CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIA DE PRODUTOS E PROCESSOS

AVALIAÇÃO DE EXTRATIVOS E PROSPECÇÃO DE SUBSTÂNCIAS DE INTERESSE EM COPRODUTOS DA PRODUÇÃO DE CARVÃO VEGETAL PROVENIENTES DE DIFERENTES BIOMASSAS AMAZÔNICAS

JÉSSICA MARIA GUIMARÃES DE ASSIS

BELO HORIZONTE

2024

JÉSSICA MARIA GUIMARÃES DE ASSIS

AVALIAÇÃO DE EXTRATIVOS E PROSPECÇÃO DE SUBSTÂNCIAS DE INTERESSE EM COPRODUTOS DA PRODUÇÃO DE CARVÃO VEGETAL PROVENIENTES DE DIFERENTES BIOMASSAS AMAZÔNICAS

Dissertação de Mestrado apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Tecnologia de Produtos e Processos do CEFET-MG, na linha de Pesquisa em Sustentabilidade de Processos e Controle Ambiental, como parte integrante dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Tecnologia de Produtos e Processos.

Orientadora: Prof[a]. Dra. Patrícia Sueli de Rezende
Coorientadora: Prof[a]. Dra. Adriana Akemi Okuma
Coorientadora: Prof[a]. Dra. Luzia Sergina de França Neta

Agência Financiadora: Programa Institucional de Bolsas de Mestrado e Doutorado do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET-MG)

Belo Horizonte
2024

Folha destinada à ficha catalográfica. Na versão digital ela fica em uma folha separada após a folha de rosto. Na versão impressa, ela deve ser impressa no VERSO da FOLHA DE ROSTO. A ficha será entregue aos alunos em formato PDF.

JÉSSICA MARIA GUIMARÃES DE ASSIS

AVALIAÇÃO DE EXTRATIVOS E PROSPECÇÃO DE SUBSTÂNCIAS DE INTERESSE EM COPRODUTOS DA PRODUÇÃO DE CARVÃO VEGETAL PROVENIENTES DE DIFERENTES BIOMASSAS AMAZÔNICAS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Tecnologia de Produtos e Processos, do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Tecnologia de Produtos e Processos.

Belo Horizonte, 04 de abril de 2024.

Aprovado pela Banca Examinadora:

_____

Dra. Patrícia Sueli de Rezende (Orientadora)

_____

Prof^{a}. Dra. Adriana Akemi Okuma (Coorientadora)

_____

Prof^{a}. Dra. Luzia Sergina de França Neta (Coorientadora)

_____

Dra. Ana Clara Caxito

_____

Prof. Dr. Gilberto Alves Romeiro

_____

Prof^{a}. Dra. Priscila Pereira Silva Caldeira

AGRADECIMENTOS

Primeiramente gostaria de agradecer a Deus, por me permitir seguir o caminho acadêmico e me prover a força e a resiliência necessária para concluir meu projeto de pesquisa e enfrentar sabiamente todas as adversidades que surgiram no processo. Ressalto os agradecimentos a mim, por não ter desistido, pelo empenho e dedicação para concluir essa pesquisa.

Para a minha amada família, Ronald José, Gildete, Joubert e Thabata que sempre me apoiaram e incentivaram a estudar e buscar o título de mestra, por torcerem pelas minhas conquistas e por serem um porto seguro onde pude ser amada e incentivada a ser a minha melhor versão.

Ao meu querido companheiro Breno, por estar ao meu lado nas noites mais difíceis, por ter tido paciência, carinho e cuidado nos dias corridos de laboratório e estar sempre comigo diariamente nessa jornada.

Aos meus colegas de mestrado, Brenda, Laíza, Társsia, Sávio e Marcos por tornarem essa jornada mais saudável, com muito companheirismo e empatia, graças a vocês esses dois anos foram mais leves e divertidos.

A minha orientadora Patrícia Rezende, por ter me apresentado as pesquisas no âmbito da siderurgia sustentável e por ter aberto as portas para minha relação com a Biocarbo.

A minha coorientadora Adriana Akemi, por ter se disposto em me auxiliar durante a etapa experimental do meu projeto, por ter me ajudado no aprendizado das técnicas analíticas instrumentais e estado ao meu lado até a obtenção dos resultados desta pesquisa.

A minha coorientadora Luzia Sergina pelo incentivo e boas dicas.

A Maria Emília Rezende da empresa Biocarbo e BIO & IND, por ter me ensinado e estimulado durante a minha pesquisa, pelo suporte emocional e financeiro para a realização do projeto, por ser uma inspiração de vida e por me proporcionar uma parceria tão enriquecedora.

Ao professor Thiago de Paula Protásio, por ter sido uma porta para o acesso ao bioma amazônico e aos exemplares de madeira utilizados neste estudo, por ser minha grande referência na área florestal e dispor de ensinamentos que me auxiliaram e guiaram nesta jornada acadêmica.

A empresa Grupo Keilla, por ter disponibilizado o material utilizado neste estudo e por ter me recebido em suas instalações durante a coleta das amostras de madeiras amazônicas.

Ao programa de Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia da Madeira da Universidade Federal de Lavras, em especial ao professor Paulo Fernando Trugilho por ter disponibilizado os laboratórios para realização de análises pertinentes ao meu estudo.

Ao programa de Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Biomateriais da Universidade Federal de Lavras em especial ao professor Paulo Gustavo Tonoli por ter disponibilizado os laboratórios para realização de análises pertinentes ao meu estudo, e a discente Ianca Oliveira Borges que esteve ao meu lado me auxiliando e ensinando com maestria as caracterizações florestais.

Ao setor de Engenharia de Transportes do CEFET-MG, em especial ao professor Augusto Bezerra e ao técnico Gustavo Filemon, por serem tão solícitos e receptivos ao me disponibilizar a utilização de equipamentos.

Ao Departamento de Química do CEFET-MG, por disponibilizar os laboratórios para as análises instrumentais, aos técnicos de laboratório por me auxiliar diariamente, em especial ao técnico Danilo por estar comigo diariamente e sempre ser tão solícito.

Agradeço ao CEFET-MG pela disponibilização da bolsa de estudos e aos professores por serem fundamentais no meu crescimento pessoal, profissional e acadêmico.

Aos membros da banca de defesa de dissertação, Dra Ana Clara, Prof. Dra. Priscila Caldeira e Prof. Dr. Gilberto agradeço por aceitarem o convite e pelas contribuições a esse trabalho. A professora Dra. Raquel Mambrini, meu agradecimento pela contribuição como banca de qualificação.

RESUMO

Este trabalho dedicou-se à investigação de compostos presentes nos extrativos de biomassas nativas amazônicas selecionadas (provenientes de resíduos de manejo florestal sustentável certificado) e nos coprodutos do processo produtivo de carvão vegetal a partir dessas madeiras. As amostras foram coletadas na área de manejo florestal Rio Capim (FMA Rio Capim), no município de Paragominas, Pará. A confirmação das espécies de madeira foi feita na Xiloteca do laboratório de botânica da Embrapa Amazônia Ocidental em Belém (PA). Inicialmente, foram realizados os ensaios de caracterização de madeira visando avaliar a aplicação para produção de carvão vegetal. Subsequentemente, foram realizados procedimentos de extração a partir da biomassa moída empregando acetona, hexano, tolueno e etanol (2:1), além de ensaio de carbonização em escala reduzida, com o intuito de identificar substâncias de interesse comercial que possam ser recuperados e isolados. Os resultados obtidos para as biomassas residuais amazônicas estudadas, apresentaram teores de lignina, holocelulose, materiais voláteis, teor de cinzas, teor de carbono fixo e poder calorífico superior condizentes com a revisão da literatura para destinação como insumo na produção de carvão vegetal. Os espectros obtidos por Espectroscopia na região do infravermelho com Refletância Total Atenuada e Transformada de Fourier (ATR-FTIR) para as biomassas residuais apresentaram grupos funcionais característicos da celulose e hemicelulose, enquanto que o espectro FTIR-ATR do carvão vegetal evidenciou os grupos aromáticos, conforme previsto em decorrência das reações de decomposição da matéria-prima e formação de material carbonáceo. Nas análises termogravimétricas (TGA), as biomassas apresentaram maior perda de massa (79%) em torno de 350 ºC. Em contraste, o carvão vegetal teve como principal evento térmico a perda de massa (60%) em torno de 450 ºC, coerente com as modificações estruturais após a carbonização. O conhecimento da composição dos compostos presentes nos extrativos da biomassa apresenta oportunidades de aplicações em distintas áreas de atuação, valorizando o potencial dos resíduos lignocelulósicos provenientes do manejo florestal sustentável. Foi possível identificar substâncias com aplicações variadas, em especial aplicações farmacêuticas. Dentre os compostos encontrados com aplicações descritas em literatura, podem ser citados: o ácido hexadecanóico atuando na redução do processo de desenvolvimento do carcinoma hepatocelular; o álcool beenico que apresenta expressiva atividade antibacteriana, especialmente contra cepas associadas à pneumonia, como *Klebsiella* e *Staphylococcus aureus*; e, o 1-etil-3-metil-benzeno, o qual apresenta propriedades antifúngicas e notáveis características antibacterianas. O guaiacol, um dos compostos de maior concentração nos extratos estudados, que é amplamente utilizado na medicina para a síntese do benzoato de guaiacol apresentando aplicações como anestésico local ou antisséptico, e no preparo de soluções orais para expectoração e tratamento de indigestão. Com este estudo, reforça-se a importância da recuperação dos vapores condensáveis presentes nos efluentes atmosféricos proveniente da produção de carvão, possibilitando a obtenção dos coprodutos alcatrão vegetal e extrato pirolenhoso, além da potencialidade de obter e extrair compostos de interesse com usos mais nobres. Conhecer o potencial dessa prática e a composição dos coprodutos é essencial para estimular e promover a adoção generalizada de economia circular, a qual poderá desempenhar um papel vital na redução significativa das emissões atmosféricas. A reintegração dos coprodutos na cadeia comercial não só representa um avanço na gestão de efluentes atmosféricos, mas também apresenta potencial bioeconômico. Esse potencial é particularmente significativo para a região amazônica, onde pode contribuir significativamente para os objetivos de desenvolvimento sustentável delineados nos itens 3, 8, 9, 10, 11, 12 e 13.

Palavras-chave: Siderurgia sustentável. Manejo florestal. Carbonização. Derivados lignocelulósicos. Carboquímica vegetal.

ABSTRACT

EVALUATION OF EXTRACTIVES AND PROSPECTION OF SUBSTANCES OF INTEREST IN COPRODUCTS FROM CHARCOAL PRODUCTION FROM DIFFERENT AMAZON BIOMASSES

This study investigated the compounds present in the extracts of selected Amazonian native biomass (derived from certified sustainable forest management residues) and in the by-products of the charcoal production process from these woods. The samples were collected in the Rio Capim forest management area (FMA Rio Capim), in the municipality of Paragominas, Pará. The wood species were confirmed at the Xylotheque of the botany laboratory of Embrapa Amazônia Ocidental in Belém (PA). Initially, wood characterization tests were performed to evaluate its application for charcoal production. Subsequently, extraction procedures were performed from the ground biomass using acetone, hexane, toluene and ethanol (2:1), in addition to a small-scale carbonization test, in order to identify substances of commercial interest that can be recovered and isolated. The results obtained for the studied Amazonian residual biomasses showed lignin, holocellulose, volatile materials, ash content, fixed carbon content and higher calorific value levels consistent with the literature review for use as input in charcoal production. The spectra obtained by Attenuated Total Reflectance and Fourier Transform Infrared Spectroscopy (ATR-FTIR) for the residual biomasses showed functional groups characteristic of cellulose and hemicellulose, while the FTIR-ATR spectrum of charcoal showed aromatic groups, as expected due to the decomposition reactions of the raw material and formation of carbonaceous material. In the thermogravimetric analysis (TGA), the biomasses showed greater mass loss (79%) around 350 °C. In contrast, charcoal had as its main thermal event the mass loss (60%) around 450 °C, consistent with the structural modifications after carbonization. Knowledge of the composition of compounds present in biomass extracts presents opportunities for applications in different areas of activity, enhancing the potential of lignocellulosic residues from sustainable forest management. It was possible to identify substances with varied applications, with emphasis on pharmaceutical applications. Among the compounds found with applications described in the literature, the following can be mentioned: hexadecanoic acid, which acts in the reduction of the development process of hepatocellular carcinoma; behenyl alcohol, which has significant antibacterial activity, especially against strains associated with pneumonia, such as *Klebsiella* and *Staphylococcus aureus*; and 1-ethyl-3-methylbenzene, which has antifungal properties and notable antibacterial characteristics. It is also worth mentioning guaiacol, one of the compounds with the highest concentration in the extracts studied, which is widely used in medicine for the synthesis of guaiacol benzoate, and has applications as a local anesthetic or antiseptic, and in the preparation of oral solutions for expectoration and treatment of indigestion. This study reinforces the importance of recovering condensable vapors present in atmospheric effluents from coal production, enabling the production of by-products such as vegetable tar and pyroligneous extract, in addition to the potential to obtain and extract compounds of interest present in them that may have more noble uses. Understanding the potential of this practice and the composition of the by-products is essential to stimulate and promote the widespread adoption of a circular economy, which could play a vital role in significantly reducing atmospheric emissions, resulting in an immediate and tangible improvement in regional air quality. The reintegration of by-products into the commercial chain not only represents an advance in the management of atmospheric effluents, but also presents considerable bioeconomic potential. This potential is particularly significant for the Amazon region, where it can contribute significantly to the sustainable development goals outlined in items 3, 8, 9, 10, 11, 12 and 13.

