Upgrading of Napier grass pyrolytic oil using microporous and hierarchical mesoporous zeolites: Products distribution, composition and reaction pathways. **Journal of Cleaner Production**, v. 162, p. 817-829, 2017b. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.06.105>.

MOHAMMED, I. Y.; KAZI, F. K.; YUSUP, S.; ALABA, P. A.; SANI, Y. M.; ABAKR, Y. A. Catalytic Intermediate Pyrolysis of Napier Grass in a Fixed Bed Reactor with ZSM-5, HZSM-5 and Zinc-Exchanged Zeolite-A as the Catalyst. **Energies**, v. 9, 246, 2016.

NREL – NATIONAL RENEWABLE ENERGY LABORATORY. (2008). NREL/TP-510-42619: determination of extractives in biomass. Disponível em: <https://www.nrel.gov/docs/gen/fy08/42619.pdf>. Acesso em 10 mar. 2021.

NREL – NATIONAL RENEWABLE ENERGY LABORATORY. (2012). NREL/TP-510-42618: determination of structural carbohydrates and lignin in biomass. Disponível em: <https://www.nrel.gov/docs/gen/fy13/42618.pdf>. Acesso em 10 mar. 2021.

OKUMURA, H. Application of phenolic compounds in plants for green chemical materials. **Green Processes Technologies**, v. 27, 2452, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cogsc.2020.100418>.

ONI, B. A.; OZIEGBE, O.; OLAWOLE, O. O. Significance of biochar application to the environment and economy. **Annals of Agricultural Sciences**, v. 64, p. 222-236, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aos.2019.12.006>.

PADILLA, E. R. D.; BELINI, G. B.; NAKASHIMA, G. T.; WALDMAN, W. R.; YAMAJI, F. M. Potencial energético da casca de coco (*cocos nucifera* l.) para uso na produção de carvão vegetal por pirólise. **Revista Virtual de Química**, v. 10, n. 2, p. 334-345, 2018.

PERSSON, H.; YANG, W. Catalytic pyrolysis of demineralized lignocellulosic biomass. **Fuel**, v. 252, p. 200-209, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2019.04.087>.

Qin, L.; Wu, Y.; Hou, Z.; Jiang, E. Influence of biomass components, temperature and pressure on the pyrolysis behavior and biochar properties of pine nut shells. **Bioresource Technology**, v. 313, p. 123682, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.123682>.

RAMBO M. K. D.; ALEXANDRE G. P.; RAMBO M. C. D., ALVES A. R.; GARCIA W. T.; BARUQUE E. Characterization of biomasses from the north and northeast regions of Brazil for processes in biorefineries. **Food Science and Technology**, v. 35, n. 4, p. 605-611, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1678-457X.6704>.

RAMBO, M. K. D.; ALMEIDA, K. J. C. R.; RAMBO, M. C. D.; BARUQUE FILHO, E. A. The response surface methodology as a tool to optimize the extraction and acid hydrolysis processes applied to babassu residues. **RBPG**, v.13, n.32, p. 807-825, set./dez. 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.21713/2358-2332.2016.v13.953>.

RAMBO, M. K. D.; FERREIRA, M. M. C.; MELO, P. M.; SANTANA JUNIOR, C. C.; BERTUOL, D. A.; RAMBO, M. C. D. Prediction of quality parameters of food residues using NIR spectroscopy and PLS models based on proximate analysis. **Food Science and Technology**, v. 40, n. 2, p. 444-450, 2020a. DOI: <https://doi.org/10.1590/fst.02119>.

RAMBO, M. K. D.; NEMET, Y.K.S.; SANTANA JUNIOR, C.C.; PEDROZA, M. M.; RAMBO, M. C. D. Comparative study of the products from the pyrolysis of raw and hydrolyzed baru wastes. **Biomass Conversion and Biorefinery**, v. 12, 2020b. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13399-019-00585-0>.

RANGABHASHIYAM, S; BALASUBRAMANIAN; P. The potential of lignocellulosic biomass precursors for biochar production: performance, mechanism and wastewater application - A review. **Industrial Crops and Products**, v. 128, p. 405-423, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.11.041>.