Keywords: Sustainable steelmaking. Forest management. Carbonization. Lignocellulosic derivatives. Plant carbochemistry.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1: REPARTIÇÃO DA OFERTA INTERNA DE ENERGIA BRASILEIRA 3
FIGURA 2: PARTICIPAÇÃO DE FONTES RENOVÁVEIS NA OFERTA INTERNA DE ENERGIA 4
FIGURA 3: CONSUMO DE CARVÃO PELA INDÚSTRIA SIDERÚRGICA NO BRASIL 2015-2022 (EM MILHÕES DE TONELADAS 4
FIGURA 4: ALGUNS TIPOS DE FORNOS DE CARBONIZAÇÃO 11
FIGURA 5: ODS LIGADOS A ESTE PROJETO DE PESQUISA 12
FIGURA 6: ILUSTRAÇÃO DE CICLO DE CORTE MANEJO FLORESTAL SUSTENTÁVEL 13
FIGURA 7: REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DA PAREDE CELULAR DA BIOMASSA 15
FIGURA 8: REPRESENTAÇÃO DA ESTRUTURA DA CELULOSE 15
FIGURA 9: ESTRUTURAS QUÍMICAS DAS CADEIAS DE CELULOSE 16
FIGURA 10: ESTRUTURA QUÍMICA DOS COMPOSTOS DE HEMICELULOSE 16
FIGURA 11: ESTRUTURA QUÍMICA DA LIGNINA E PRINCIPAIS MONÔMEROS FENÓLICOS 17
FIGURA 12: LOCALIZAÇÃO DA FMA RIO CAPIM 20
FIGURA 13: CAMPO PARAGOMINAS, PARÁ 2023 21
FIGURA 14: FRACIONAMENTO DAS AMOSTRAS PARA PROCEDER AS ANÁLISES 22
FIGURA 15: METODOLOGIA DE PREPARO DAS AMOSTRAS PARA ANÁLISES QUÍMICAS 22
FIGURA 16: METODOLOGIA DE EXTRAÇÃO ASSISTIDA POR ULTRASSOM 24
FIGURA 17: METODOLOGIA PARA OBTENÇÃO DO TEOR LIGNINA 25
FIGURA 18: METODOLOGIA PARA OBTENÇÃO DO TEOR HOLOCELULOSE 26
FIGURA 19: METODOLOGIA DE ANÁLISE DE COMPOSIÇÃO IMEDIATA 27
FIGURA 20: METODOLOGIA PCS 28
FIGURA 21: MONTAGEM EXPERIMENTAL PARA O ENSAIO DE CARBONIZAÇÃO 29
FIGURA 22: METODOLOGIA DE CARBONIZAÇÃO E FILTRAGEM DO CARVÃO E LICOR PIROLENHOSO 29
FIGURA 23: FLUXOGRAMA DE CARACTERIZAÇÃO COPRODUTOS DA CARBONIZAÇÃO 31
FIGURA 24: CURVAS DE TGA DAS ESPÉCIES AMAZÔNICAS ESTUDADAS, EM ATMOSFERA DE OXIGÊNIO 39
FIGURA 25: CURVAS DE DERIVADA PRIMEIRA (DTG) DAS ESPÉCIES AMAZÔNICAS ESTUDADAS EM BLENDA DE ATMOSFERA DE NITROGÊNIO E OXIGÊNIO 40
FIGURA 26: CURVAS DE TGA DOS CARVÕES DAS ESPÉCIES AMAZÔNICAS ESTUDADAS EM BLENDA DE ATMOSFERA DE NITROGÊNIO E OXIGÊNIO 41
FIGURA 27: CURVAS DE DERIVADA PRIMEIRA (DTG) DOS CARVÕES DAS ESPÉCIES AMAZÔNICAS ESTUDADAS EM BLENDA DE ATMOSFERA DE NITROGÊNIO E OXIGÊNIO 42
FIGURA 28: ESPECTROS NA REGIÃO DO INFRAVERMELHO COM REFLETÂNCIA TOTAL ATENUADA E TRANSFORMADA DE FOURIER (ATR-FTIR) DAS MADEIRAS NATIVAS AMAZÔNICAS ESTUDADAS 43
FIGURA 29: ESPECTROS NA REGIÃO DO INFRAVERMELHO COM REFLETÂNCIA TOTAL ATENUADA E TRANSFORMADA DE FOURIER (ATR-FTIR) DOS CARVÕES DAS MADEIRAS NATIVAS AMAZÔNICAS 44
FIGURA 30: ESPECTROS NA REGIÃO DO INFRAVERMELHO COM REFLETÂNCIA TOTAL ATENUADA E TRANSFORMADA DE FOURIER (ATR-FTIR) MADEIRAS NATIVAS AMAZÔNICAS EM COMPARAÇÃO AO CARVÃO VEGETAL 45
FIGURA 31: MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA DOS CARVÕES DAS BIOMASSAS RESIDUAIS AMAZÔNICA. 46

FIGURA 32: MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA DOS CARVÕES DAS BIOMASSAS RESIDUAIS AMAZÔNICAS 47
FIGURA 33: CROMATOGRAMAS DOS EXTRATOS OBTIDOS EM ACETONA 49
FIGURA 34: CROMATOGRAMAS DOS EXTRATOS PROVENIENTES DAS BIOMASSAS AMAZÔNICAS ESTUDADAS OBTIDOS EM EXTRAÇÃO COM ETANOL 50
FIGURA 35: CROMATOGRAMAS DOS EXTRATOS PROVENIENTES DAS BIOMASSAS AMAZÔNICAS ESTUDADAS OBTIDOS EM EXTRAÇÃO COM TOLUENO E ETANOL (2:1) 51
FIGURA 36: CROMATOGRAMAS DOS EXTRATOS PROVENIENTES DAS BIOMASSAS AMAZÔNICAS ESTUDADAS OBTIDOS EM EXTRAÇÃO COM HEXANO 52
FIGURA 37: CROMATOGRAMAS DOS EXTRATOS OBTIDOS POR REFLUXO E ULTRASSOM UTILIZANDO OS SOLVENTES DE ACETONA E ETANOL 63
FIGURA 38: CROMATOGRAMAS DOS EXTRATOS OBTIDOS POR REFLUXO E ULTRASSOM UTILIZANDO OS SOLVENTES DE TOLUENO E ETANOL (2:1) E ACETATO DE ETILA 64
FIGURA 39: CROMATOGRAMAS DO LICOR PIROLENHOSO DAS BIOMASSAS RESIDUAIS AMAZÔNICAS 66

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1: ETAPAS DO PROCESSO DE PIRÓLISE DA MADEIRA, EM FAIXAS DE TEMPERATURA 7
QUADRO 2: LISTA DAS PRINCIPAIS SUBSTÂNCIAS IDENTIFICADAS POR ESPECTROMETRIA DE MASSAS NOS CROMATOGRAMAS DAS ESPÉCIES ESTUDADAS DE ACORDO COM O SOLVENTE DE EXTRAÇÃO 53
QUADRO 3: SUBSTÂNCIAS IDENTIFICADAS POR ESPECTROMETRIA DE MASSAS NOS CROMATOGRAMAS DOS EXTRATOS OBTIDOS EM ACETONA, ETANOL, TOLUENO E ETANOL E HEXANO PARA AS ESPÉCIES RESIDUAIS AMAZÔNICAS 54
QUADRO 4: ESTRUTURA QUÍMICA DOS COMPOSTOS ENCONTRADOS NOS EXTRATIVOS DAS BIOMASSAS RESIDUAIS AMAZÔNICAS 55
QUADRO 5: COMPOSIÇÃO QUÍMICA DOS LICORES PIROLENHOSOS DAS BIOMASSAS RESIDUAIS AMAZÔNICAS ANALISADAS POR CROMATOGRAFIA GASOSA ACOPLADA À ESPECTROMETRIA DE MASSAS 67
QUADRO 6: LISTA DE COMPOSTOS IDENTIFICADOS NO LICOR PIROLENHOSO DAS BIOMASSAS RESIDUAIS AMAZÔNICAS 68
QUADRO 7: FORMULA QUÍMICA DOS COMPOSTOS IDENTIFICADOS NO LICOR PIROLENHOSO DAS BIOMASSAS RESIDUAIS AMAZÔNICAS 69

LISTA DE TABELAS

TABELA 1: ESPÉCIES PRÉ-SELECIONADAS PARA A CARBONIZAÇÃO 21
TABELA 2: TEORES DE EXTRATIVOS OBTIDOS DAS BIOMASSAS RESIDUAIS AMAZÔNICAS ESTUDADAS EM DIFERENTES SOLVENTES DE EXTRAÇÃO 32
TABELA 3: TEORES DE LIGNINA E HOLOCELULOSE PARA AS BIOMASSAS RESIDUAIS AMAZÔNICAS ESTUDADAS 34
TABELA 4: COMPOSIÇÃO QUÍMICA IMEDIATA DAS ESPÉCIES AMAZÔNICAS ESTUDADAS 35
TABELA 5: PODER CALORÍFICO SUPERIOR DAS ESPÉCIES AMAZÔNICAS ESTUDADAS 38
TABELA 6: RENDIMENTOS DAS EXTRAÇÕES REALIZADAS COM REFLUXO E ULTRASSOM 62
TABELA 7: COMPOSTOS IDENTIFICADOS POR CROMATOGRAFIA GASOSA ACOPLADA À ESPECTROMETRIA DE MASSAS NOS EXTRATIVOS OBTIDOS POR REFLUXO E ULTRASSOM 65

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CGEE	Centro de Gestão e Estudos Estratégicos
CG-MS	Cromatografia a Gás acoplada a Espectrometria de Massas
CQI	Composição Química Imediata
DTG	Derivada Primeira Termogravimétrica
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
ESG	*Environmental, Social and corporate Governance*
FT-IR	Espectroscopia no Infravermelho por Transformada de Fourier
GEE	Gases de Efeito Estufa
IBA	Instituto Brasileiro de Árvores
MEV	Microscopia Eletrônica de Varredura
PCS	Poder Calorífico Superior
PMFS	Plano de Manejo Florestal Sustentável
POA	Plano Operacional Anual
TG	Termogravimetria
UPA	Unidades de Produção Anual
UPC	Unidade produtora de carvão
UT	Unidades de Trabalho

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO 1

2. REVISÃO DA LITERATURA 3

2.1. MATRIZ ENERGÉTICA E ELÉTRICA BRASILEIRA 3

2.2. BIOMASSA NA MATRIZ ENERGÉTICA BRASILEIRA 5

2.3. CARBONIZAÇÃO OU PIRÓLISE LENTA 6

2.4. COPRODUTOS DA CARBONIZAÇÃO 8

2.5. SIDERURGIA SUSTENTÁVEL 9

2.6. MANEJO FLORESTAL SUSTENTÁVEL 13

2.7. ESTRUTURA DA BIOMASSA LENHOSA FOLHOSA/CONÍFERAS 15

2.7.1. *Celulose* 15

2.7.2. *Hemicelulose* 16

2.7.3. *Lignina* 17

2.7.4. *Extrativos* 17

3. OBJETIVOS GERAIS E ESPECÍFICOS 19

4. MATERIAIS E MÉTODOS 19

4.1. AMOSTRAGEM 19

4.2. PREPARO DAS AMOSTRAS 22

4.2.1. *Extrativos parciais em acetona e hexano* 23

4.2.2. *Extrativos totais* 23

4.2.3. *Metodologia experimental de extrativos em ultrassom* 24

4.3. LIGNINA SOLÚVEL 24

4.4. HOLOCELULOSE 25

4.5. COMPOSIÇÃO QUÍMICA IMEDIATA 26

4.5.1. *Teor de materiais voláteis (%, base seca)* 26

4.5.2. *Teor de cinzas (%, base seca)* 27

4.5.3. *Teor de carbono fixo (%, base seca)* 27

4.6. PODER CALORÍFICO SUPERIOR (PCS) 28

4.7. CARBONIZAÇÃO 28

4.8. ANÁLISES TERMOGRAVIMÉTRICAS 29

4.8.1. *Biomassas* 29

4.8.2. *Carvões* 30

4.9. ESPECTROSCOPIA NO INFRAVERMELHO POR TRANSFORMADA DE FOURIER 30

4.10. CROMATOGRAFIA GASOSA ACOPLADA À ESPECTROMETRIA DE MASSAS 30

4.10.1. *Extrativos da biomassa* 30

4.10.2. *Licor pirolenhoso da biomassa* 30

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES 32

5.1. TEORES DE EXTRATIVOS 32

5.2. LIGNINA E HOLOCELULOSE 34

5.3. COMPOSIÇÃO QUÍMICA IMEDIATA 35

5.4. PODER CALORÍFICO SUPERIOR 38

5.5. TERMOGRAVIMETRIA 39

5.5.1. Biomassas *39*

5.5.2. Carvões vegetais *41*

5.6. ESPECTROSCOPIA DE INFRAVERMELHO 42

5.6.1. Biomassa .....

5.6.2. Carvão *44*

5.6.3. Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) dos Carvões Vegetais *45*

5.7. CROMATOGRAFIA GASOSA ACOPLADA A A ESPECTROMETRIA DE MASSAS 48

5.7.1. Extrativos *48*

5.7.2. Caracterização dos extrativos obtidos por extração promovida por refluxo e ultrassom da espécie Manilkara spp. *62*

5.7.3. *Caracterização do licor pirolenhoso* 65

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS 75

7. REFERÊNCIAS 76

1. INTRODUÇÃO

O Brasil possui condições ideais e oportunas para o desenvolvimento e a produção florestal. Dentre os aspectos que viabilizam esse setor produtivo, destacam-se as diversas circunstâncias adequadas tais como os fatores físicos e químicos que propiciam o cenário de maior produtividade como clima, relevo, disponibilidade de água, pluviometria, solo e radiação solar. A matéria-prima lenhosa em quesito de volume é principalmente destinada à produção de carvão vegetal, a qual é, em sua maioria, consumida pela atividade siderúrgica devido à alta demanda na cadeia produtiva do aço e ferro-gusa (IBÁ, 2016; SILVA *el at.*, 2019).

As biomassas lenhosas constituem a principal fonte de matéria-prima destinada à fabricação de carvão vegetal, diferenciando-se em madeira nativa e madeira proveniente de plantios. A principal espécie utilizada na silvicultura destinadas a florestas energéticas é o *eucaliptus ssp*., uma espécie exótica de rápido crescimento (CAVALCANTI *el at.*, 2019). No Brasil, os plantios comerciais de *eucaliptus ssp*. totalizaram 7,53 milhões de hectares em 2021, representando 75,8% da área de florestas plantadas do país (IBÁ, 2022)

Segundo Protásio *el at.* (2021), essas florestas desempenham um papel importante como a principal fonte de biomassa necessária para o setor de energia. No entanto, o país também possui grandes áreas de florestas nativas espalhadas em diferentes biomas, que podem apresentar grande potencial energético apesar dos desafios de seu manejo na adaptação às diferentes condições climáticas (ALMEIDA *el at.*, 2021). O manejo florestal representa uma modalidade de exploração madeireira legalizada que emprega ações de planejamento com o propósito de garantir a preservação da floresta para futuros ciclos de colheita (SABOGAL *el at*., 2006).

Dentro dos planos de manejo florestal implementados na Amazônia Brasileira, uma quantidade significativa de resíduos florestais é produzida, sendo os resíduos de madeira particularmente notáveis durante a fase de exploração. Estima-se que, em conformidade com o sistema de Exploração de Impacto Reduzido, aproximadamente 2,13 toneladas de resíduos (que incluem sapopemas, fragmentos de troncos e galhos) sejam gerados para cada tonelada de madeira extraída (NUMAZAWA *el at*., 2017). Os resíduos de biomassa originária do manejo florestal quando estocada irresponsavelmente em pátio de extração de madeira podem acarretar em liberação de lixiviados, metano, dióxido de carbono e outros poluentes (NUMAZAWA et al., 2017; SUZUKI et al., 2016). Destaca-se que o

emprego dessa biomassa residual com fins de geração de energia renovável na região amazônica encontra previsão no Artigo 2º, Inciso XIV, da Instrução Normativa número 5, datada de 11 de dezembro de 2006 (BRASIL, 2006).

Outrossim, a Empresa de Pesquisa Energética (EPE), empresa pública vinculada ao Ministério de Minas e Energia, tem buscado nos últimos anos maior visibilidade ao potencial de aproveitamento energético de resíduos, seus benefícios e as principais barreiras que restringem seu desenvolvimento no país (EPE, 2018). Para contornar esse problema, é necessário investir no aprimoramento das pesquisas científicas relacionadas às espécies nativas lenhosas e seu potencial de cultivo e uso como fonte renovável de energia. Essa abordagem visa enfrentar os desafios e usar de forma sustentável os recursos florestais do Brasil (Dos Santos Silva *el at.*, 2019).

Segundo estudos realizados por Lima *el at*. (2020), os resíduos lenhosos provenientes da prática de manejo florestal sustentável no estado do Pará se apresentam como propícios para a geração de energia. Os autores relatam que os resíduos se caracterizam como matéria-prima nativa com viés promissor na produção de carvão vegetal.

O processo de carbonização da biomassa revela-se como metodologia de conversão energética de biomassas lenhosas. Durante o processo acontecem alterações físicas e químicas, de forma a configurar a quebra da organização molecular vegetal inicial da biomassa em virtude do calor. A principal adversidade do processo está relacionada ao reaproveitamento dos subprodutos e redução das emissões dos efluentes gasosos, de forma a equilibrar as demandas econômicas, ambientais e sociais e favorecer a cadeia produtiva configurando a sustentabilidade de processos e a siderurgia sustentável (SILVA *el at.*, 2019).

Contudo, existem lacunas que contemplam o entendimento dos subprodutos gerados no processo devido a carência de estudos que abordem a temática do licor pirolenhoso em espécies nativas amazônicas utilizadas no processo de carbonização. Fundamentar a pesquisa aplicada do processo de carbonização de resíduos florestais, se faz importante para contribuir para o fortalecimento das cadeias produtivas com potencial bioeconômico. Portanto, a carbonização de biomassa residual amazônica proveniente de área de manejo florestal sustentável pode se apresentar como uma alternativa relevante para a bioeconomia local, além de contribuir positivamente na mitigação de danos ambientais, em especial, na redução de emissões de gases de efeito estufa.

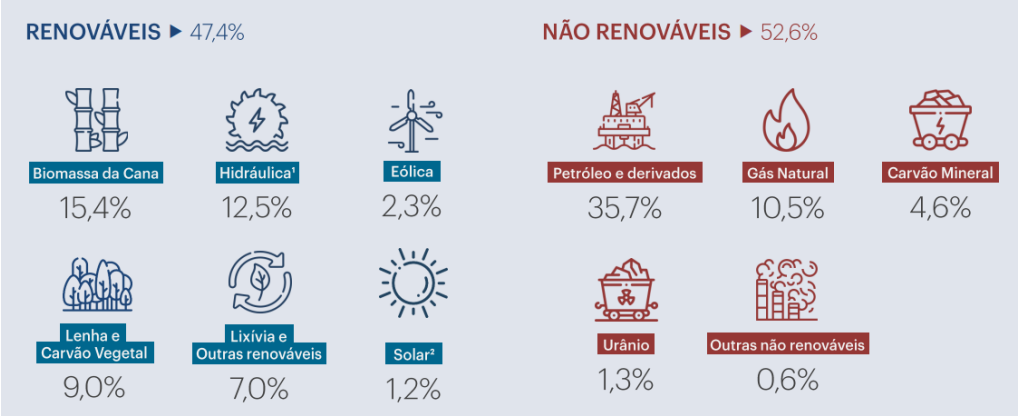
Com este trabalho, pretende-se contribuir para aumentar o conhecimento quanto à composição dos coprodutos provenientes do processo produtivo do carvão vegetal a partir de biomassas amazônicas, de forma a evidenciar substâncias com potencial comercial e colaborar com a solução da problemática de destinação destes resíduos.

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1. MATRIZ ENERGÉTICA e ELÉTRICA BRASILEIRA

De acordo com o Relatório Síntese do Balanço Energético Nacional (2023), elaborado pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE), as fontes renováveis que constituem a oferta interna de energia são representadas predominantemente por derivados de biomassa da cana, seguido por fonte hidráulica, lenha e carvão vegetal. Destaca-se ainda que o país possui elevado índice de matriz renovável, representando 47,4% do total (Fig. 1).

Figura 1: Repartição da oferta interna de energia brasileira



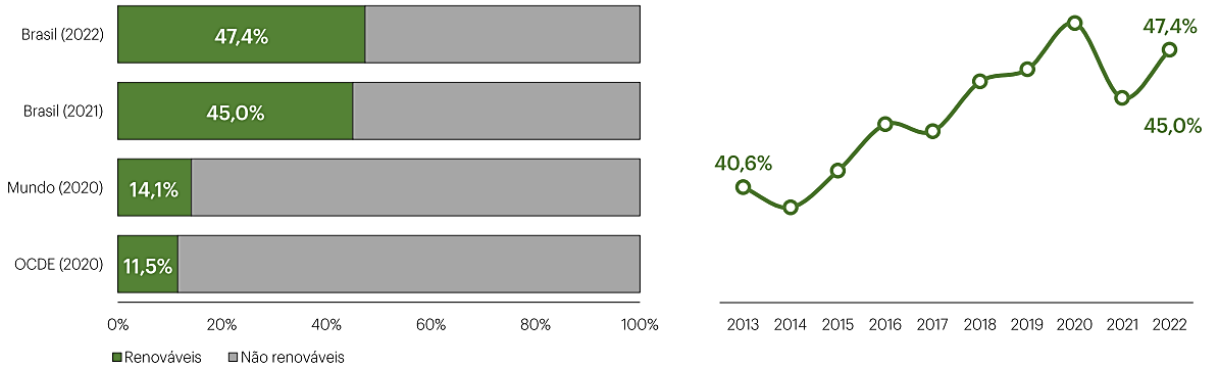
Fonte: Balanço Energético Nacional (2023)

Segundo Ferreira *et al.* (2018), a crescente demanda do uso de fontes alternativas de energia renovável é necessária para a efetivação da diversificação da matriz elétrica e energética brasileira e assim contribuir para a melhoria do cenário ambiental e redução das fontes tradicionalmente utilizadas. Complementarmente, Lima *et al.* (2020a,b) destaca a vulnerabilidade apresentada pelo uso representativo de petróleo e derivados, que aumentam o valor dos produtos e serviços devido à internacionalização e variações do mercado que acompanha os preços internacionais.