ROMÃO, D. C. F.; SANTANA JUNIOR, C. C.; BRITO, M. R.; QUEIROZ, A. O.; SILVA, G. S.; RAMBO, M. K. D.; Rambo, M. C. D.; Barbosa, L. N.; Optimizing the process of extraction and acid hydrolysis for Amazon and Cerrado biomass. **International Journal of Advanced Engineering Research and Science**, v. 7, n. 9, p. 160-165, 2020. DOI: <https://dx.doi.org/10.22161/ijaers.79.18>.

SANTANA JUNIOR, C. C.; BRITO, M. R.; BARBOSA, L. N.; JACONI, A.; RAMBO, M. K. D.; RAMBO, M. C. D. Environmental-economic assessment of lignocellulosic residual from the Legal Amazon for conversion in biochars and bioproducts for biorefineries. **International Journal of Advanced Engineering Research and Science**, v. 7, n. 8, p. 324-337, 2020. DOI: <https://dx.doi.org/10.22161/ijaers.78.36>.

SANTANA JUNIOR, C. C.; RAMBO, M. C. D.; TEÓFILO, R. F.; CARDOSO, W. J.; BERTUOL, D. A.; RAMBO, M. K. D. Production of levulinic acid from coconut residues (*cocos nucifera*) using different approaches. **Waste and Biomass Valorization**, v. 6, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12649-021-01484-0>.

SANTOS, S. T. O.; VIEIRA JÚNIOR, C. M.; SILVA, A. N.; NASCIMENTO JÚNIOR, A. F.; DRUMMOND, A. R. F.; SILVA, S. P. R. Potencial energético do biocarvão de pirólise a partir da borra de café. **Brazilian Journal of development**, v. 6, n. 7, p. 48662-48670, 2020. DOI: 10.34117/bjdv6n7-492.

SCAPIN, E.; RAMBO, M. K. D.; VIANA, G. C. C.; BORGES, M. S.; RAMBO, M. C. D.; CARNEIRO, C. Production of furanic compounds and organic acids from brazilian pequi (*caryocar brasiliensis* camb.) residues using green chemistry. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, v. 31, n. 7, p. 1383-1391, 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.21577/0103-5053.20200023>.

SEFA - SECRETARIA DE ESTADO DA FAZENDA DO PARÁ. Portaria SEFA N° 611/2015; Altera o Boletim de Preços Mínimos de Mercado, Constante da Portaria No. 354, de 14 de dezembro de 2005, os Produtos Conforme Especifica. Disponível em: <https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=303283>. Acesso em 7 ago. 2021.

SELVARAJOO, A.; OCHIT, D. Effect of pyrolysis temperature on product yields of palm fibre and its biochar characteristics. **Materials Science for Energy Technologies**, v. 3, p. 575-583, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.mset.2020.06.003>.

SETTER, C.; KAREN COSTA, K. L. S.; OLIVEIRA, T. J. P.; MENDES, R. F. The effects of kraft lignin on the physicochemical quality of briquettes produced with sugarcane bagasse and on the characteristics of the bio-oil obtained via slow pyrolysis.

Fuel Processing Technology, v. 210, p. 106561, 2020. DOI:
<https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2020.106561>.

SHABANGU, S.; WOOLF, D.; FISHER, E. M.; ANGENENT, L; T.; LEHMANN, J. Techno-economic assessment of biomass slow pyrolysis into diferente biochar and methanol concepts. **Fuel**, v. 117, p. 742-748, 2014. DOI:
<http://dx.doi.org/10.1016/j.fuel.2013.08.053>.

SIENGCHUM, T.; ISENBERG, M.; CHUANG, S. S. C. Fast pyrolysis of coconut biomass – An FTIR study. **Fuel**, v. 105, p. 559-565, 2013. DOI:
<http://dx.doi.org/10.1016/j.fuel.2012.09.039>.