Bersalli *et al*. (2020), ressaltam as iniciativas globais, a exemplo do Acordo de Paris, que desempenha um papel crucial ao incentivar os países a adotarem estratégias de descarbonização, promovendo o uso de energias renováveis como uma alternativa às práticas empregadas e combate às mudanças climáticas. De acordo com Relatório Síntese do Balanço Energético Nacional (2023), houve um aumento na porcentagem de oferta de participação de

energias renováveis no ano de 2022 quando comparado ao ano 2021, esta renovabilidade é obtida por meio da oferta interna de energia (Fig.2), justificada pelos regimes pluviométricos favoráveis em território nacional.

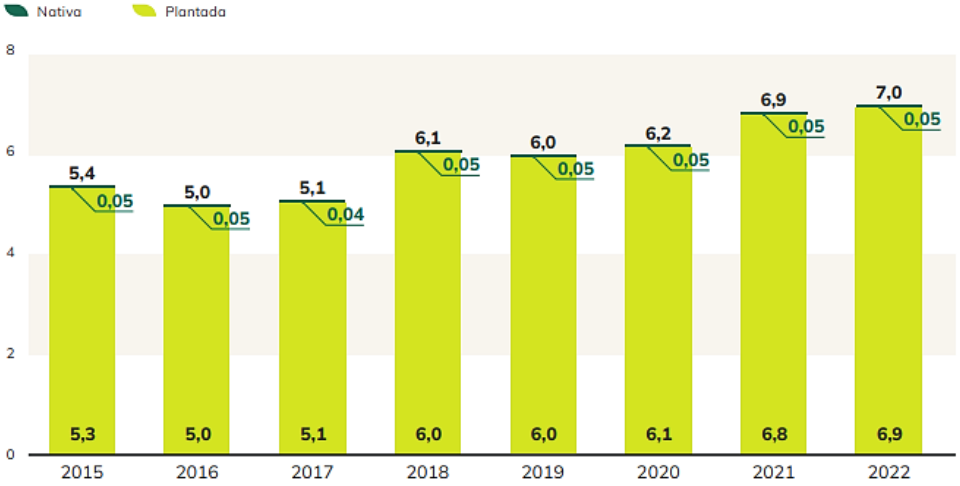
Figura 2: Participação de fontes renováveis na oferta interna de energia



Fonte: Balanço Energético Nacional (2023)

Vale ressaltar a relevância da siderurgia e o uso do carvão vegetal para renovabilidade. Em 2022, o Brasil consolidou sua posição como líder global na produção de carvão vegetal, alcançando a marca de 7,0 milhões de toneladas (Fig. 3), com a produção destinada ao mercado interno, dentre esse volume, 6,9 milhões de toneladas de carvão vegetal foram derivados da madeira de florestas plantadas (IBA, 2023). Segundo dados do SINDIFER (2022), o setor de Siderurgia e Aço contribuiu consideravelmente para esse cenário, produzindo 7,8 milhões de toneladas de ferro-gusa a partir do carvão vegetal nesse período. Esse volume representa 24,1% da produção total de ferro-gusa do setor siderúrgico, que atingiu 32,4 milhões de toneladas no mesmo ano.

Figura 3: Consumo de carvão pela indústria siderúrgica no Brasil 2015-2022 (em milhões de toneladas)



Fonte: IBA (2022) e SINDIFER (2022)

Conforme destacado por Pinto *et al*. (2018), nas instalações industriais que fazem uso de carvão vegetal, as emissões de CO_2 geradas durante as atividades industriais são contrabalançadas pelo processo de fotossíntese nas florestas cultivadas, resultando na diminuição das emissões totais no contexto siderúrgico. Rodrigues *et al*., (2019), ressalta que a utilização do carvão vegetal em procedimentos metalúrgicos culmina em um saldo negativo de CO_2. Isso se deve ao fato de que as árvores empregadas nos métodos de carbonização, ao longo de seu desenvolvimento, absorvem mais carbono do que o liberado durante a produção de ferro.

2.2. BIOMASSA NA MATRIZ ENERGÉTICA BRASILEIRA

A utilização de biomassa com viés de tecnologia renovável apresenta potencial promissor na diversificação da matriz energética, atuando como fonte que apresenta vantagens do prisma ambiental e socioeconômico. À vista disso, é considerada como biomassa toda matéria-prima proveniente de recurso renovável, oriunda de matéria orgânica de origem de fauna ou flora. A biomassa pode ser aplicada para a geração de diversificadas fontes de energia, como poder calorífico, elétrico, biocombustíveis em aspecto líquido e gasoso (BILGEN *et al.*, 2015; FERREIRA *et al.*, 2018;).

Na idealização de uma matriz renovável, as fontes de energias devem representar papéis significativos até o ano de 2040, em que a biomassa poderá atuar como um importante contribuinte por meio de combustíveis e fontes térmicas nos ramos comerciais, industriais e domésticos, e nas esferas públicas e privadas como fonte de calor (IEA, 2018). A Indústria Brasileira de Árvores (2023), salienta que a sustentabilidade está incorporada no setor florestal, devido a busca por uma matriz energética mais limpa mediante a utilização de biomassa proveniente de florestas plantadas.

As biomassas podem ser divididas em diversas categorias, mas destaca-se duas principais: (1) biomassa tradicional, que consiste principalmente de lenha e resíduos naturais, e (2) biomassa moderna, obtida mediante atuação de processos tecnológicos, como biocombustíveis líquidos, briquetes e *pellets*, cogeração (usando bagaço de cana) e cultivos dedicados, como florestas plantadas e cana-de-açúcar. Os resíduos, especialmente os de origem vegetal, são classificados como a principal fonte de energia da biomassa. A biomassa oferece várias técnicas de conversão em energia. Seus principais usos como matéria-prima energética incluem a produção de biocombustíveis sólidos para geração de energia térmica como o carvão vegetal, biocombustíveis líquidos como o biodiesel usados em motores movidos a combustão

e geração de energia elétrica por intermédio de combustão direta, mediante a gaseificação, queima de gases, entre outras tecnologias (MARAFON *et al.*, 2016).

É importante destacar também que na região Amazônica são implementados Planos de Manejo Florestal em conformidade com as normas estabelecidas pelo Código Florestal Brasileiro. Essas práticas resultam na geração significativa de resíduos provenientes da exploração madeireira, os quais estão sendo cada vez mais aproveitados na produção de carvão vegetal. Essa abordagem não apenas atende aos requisitos legais, mas também proporciona benefícios ao utilizar esses resíduos como subprodutos florestais, conforme indicado por Numazawa *et al*. (2020).

2.3. CARBONIZAÇÃO OU PIRÓLISE LENTA

O Brasil se destaca como o maior produtor de carvão vegetal em escala mundial, devido ao setor florestal possuir aspectos de desenvolvimento elevado. Relevante parte da madeira produzida em plantios de florestas energéticas são destinadas à indústria siderúrgica. Contudo no processo de carbonização da madeira, cerca de apenas 30% da biomassa é convertida em carvão vegetal, e os 70% restantes são convertidos em efluentes gasosos caracterizados por gases condensáveis e gases não condensáveis geralmente liberados, acarretando em poluição atmosférica e desperdício de matéria-prima. (SILVA *et al*., 2018).

Quando se trata da matéria-prima, de acordo com Trugilho *et al*. (1997), madeiras que possuem uma densidade básica elevada, baixos teores de cinzas e alta concentração de lignina desempenham um papel crucial na qualidade e no rendimento do carvão vegetal. Tais características podem ser consideradas indicativos de qualidade da madeira para sua transformação em carvão vegetal. Como resultado, os principais fatores que influenciam tanto a carbonização quanto a qualidade do carvão vegetal estão intrinsecamente ligados às propriedades do material de partida, ou seja, a madeira. Dentre essas propriedades, destaca-se a densidade básica, poder calorífico e composição química.

A decomposição térmica físico-química durante o processo de carbonização acarreta na geração de fumaça composta de gases e vapores. Com o aumento gradativo da temperatura no processo, o carbono é concentrado no carvão vegetal. Esse processo resulta no produto final, o carvão vegetal, além do coproduto licor pirolenhoso e gases não condensáveis (CGEE, 2015). Durante o processo de pirólise da biomassa, uma ampla gama de reações paralelas e em série ocorrem, englobando etapas como desidratação, despolimerização, isomerização, aromatização, descarboxilação e carbonização. Em geral, o mecanismo da pirólise transcorre por meio de três etapas principais (KAN *et al*., 2016):

1. Evaporação inicial da umidade,
2. Decomposição primária, seguida por
3. Reações secundárias, incluindo o craqueamento do óleo e a repolimerização. Esses estágios se intercalam, e a transição entre eles pode ser observada por meio de análises térmicas.

As variáveis do processo que exercem a maior influência na qualidade final do carvão vegetal englobam a taxa de aquecimento, o tempo de reação e a temperatura na qual se sucede a carbonização (VIEIRA *et al*., 2013). A temperatura final de carbonização representa uma variável extremamente importante nas múltiplas reações químicas que ocorrem durante a pirólise, e exerce influência nas propriedades químicas e físicas dos produtos resultantes (HEIN *et al*., 2009). A degradação térmica da madeira é descrita durante o processo de carbonização por diversos autores em intervalos de temperatura das fases da carbonização, havendo, por vezes, discrepâncias nos valores desses intervalos. É importante notar que diversas reações químicas acontecem durante o processo de carbonização (Quadro 1), e essas estão intimamente ligadas à temperatura à qual a madeira é submetida e a metodologia de carbonização.

Quadro 1: Etapas do processo de pirólise da madeira, em faixas de temperatura

Referência	**Faixa de temperatura e fenômenos de reação**			
	Secagem	**Torrefação**	**Carbonização**	**Fixação de carbono**
Trugilho & Silva (2001)	< 200 °C Secagem da madeira	200 a 280 °C Endotérmica, liberação de ácido acético, metanol, H_2O, CO_2 e outros	280 a 500 °C Exotérmica liberação de gases, CO, CH_4, etc., e alcatrões	> 500 °C Liberação de pequenas quantidades de voláteis, em especial H
Raad (2004)	< 100 °C Secagem (liberação das ligações higroscópicas)	105 a 200 °C H_2O (vapor) ocorre pirolise somente em períodos muito longos	200 a 270 °C Endotérmica	> 270 °C Exotérmica CO, CH_4, alcatrão, pequenas quantidades de voláteis, em especial H_2
Syred *et al*. (2006)	20 - 100 °C Liberação de vapor d'água absorção de energia	100 °C Temperatura se mantém até que toda umidade seja retirada	110 a 270 °C Inicio da pirólise, liberando CO, CO_2, metanol e ácido acético	> 270 °C Reações espontâneas (Exotérmicas)

Fonte: Adaptado de DONATO (2017).

Conforme descrito por Wild *et al.* (2014), a decomposição da macromolécula de hemicelulose ocorre entre a faixa de 200 °C a 300 °C. A decomposição da macromolécula celulose acontece entre 300 °C a 400 °C, e a macromolécula de lignina se decompõe de forma mais lenta, em uma faixa mais ampla, entre 250 °C e 500 °C. Complementarmente, Martins *et al.* (2016) descrevem que as quantidades e a composição dos gases liberados no processo estão condicionadas às propriedades da madeira e ao procedimento de carbonização.

2.4. COPRODUTOS DA CARBONIZAÇÃO

A carbonização da madeira, resulta em aproximadamente 33% de conversão em carvão vegetal, enquanto os 67% correspondem a emissões atmosféricas, dessas há um percentual que pode ser condensado e recuperado como coprodutos. Essas emissões atmosféricas incluem cerca de 44% de gases condensáveis, que podem ser recuperados como licor pirolenhoso, e 23% de gases não condensáveis, como monóxido de carbono (CO), hidrogênio (H_2), metano (CH_4) e etano (C_2H_6). Esses gases são liberados na atmosfera, contribuindo para o aumento da concentração de poluentes gasosos e, consequentemente, reduzindo a qualidade do ar (PEREIRA *et al.*, 2022; SILVA *et al.*, 2019).