SIGMA-ALDRICH. Disponível em:

<https://www.sigmaaldrich.com/BR/pt/search/furfural?focus=products&page=1&perpage=30&sort=relevance&term=furfural&type=product>;
<https://www.sigmaaldrich.com/BR/pt/search/phenol?focus=products&page=1&perpage=30&sort=relevance&term=phenol&type=product>;
<https://www.sigmaaldrich.com/BR/pt/search/isoeugenol?focus=products&page=1&perpage=30&sort=relevance&term=isoeugenol&type=product>. Acesso em mar. 2022.

SONI, B; KARMEE, S. K. Towards a continuous pilot scale pyrolysis based biorefinery for production of biooil and biochar from sawdust. **Fuel**, v. 271, p. 117570, 2020. DOI:
<https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.117570>.

TOMCZYK, A.; SOKOŁOWSKA, Z.; BOGUTA, P. Biochar physicochemical properties: pyrolysis temperature and feedstock kind effects. **Reviews in Environmental Science and Bio/Technology**, v. 19, p. 191-215, 2020.

WANG, H.; WANG, X.; CUI, Y.; XUE, Z.; BA, Y. Slow pyrolysis polygeneration of bamboo (*Phyllostachys pubescens*): Product yield prediction and biochar formation mechanism. **Bioresource Technology**, v. 263, p. 444-449, 2018. DOI:
<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.05.040>.

WANG, Y.; WU, L.; WANG, C.; YU, J.; YANG, Z. Investigating the influence of extractives on the oil yield and alkane production obtained from three kinds of biomass via deoxy-liquefaction. **Bioresource Technology**, v. 102, n. 14, p. 7190, 2011. DOI: 10.1016/j.biortech.2011.04.060.

XU, Q.; YU, Z.; ZENG, W. Structural and functional modifications of myofibrillar protein by natural phenolic compounds and their application in pork meatball. **Food Research International**, v. 148, p. 110593, 2021. DOI:
<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2021.110593>.

YU, J.; PATERSON, N.; BLAMEY, J.; MILLAN, M. Cellulose, xylan and lignina interactions during pyrolysis of lignocellulosic biomass. **Fuel**, v. 191, p. 140-149, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.fuel.2016.11.057>.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O uso de biomassas lignocelulósicas para a produção de compostos orgânicos derivados possui caráter extremamente promissor por apresentar grande relevância ambiental, social e econômica, principalmente quando é feito por meio do aproveitamento de resíduos. Os resíduos do coco-verde, babaçu e castanha-do-brasil apresentaram-se como recursos naturais renováveis que devem ser cada vez mais estudados, buscando o aperfeiçoamento das técnicas para se obter maior eficiência nos rendimentos dos bioprodutos, economia de recursos e maior rentabilidade financeira.

A inserção do aproveitamento dos resíduos das três biomassas estudadas tanto dentro de suas cadeias produtivas convencionais como em biorrefinarias é uma excelente oportunidade de agregar valor a essas biomassas, contribuindo com a conservação dos recursos naturais pela minimização de impactos ambientais adversos gerados por sua disposição no ambiente.

Uma forma prática de agregar valor às cascas dessas biomassas é processá-las dentro de um contexto industrial, em que podem ser fabricados produtos como: carvão vegetal, a partir do biochar, com aptidão agrícola e para combustão; placas de MDF para o uso na construção civil; peças de artesanato e artigos de decoração; compostos químicos finos extraídos do bio-óleo para o uso na produção de fármacos e na substituição de produtos derivados do petróleo.

Essa estrutura industrial, em parceria com as associações e cooperativas já existentes no contexto de movimentos sociais, possibilita a geração de emprego e renda para as comunidades extrativistas, que se traduz em melhoria na qualidade de vida das pessoas, proporcionando uma condição digna de sobrevivência. Conseqüentemente, as famílias beneficiadas podem ter mais acesso a condições básicas como à educação e à saúde. Todo esse contexto também gera o despertar da consciência ambiental das pessoas envolvidas, representando um crescimento na relação homem-natureza, o que contribui para a relação histórica e cultural já existente das comunidades com as culturas das biomassas.

Assim, toda essa cadeia produtiva de aproveitamento dos resíduos das biomassas do coco-verde, do babaçu e da castanha-do-brasil, além de todos os benefícios no âmbito da preservação ambiental, conduz à valorização das pessoas e da Amazônia Legal brasileira.