Devido à relevância da utilização de carvão vegetal no Brasil é necessário realizar a integração abrangente do ciclo de vida e aproveitamento de subprodutos para fomentar sistemas circulares e mitigar a dissipação de energia. No estudo realizado por Silva *et al*., (2024) é apresentada uma abordagem inovadora da aplicação do extrato pirolenhoso, sendo este coproduto do processo produtivo de carvão vegetal no cultivo de eucalipto, a aplicação do extrato pirolenhoso foi medida pela eficiência atribuída ao potencial em reduzir substancialmente a necessidade de pesticidas e favorecer a economia circular da biomassa.

A implementação de um processo eficaz para recuperar os líquidos brutos resultantes da pirólise, seguido por uma gestão apropriada desses subprodutos, emerge como uma alternativa viável, com o potencial de reduzir aproximadamente 40% das emissões de gases de efeito estufa. Esse método não apenas contribui para a mitigação ambiental, mas também oferece um produto valioso com diversas aplicações (SILVA *et al*. 2019).

O uso do licor pirolenhoso proveniente de carbonização da madeira se estende consideravelmente, abrangendo sua aplicação como herbicida, inseticida e fungicida, o estudo conduzido por Hagner *et al*., (2020), especificamente destacou a eficácia inseticida do licor pirolenhoso da madeira de salgueiro (*Salid sp*.) contra a praga *Rhopalosiphum padi*, ressaltando seu potencial multifuncional em aplicações agrícolas. Atualmente as pesquisas em sua maioria, se concentram em examinar como o licor pirolenhoso da madeira pode atuar no setor da agricultura, devido a promoção do crescimento das plantas e inibição de um número restrito de pragas (BONANOMI *et al* 2021). De maneira geral, é possível destacar de acordo com estudo realizado por Mirsoleimani *et al*., (2023), no qual foi realizada a aplicação simultânea de licor pirolenhoso da madeira e potássio, resultando em influência positiva sobre o crescimento das plantas e a absorção de nutrientes, mediados pelos efeitos no pH do solo e no equilíbrio nutricional.

Do licor pirolenhoso, proveniente do processo de carbonização quando submetido a um processo de decantação, obtêm-se a fração mais leve e aquosa denominada ácido pirolenhoso (extrato pirolenhoso) e a fração mais pesada e orgânica e com aspecto de oleosidade denominada alcatrão vegetal (CARAZZA et al., 2000).

Um estudo realizado por Yuan e colaboradores (2022), apresentou a aplicação em conjunto de *biochar* e extrato pirolenhoso no cultivo de amendoim em solo costeiro, e demonstraram como resultado o aumento considerável na produtividade e teor de aminoácidos em vagens, para mais, evidenciou a melhoria nos microrganismos benéficos do solo, tais quais bactérias (*Arthrobacter*, *Blastococcus* e *Sphingomonas*) e fungos (*Humicola* e *Chaetomium*).

O alcatrão vegetal pode ser submetido a um processo de fracionamento, obtido através de destilação ao qual se adquire cinco frações de acordo com a temperatura de vapor. A fração aquosa é obtida até a faixa de 105°C, a fração de óleo leve é obtida no intervalo de 105°C a 180°C, o óleo médio na faixa de 180°C a 240 °C, o óleo pesado a partir de 240°C e por fim uma fração residual denominado piche vegetal (STUCKENBRUCK, 1900). Os óleos obtidos através da destilação são empregados na indústria alimentícia como aditivos em forma flavorizantes (CARAZZA et al., 2000).

De acordo com Pimental *et al.* (2020), os aditivos alimentares provenientes de fumaça líquida são amplamente empregados de forma mundial como base para a elaboração de aromas. Desta forma, realizaram um estudo que buscou a caracterização da composição química de quatro tipos de fumaças líquidas provenientes de biomassa de eucalipto. O estudo apontou como resultado que os compostos químicos predominantes foram ácidos orgânicos, aldeídos, ésteres, furanos, piranos e compostos fenólicos como principal grupo. Para mais, realizaram teste de hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPA) ao qual nenhuma amostra apresentou detecção no método adotado.

2.5. SIDERURGIA SUSTENTÁVEL

Devido à crescente preocupação com as questões ambientais, às autoridades governamentais ao redor do mundo demonstram interesse nos temas que relacionam a poluição e geração de energia, buscando soluções que utilizam fontes renováveis para a diversificação das matrizes energéticas para a redução do acentuado uso de combustíveis fósseis, tradicionalmente utilizados em larga escala. As fontes consideradas energias limpas ocupam espaço de destaque como soluções devido ao aspecto de regeneração com o decorrer do tempo, outrossim, se tornam inesgotáveis (NAZIR *et al.*, 2019).

De acordo com Pena-Vergara *et al.* (2022) e Brandão *et al.* (2021), a biomassa é um recurso energético, renovável e com múltiplas aplicabilidades, matéria-prima para conversão em energia térmica, elétrica e biocombustíveis, podendo atuar com papel significativo na evolução da matriz energética brasileira.

Para melhoria do cenário ambiental em âmbito nacional, em 2013 foi criado pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), a Comissão de Estudo Especial de Produção Sustentável de Ferro-Gusa a Carvão vegetal, objetivando a criação de uma norma nacional para preconiza a sustentabilidade nas siderurgias. Em 2015 foi publicada a NBR 16409:2015 Ferro-gusa a carvão vegetal – Orientações para a produção sustentável, que predispõe sobre as diretrizes para o setor produtivo de ferro-gusa correlacionada aos fornecedores de carvão vegetal com o viés voltado à sustentabilidade. (ABNT, 2015).

O estado de Minas Gerais conta com a atuação do projeto Siderurgia Sustentável iniciado formalmente em 2016, objetiva reduzir as emissões dos GEE na cadeia de produção de ferro mediante a utilização de biomassa renovável como a principal fonte de matéria-prima para produção de carvão vegetal, visando avanços e aprimoramento das tecnologias de conversão no setor produtivo com auxílio de um marco regulatório que atue de forma eficiente alinhado com a agenda 2030 da ONU, está correlacionado aos ODS 7, 9, 12 e 13. (MMA, 2017; IBÁ, 2022) Assim, ocorreu a criação do Projeto Siderurgia Sustentável, que visa o emprego de tecnologias limpas, que devem ser desenvolvidas para melhoria do processo de carbonização e efetivação da sustentabilidade na produção e durante o uso do carvão vegetal nas atividades siderúrgicas de aço, ferro-gusa e ferroligas. Destaca-se que em Minas Gerais, a Universidade Federal de Viçosa lidera o projeto e pesquisas a respeito do sistema de forno-fornalha, que contribui para a redução das emissões atmosféricas durante o processo de pirólise e torna a tecnologia eficiente e sustentável (MMA, 2019).

De acordo com Cardoso *et al*., (2010), ao contrário de fornos tradicionais que utilizam métodos empíricos para controlar a carbonização, como a avaliação da tonalidade da fumaça e a temperatura externa da parede do forno (Fig. 4a), os fornos fornalha (Fig. 4c), empregam curvas de carbonização determinadas, com medições precisas de temperatura por meio de pirometria.

Figura 4: Alguns tipos de fornos de carbonização

A: forno metálico; b: forno rabo-quente; c: fornos fornalha.

Fonte: Pinheiro (2009); MF Rural (2022); Projeto Siderurgia Sustentável (2022)

Os fornos tipo rabo-quente apresentam baixo rendimento gravimétrico em torno de 25% e durabilidade média de dois anos. (CARNEIRO et al., 2013). Em complementação Homma *et al.* (2014) apresenta que os fornos rabo-quente não permitem a recuperação de coprodutos, apresentam elevado índice de poluição, tornando prejudicial à saúde dos carvoeiros que o manipulam e da comunidade ao entorno. Cardoso *et al*., (2010) relata que os fornos-fornalha contam com um sistema adicional para a combustão dos gases de carbonização, o que contribui para uma maior eficiência do processo. Uma das principais vantagens do sistema de fornos-fornalha é a redução de investimentos e despesas operacionais. Essa tecnologia permite uma gestão mais eficiente dos recursos, otimizando o consumo de energia e reduzindo os custos relacionados à produção de carvão vegetal. Isso torna o sistema de fornos fornalha uma opção viável e econômica para o setor. O forno-fornalha reduz as emissões, reduz GEEs, contudo não viabiliza a recuperação de coprodutos.

De acordo com Chies *et al*., (2015) a recuperação de coprodutos proveniente do processo de carbonização ainda se concentra em pequenos e médios produtos, buscando a utilização do licor pirolenhoso no segmento da agricultura, em cenários de grandes produtores visa-se a combustão dos gases para geração de calor. Rocha *et al*., (2017) apresenta que o setor produtivo de carvão visa a preservação do meio ambiente e efetivação do desenvolvimento sustentável. Para mais, destaca a utilização de resíduos madeireiros destinados como insumo para a fabricação de carvão vegetal como alternativa ao emprego de recursos naturais.

Para maior efetivação da siderurgia sustentável, os resíduos de espécies tropicais na Amazônia apresentam potencial para substituir combustíveis fósseis, de acordo com estudo realizado por Lima *et al*. (2020a,b), que caracterizaram energeticamente resíduos de espécies comerciais da Amazônia, colhidas de manejo sustentável. Os autores constataram que os extrativos totais desempenham papel crucial, superando a influência da lignina, afetando o processo de carbonização, o rendimento e a qualidade do carvão vegetal, nesse estudo foram

avaliadas espécies de resíduos madeireiros, dentre os resultados destaca-se que os carvões produzidos apresentaram qualidade para aplicação siderúrgica.

Adicionalmente, estudos realizados por Numazawa *et al.* (2020) destacam os ganhos provenientes de estratégias regulamentadas no manejo florestal, as quais se concentram na preservação da biodiversidade, no incremento da retenção de carbono e na geração simultânea de vantagens econômicas e sociais. O estudo aponta que em cenários nos quais os resíduos da exploração madeireira são adequadamente removidos, a produtividade primária líquida da floresta se recupera, favorecendo a geração de renda e empregos por meio da coleta de resíduos madeireiros destinados à produção de carvão vegetal. Esses resultados sugerem que a gestão florestal sustentável não apenas impulsiona a produtividade florestal, mas também proporciona benefícios econômicos a partir de resíduos anteriormente subutilizados.

Os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) estabelecidos pela Organização das Nações Unidas (ONU) em 2015 buscam o propósito global de preservar o planeta, erradicar a fome e assegurar paz e prosperidade para as pessoas, tendo como horizonte temporal o ano de 2030. Compreendem 17 metas interligadas, fundamentadas em princípios de desenvolvimento sustentável (UNDP, 2022). Desta forma, os ODS 3, 8, 9, 10, 11, 12 e 13 (Fig. 5), estão ligados a siderurgia sustentável devido a reintegração dos coprodutos na cadeia comercial, demonstrando potencial bioeconômico favorável conectado a produção de carvão com insumos de florestas plantadas e favorecimento da região amazônica no reaproveitamento de resíduos dos manejos florestais, alinhando-se aos objetivos de desenvolvimento sustentável.

Figura 5: ODS ligados a este projeto de pesquisa

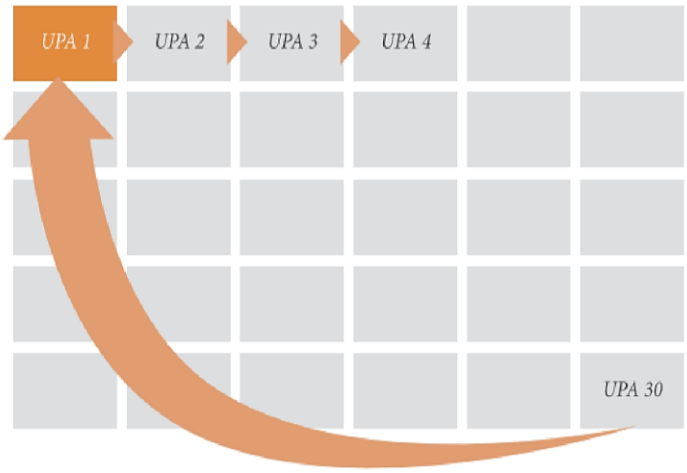
Fonte: Adaptado de Organização das Nações Unidas (2015)

2.6. MANEJO FLORESTAL SUSTENTÁVEL

Conforme a Lei de Gestão de Florestas Públicas (Lei Federal 11.284/2006), em seu artigo 3º, inciso VI, o manejo florestal pode ser definido como o gerenciamento de florestas, com a finalidade de obter benefícios econômicos, sociais e ambientais, levando em consideração a funcionalidade de sustentabilidade do ecossistema gerenciado. Essa abordagem abrange a utilização de diversas espécies de madeira, produtos variados, subprodutos não madeireiros e outros bens e serviços provenientes da floresta, de forma cumulativa ou alternativa.

O manejo florestal sustentável ocorre mediante a realização de um Plano de Manejo Florestal Sustentável (PMFS), que contém o ciclo de corte baseado no intervalo de tempo em anos que se deve aguardar após a exploração do primeiro ciclo de corte até o próximo ciclo. Desta forma, a área de manejo florestal é subdividida em Unidades de Produção Anual (UPA), em que a UPA 1 será explorada inicialmente, e sucessivamente ocorrerá a exploração das UPAs (Fig. 6), caso o PMFS possua 30 UPAs, a primeira UPA será explorada novamente após um ciclo de corte de 30 anos, e ocorrerá sua segunda exploração no trigésimo primeiro ano. Este processo de extração permite que aconteça o fenômeno de sucessão da floresta, principalmente nas clareiras onde ocorreu a exploração e favorece a recuperação das espécies antes do próximo ciclo de corte. O PMFS deve ser submetido ao órgão ambiental competente que deverá realizar a aprovação antes que se inicie a exploração da área. Além disso, o empreendimento deverá também submeter o Plano Operacional Anual (POA) à avaliação, esse documento técnico descreve as atividades exploratórias planejadas para o período anual, garantindo a devida conformidade com as normas ambientais e a sustentabilidade do manejo florestal. (ESPADA *et al*., 2015).

Figura 6: Ilustração de ciclo de corte manejo florestal sustentável



Fonte: Espada *et al*. (2015).

Conforme estabelecido pela Instrução Normativa Nº 05/2011 da Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Sustentabilidade do estado do Pará, as Unidades de Produção Anual (UPA's) são subdivididas em Unidades de Trabalho (UT), as quais possuem uma extensão de até 100 hectares. Além disso, a normativa determina que a extração anual da área sob manejo, que inclui o conjunto de espécies comerciais autorizadas para exploração, deve corresponder a 0,86 metros cúbicos por hectare por ano nos Planos de Manejo Florestal Sustentável que empregam maquinário para arraste das toras. A determinação do diâmetro de corte das árvores deve estar fundamentada em estudos técnicos das espécies em questão. No entanto, para aquelas espécies desprovidas de estudos específicos, a norma estabelece um limite de 50 centímetros de diâmetro de corte. Além desses aspectos, é notável que os resíduos resultantes do processo de manejo, mesmo em conformidade com o PMFS, englobam galhos, sapopemas e fragmentos de troncos de árvores. Esses resíduos podem ser direcionados tanto para a produção de madeira quanto para a geração de energia, promovendo, assim, uma abordagem eficaz e sustentável na exploração dos recursos florestais.

Embora apresente relevância econômica e social da indústria madeireira, é notável a escassez de estudos que abordam a cadeia produtiva na Amazônia, especialmente com foco no gerenciamento dos resíduos decorrentes do manejo florestal sustentável (RAMOS *et al.*, 2017). Nos planos de manejo florestal realizados na Amazônia Brasileira, são produzidas quantidades expressivas de resíduos florestais, principalmente durante a etapa de exploração de madeira. Estima-se que a cada tonelada de madeira extraída sob gestão de Exploração de Impacto Reduzido, sejam geradas 2,13 toneladas de resíduos, como por exemplo sapopemas, restos de troncos e galhos. (NUMAZAWA *et al.*, 2017).

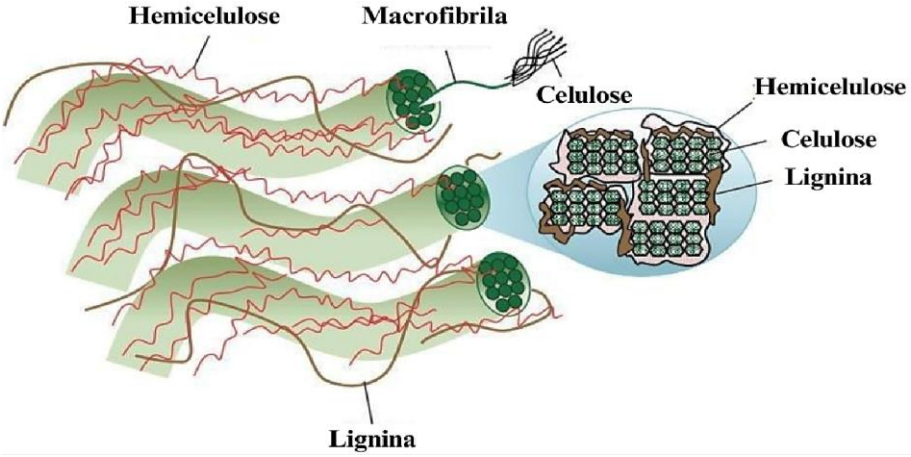
Thiffault *et al*. (2015) destacam que os resíduos florestais gerados na etapa da colheita, geralmente são aproveitados como biomassa na cadeia produtiva de geração de bioenergia. A destinação dos resíduos lenhosos para a produção de lenha e carvão vegetal, está prevista conforme a Instrução Normativa Nº 5, publicada pelo Ministério do Meio Ambiente (BRASIL, 2006). Esta desempenha um papel fundamental na área produtiva florestal, proporcionando a geração de empregos locais e aumento de receitas, contribuindo para o uso mais eficiente dos recursos florestais, favorecendo o desenvolvimento sustentável e promovendo a utilização responsável dos resíduos lenhosos, reduzindo o desperdício e maximizando os benefícios socioeconômicos para as comunidades locais.

2.7. ESTRUTURA DA BIOMASSA LENHOSA FOLHOSA/CONÍFERAS

A biomassa vegetal possui em sua composição componentes que devem ser avaliados, estudados no que concerne à utilização dessa matéria-prima destinada ao processo de carbonização. Esses componentes, de acordo com De Jong *et al*., (2014) são respectivamente a celulose, as hemiceluloses e a lignina (Fig. 7).

O biopolímero da celulose se apresenta como redes cristalinas e aspecto amorfo com organização estrutural fibrosa. A lignina é uma macromolécula aromática que possui ordenação estrutural molecular de extrema complexidade devido às formas poliméricas reticuladas compostas por monômeros fenólicos. Ela atua como camada de proteção das espécies vegetais, nas quais as pequenas fibras de celulose são cobertas pela hemicelulose, de forma a configurar-se em uma rede com espaços vazios, gradativamente ocupados pela lignina (LEE *et al.*, 2014).

Figura 7: Representação esquemática da parede celular da biomassa

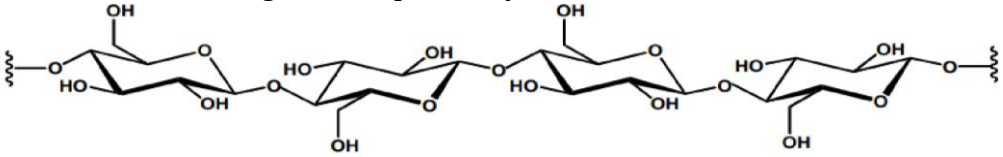


Fonte: LEE *et al.* (2014)

2.7.1. *Celulose*

A celulose (Fig. 8) é classificada como polissacarídeo, que possui unidades de D-glicose, sendo essas macromoléculas de elevada massa molar (DONATE, 2014).

Figura 8: Representação da estrutura da celulose

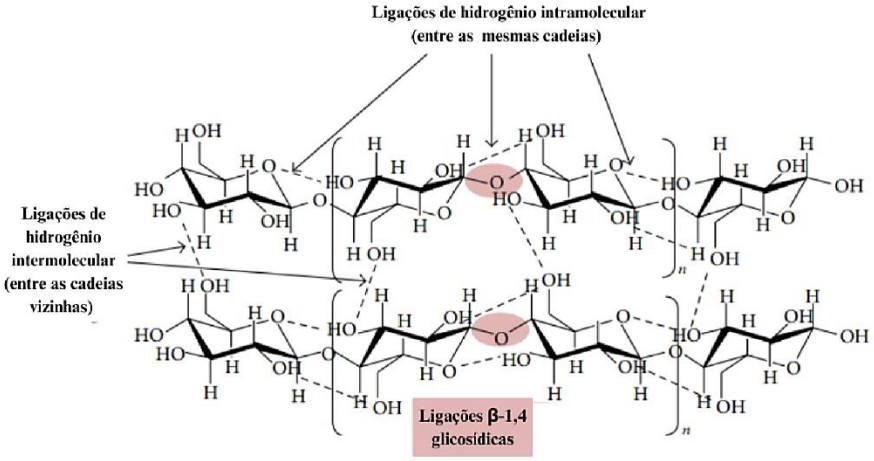


Fonte: DONATE (2014)

A celulose na biomassa, presente em formas cristalinas e amorfas, adota uma estrutura fibrosa organizada. Os polímeros de celulose de cadeias longas consistem em subunidades de D-glicose, que são interligadas por meio de ligações glicosídicas β-1,4 (Fig. 9). Esses polímeros

lineares são unidos por várias ligações intermoleculares e intramoleculares distintas, permitindo o arranjo lado a lado em folhas planas e a formação de microfibrilas. (LEE *et al.*, 2014).

Figura 9: Estruturas químicas das cadeias de celulose

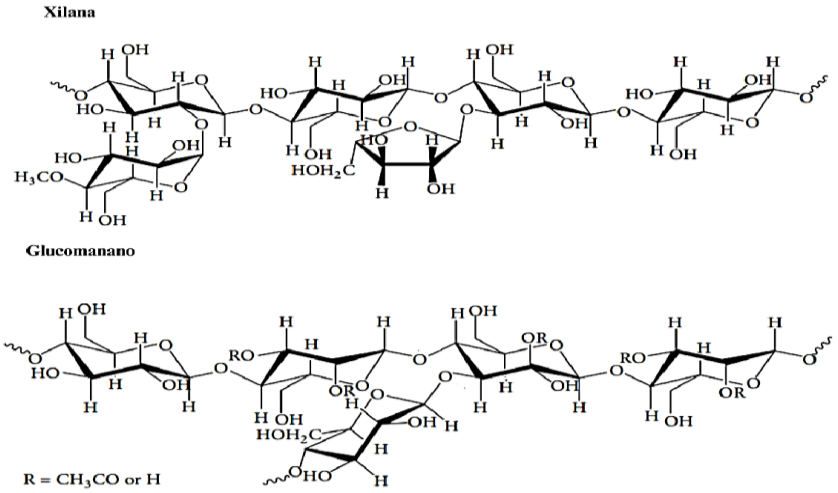


Fonte: LEE *et al.* (2014)

2.7.2. *Hemicelulose*

As hemiceluloses são frequentemente classificadas com base no resíduo de açúcar predominante, tal como xilanas, mananas e glicanas. São variadas subclasses de hemiceluloses (Fig. 10) e podem ser identificadas conforme a espécie vegetal, o estágio de desenvolvimento e o tipo de tecido (LEE *et al*., 2014). Algumas hemiceluloses exercem a função de estabilizar a parede celular por meio de ligações de hidrogênio com a celulose e de ligações covalentes com a lignina. Outras podem ser utilizadas como fonte externa de energia, servir como sistema de armazenamento de compostos primários e desempenhar um papel na retenção de água em sementes (WYMAN *et al*., 2005).

Figura 10: Estrutura química dos compostos de hemicelulose

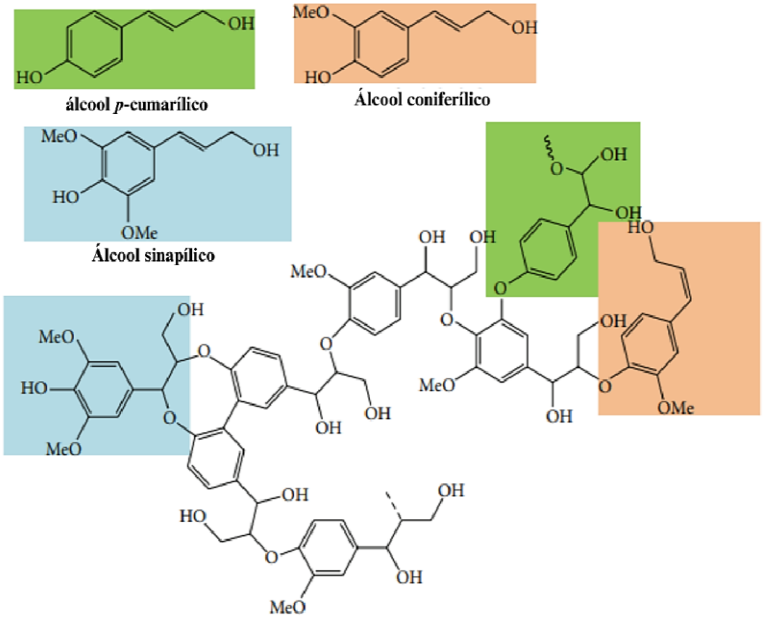


Fonte: (LEE *et al.*, 2014).

2.7.3. *Lignina*

A lignina é uma estrutura molecular complexa derivada de monômeros fenólicos, especialmente álcool *p-c*umarílico, álcool coniferílico e álcool sinapílico (Fig. 11) (LEE *et al.*, 2014).

Figura 11: Estrutura química da lignina e principais monômeros fenólicos



Fonte: (LEE *et al.*, 2014).

A lignina exibe composições distintas entre coníferas e folhosas, sendo sua presença mais pronunciada em coníferas (CHIO *et al*., 2019), também é comumente classificada de acordo com á polimerização dos álcoois *p*-comarilil, coniferílico e álcool sinapílico, conforme apontado por Vanholme *et al*. (2019). Particularmente, a presença significativa de lignina e extrativos fenólicos na madeira, uma vez que desempenham um papel crucial no incremento do poder calorífico superior (ZANUNCIO *et al*., 2014).

2.7.4. *Extrativos*

Os extrativos de madeira, são componentes não estruturais do material lignocelulósico e desempenham um papel fundamental na dinâmica fisiológica e adaptativa das árvores, são comumente encontrados em concentrações mais elevadas no cerne, e desempenham uma função crucial na resposta defensiva da árvore a estresses ambientais (KIRKER *et al*., 2013).

Na madeira, os extrativos formam uma composição intrincada de diversos compostos, incluindo fenólicos, terpenoides, alcaloides, terpenos e saponinas, dentre outros. Essa diversidade de componentes ressalta a complexidade química das árvores, com cada grupo de

compostos desempenhando papéis específicos na fisiologia e na defesa das plantas (KADIR *et al*. 2020).

A classificação dos extrativos pode ser realizada com base na polaridade. As análises de extrativos são precedidas de extração por solvente apropriado, incluindo-se solventes de diferentes polaridades. Os extrativos, comumente, são categorizados como extrativos hidrofílicos, que são solúveis em solventes polares e água, e extrativos lipofílicos, solúveis em solventes apolares, em que a variação na quantidade e composição do extrato obtido com cada solvente destaca a importância da escolha do solvente apropriado para a extração (VEK *et al*. 2011; VEK *et al*. 2019; VEK *et al*. 2020).

A obtenção de extrativos da madeira envolve o uso de diversas técnicas de extração, cada uma influenciando o rendimento e a natureza dos compostos extraídos. Atualmente, o método mais comum é a extração por meio do aparelho Soxhlet, utilizando solventes, ou a abordagem ecologicamente amigável da autoclave com água quente (LOVAGLIO, *et al*. 2017). De acordo com Yang *et al*., (2020), os extrativos da biomassa lignocelulósica apresentam perspectivas promissoras para aplicação em diversas áreas, incluindo bioenergia, biomedicina, cosméticos, cuidados com a pele, especiarias, entre outros campos. Os autores destacam ainda que a análise da composição química estabelece uma base científica crucial para o desenvolvimento e aplicação desses compostos em diferentes tipos de utilizações. Em complementação, os extrativos, são caracterizados como moléculas complexas que desempenham um papel crucial na otimização do valor energético da biomassa (MENUCELLI *et al*. 2019), sua presença influencia positivamente tanto o rendimento energético quanto o equilíbrio de massa durante o processo de pirólise (GOUVÊA *et al*. 2015).

3. OBJETIVOS GERAIS E ESPECÍFICOS

O objetivo principal deste trabalho foi a prospecção qualitativa dos extrativos de diferentes biomassas residuais amazônicas e a carbonização das amostras para a prospecção qualitativa dos coprodutos. Desta forma, o objetivo se deve às lacunas de pesquisas científicas quanto às biomassas residuais amazônicas. O conhecimento dos extrativos pretende demonstrar a viabilidade de novas aplicações dos resíduos madeireiros, incentivando a prática de recuperação dos coprodutos e, com isso, reduzindo consideravelmente as emissões atmosféricas na produção de carvão vegetal. Assim os objetivos específicos estão listados abaixo:

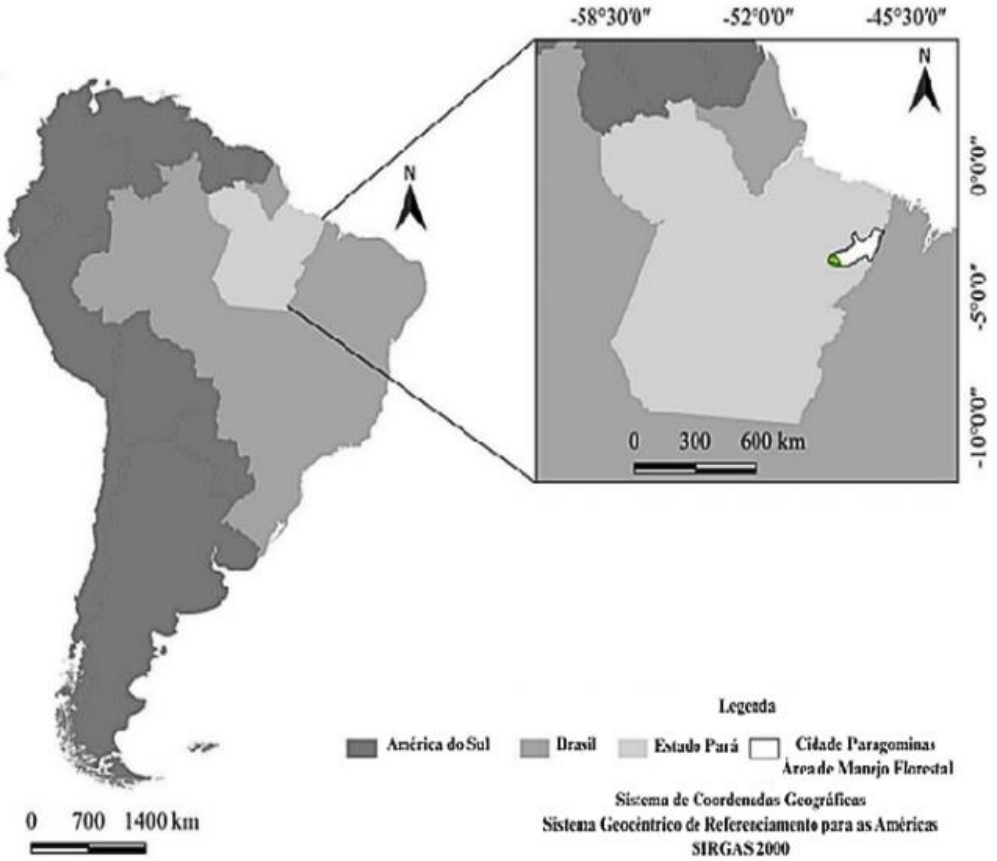
1. Caracterização das biomassas residuais amazônicas quanto ao teor de extrativos, lignina, holocelulose, composição química imediata, poder calorífico superior, termogravimetria, espectroscopia na região infravermelho com transformada de Fourier;
2. Obtenção dos extrativos das biomassas com diferentes solventes para a identificação de compostos por cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massas;
3. Carbonização de biomassas em escala reduzida para identificação de compostos por cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massas;
4. Caracterização do carvão vegetal por termogravimetria, espectroscopia na região infravermelho com transformada de Fourier e microscopia eletrônica de varredura;
5. Desenvolvimento de método de extração de extrativos de biomassas empregando banho de ultrassom como fonte de energia como alternativa verde em prol da redução do consumo de solventes orgânicos.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1. AMOSTRAGEM

As amostras utilizadas no estudo são provenientes de resíduos lignocelulósicos da área de manejo florestal Rio Capim (FMA Rio Capim), situada no município de Paragominas, Estado do Pará, Brasil (Fig.12). As espécies selecionadas foram: *Ecclinusa* spp. (Abiurana), *Pouteria cf. Oblanceolata* Pires (Abiu-ucuubarana), *Protium cf. altissimum* (Aubl.) Marchand (Breu-barrote), *Goupia glabra* Aubl. (Cupiúba), *Inga* spp. (Ingá) e *Manilkara spp*. (Maçaranduba).

Figura 12: Localização da FMA Rio Capim



Fonte: Adaptado de Lima *et al.* (2020a)

As espécies foram pré-selecionadas mediante estudos anteriores realizados no mesmo local de coleta por Lima *et al.* (2020a) e Lima *et al.* (2020b), que evidenciam dados de ensaios de qualidade das biomassas. Isto posto, das seis espécies disponíveis para coleta e selecionadas para o estudo, quatro estão citadas nos trabalhos de Lima *et al*. (2020a, b) e apresentam dados do teor de extrativos e teor de lignina (Tabela 1). Destaca-se que a disponibilidade das espécies varia com o local de extração do manejo florestal, portanto as espécies foram selecionadas de acordo com as possibilidades evidenciadas durante o trabalho de campo e coleta do material (Fig. 13). Ademais, as espécies foram selecionadas com o auxílio de identificador local colaborador FMA Rio Capim.

Figura 13: Campo Paragominas, Pará (2023)

Legenda: a) Unidade de produção anual (UPA); b) amostragem das espécies; c) metodologia de carbonização forno tipo rabo quente; d) demonstração dos efluentes atmosféricos em pátio de carbonização.

Tabela 1: Espécies pré-selecionadas para a carbonização

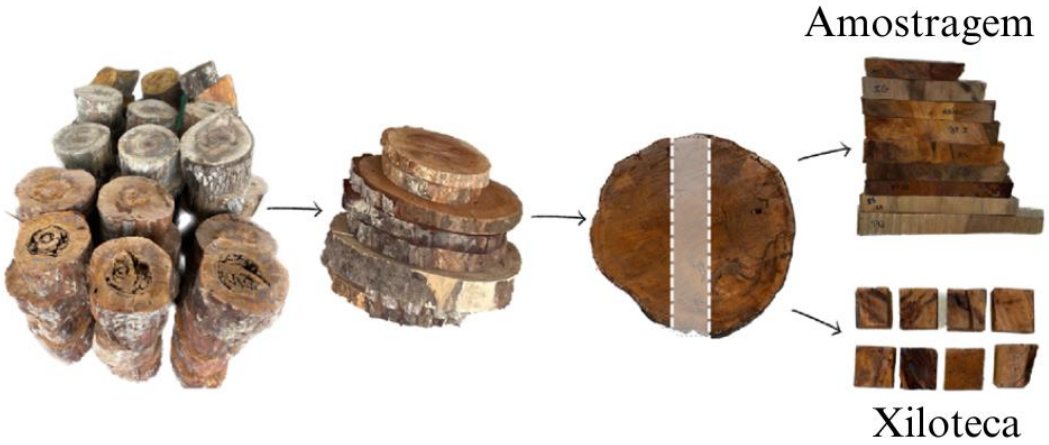
Nome científico	**Nome comercial**	**Extrativos (% base seca)**	**Lignina total (% base seca)**
Pouteria cf. oblanceolata Pires	Abiu-ucuubarana	9,0	32,3
Protium altissimum	Breu barrote	12,6	31,0
Goupia glabra	Cupiúba	11,4	34,0
Manilkara elata	Maçaranduba	11,9	30,2

Fonte: Adaptação de Lima *et al.*, (2020a) e Lima *et al.*, (2020b).

Desta forma, foram retirados dois discos de cada exemplar de tronco selecionado, sendo um disco destinado a análises de caracterização e carbonização e o disco remanescente destinado à identificação na Xiloteca do laboratório de botânica da Embrapa Amazônia Ocidental em Belém, no estado do Pará. Os discos foram dimensionados com 05 centímetros de altura e diâmetro variável (Fig. 14). Em cada disco traçou-se seção de corte dimensionada

em 04 centímetros de largura de forma a contemplar alburno e cerne presente no lenho para a garantia da representatividade das amostras. Além disto, o material destinado à xiloteca foi fracionado em pequenos blocos de 05 centímetros de altura, 04 centímetros de comprimento e 04 centímetros de largura.

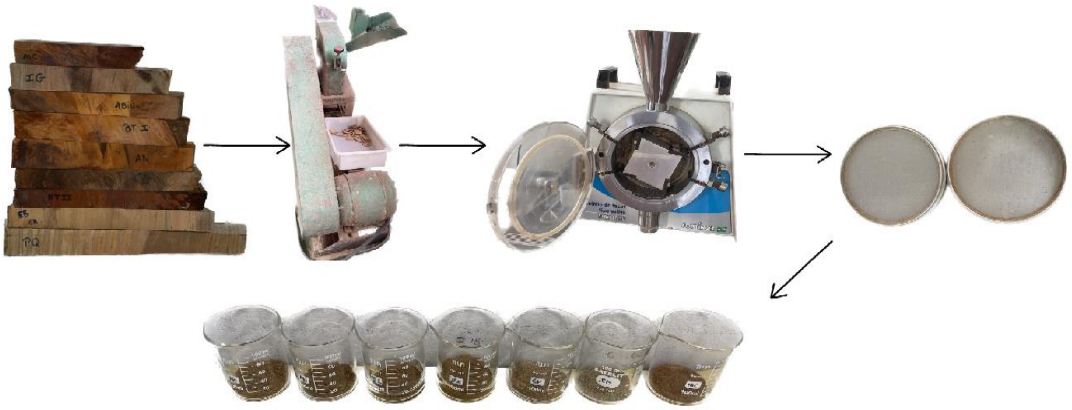
Figura 14: Fracionamento das amostras para proceder às análises



4.2. PREPARO DAS AMOSTRAS

Devido às características de heterogeneidade das biomassas lenhosas, foi realizado o preparo das amostras de forma a assegurar a representatividade da complexibilidade da estrutura do material. Desta forma, o material foi previamente triturado em moinho da marca eletromotores jaraguá S.A modelo 132M 1076. Posteriormente, triturado em moinho tipo Willey modelo STAR FT 50, marca Fortinox e em seguida classificado por peneiras de 40 e 60 *mesh*, de acordo a metodologia descrita pela norma TAPPI 257 cm-85 (Fig. 15) e utilizou-se a porção de material retida na peneira de 60 *mesh*.

Figura 15: Metodologia de preparo das amostras para análises químicas



4.2.1. *Extrativos parciais em acetona e hexano*

As extrações foram realizadas com acetona e hexano, destaca-se que foram realizadas distintamente extrações com cada solvente. O preparo das amostras seguiu a norma TAPPI T 280 pm-99, sendo a extração realizada sob refluxo em extrator *Sohxlet*, por 4 horas. Foram utilizados 2,000 gramas de amostra acondicionada em cartucho de papel filtro, ambos previamente secos em estufa SSD- 110 L marca SolidSteel, a 105 °C durante 24 horas. Esse procedimento foi realizado em triplicata. Utilizou-se o total de 750,0 mL de solvente, 250,0 mL por balão durante o procedimento de extração, o teor de extrativos foi calculado conforme equação 1 e os extratos obtidos de acetona e hexano foram armazenados individualmente e recuperados mediante destilação simples. As amostras concentradas foram destinadas à análise cromatográfica.

$$\text{Extrativos } (\%) = \frac{(\text{Pi}-\text{Pf})}{\text{Pi}} * 100 \qquad (1)$$

Em que: Pi = massa inicial; Pf = massa final.

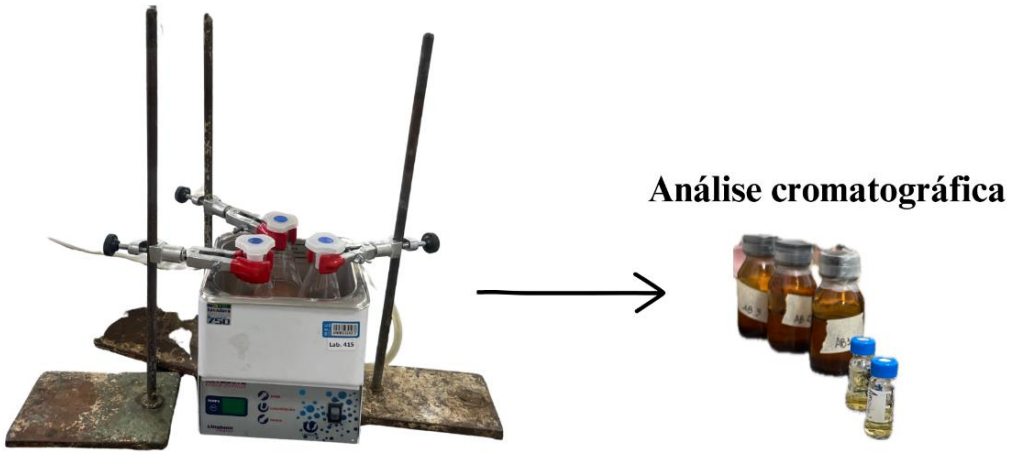
4.2.2. *Extrativos totais*

As amostras foram submetidas ao método de remoção de extrativos sequenciais segundo a norma TAPPI T 264 cm-97. Foram utilizados 2,000 gramas de amostra acondicionada em cartucho de papel filtro ambos previamente secos em estufa a 105 °C durante 24 horas. A extração foi realizada da seguinte forma: extração em álcool etílico:tolueno (1:2, v/v) sob refluxo em extrator Sohxlet por 5 horas; em seguida a mesma amostra foi lavada em álcool etílico e submetida à extração em álcool etílico por quatro horas, também sob refluxo. Por fim, a amostra foi lavada com água destilada e seguiu para a última extração em água destilada quente por 1 hora em banho-maria, com adição constante de água quente para completar o volume, o teor de extrativos foi calculado conforme equação 1. Os extratos obtidos de tolueno e etanol, e da etapa da extração de etanol foram armazenados individualmente e os solventes recuperados mediante destilação simples para o etanol e destilação fracionada para a mistura tolueno/etanol. As amostras concentradas foram destinadas à análise cromatográfica. Utilizou-se o total de 750,0 mL de solvente, 250,0 mL por balão durante a obtenção dos extrativos.

4.2.3. *Metodologia experimental de extrativos em ultrassom*

As extrações foram realizadas em banho de ultrassom marca UltraSonic Cleaner modelo Maxclean 750, utilizando 50,0 mL de solvente em um Erlenmeyer. Foi realizada a extração em diferentes solventes sendo: acetona, etanol, tolueno e etanol (2:1) e acetato de etila. Uma porção de 0,500 g de amostra da espécie *Manilkara* ssp. foi utilizada para a extração em cada solvente, sendo realizado em triplicata (Fig.16).

Figura 16: Metodologia de extração assistida por ultrassom



A extração se sucedeu durante 30 minutos. Ao final, o extrato foi separado e destinado à análise cromatográfica. Os solventes foram recuperados mediante destilação simples e fracionada. Os teores de extrativos foram calculados conforme a equação 1.

4.3. LIGNINA SOLÚVEL

A quantificação da lignina foi realizada de acordo com a norma TAPPI T222 om-98, utilizando amostras de madeira livre de extrativos, seca em estufa a 105 °C durante 24 horas. Utilizou-se uma alíquota de amostra de 1,000 grama, em um béquer de 600 mL, o ensaio foi realizado em triplicata. Em seguida adicionou-se 15,0 mL de ácido sulfúrico 72% por amostra, repousando por um período de 2 horas em uma bandeja contendo água à temperatura de aproximadamente 20 °C. Posteriormente, as amostras passaram pelo processo de fervura, em aquecedor / agitador magnético a uma temperatura de 100 °C durante 4 horas e em seguida mantidas em repouso à temperatura de aproximadamente 20 °C, posteriormente filtrados com auxílio de bomba a vácuo utilizado cadinho de vidro com placa porosa tipo gooch porosidade dois forrados com óxido de alumínio (Fig. 17). Ao final, o cadinho contendo a amostra foi levado à estufa calibrada a 105 ± 2 ºC e pesado em balança analítica para obtenção do teor de lignina (Eq. 2):

$$\mathrm{Tlig}(\%) = \left(\frac{\mathrm{M1}}{\mathrm{M2}}\right) \mathrm{x}\ 100 \qquad (2)$$

Em que: Tlig (%) = Teor de lignina, em porcentagem; M1 = Massa seca de lignina, em gramas; M2 = massa seca da amostra (livre de extrativos), em gramas.

Figura 17: Metodologia para obtenção do teor lignina

4.4. HOLOCELULOSE

O teor de holocelulose foi determinado com base na norma TAPPI T257 om-85. Em um erlenmeyer de 250 mL foram adicionados 1,000 grama de amostra livre de extrativos em estufa a aproximadamente 105 °C durante 24 horas, o ensaio foi realizado em triplicata. Adicionou-se 120 mL de água deionizada, 2,0 mL de ácido acético glacial em proporção 1:5 em água e 2,0 mL de clorito de sódio 30%. O erlenmeyer foi tampado com cadinhos de porosidade 2 e mantido sob temperatura constante de 70 °C por 4 h (Fig. 18). Após esse período foram novamente adicionados 2,0 mL das soluções de ácido acético e clorito de sódio a cada 45 minutos.

Em seguida, após resfriamento, a holocelulose (resíduo sólido) foi lavada com água deionizada. Então foram adicionados 5 mL de metanol, o conteúdo, posteriormente filtrados com auxílio de bomba a vácuo utilizado cadinho de vidro com placa porosa tipo gooch porosidade dois forrados com óxido de alumínio. A holocelulose foi seca em a 105 ± 2 °C. Após o período na estufa, o cadinho foi colocado no dessecador até alcançar a temperatura ambiente, em seguida foi pesada e calculada (Eq. 3).

$$\text{Holocelulose (\%)} = \left(\frac{\text{m1}}{\text{m2}}\right) \text{x } 100 \qquad (3)$$

Em que: Holocelulose (%) = Teor de holocelulose, em porcentagem; M1= Massa seca de holocelulose, em gramas; M2 = massa seca da amostra (livre de extrativos), em gramas.

Figura 18: Metodologia para obtenção do teor holocelulose

4.5. COMPOSIÇÃO QUÍMICA IMEDIATA

Esta análise foi determinada de acordo com a Norma: ASTM D1762-84 (2013). O ensaio forneceu resultados a respeito dos materiais voláteis, teor de cinzas e teor de carbono da biomassa analisada. Os resultados foram obtidos na base seca (Ubs).

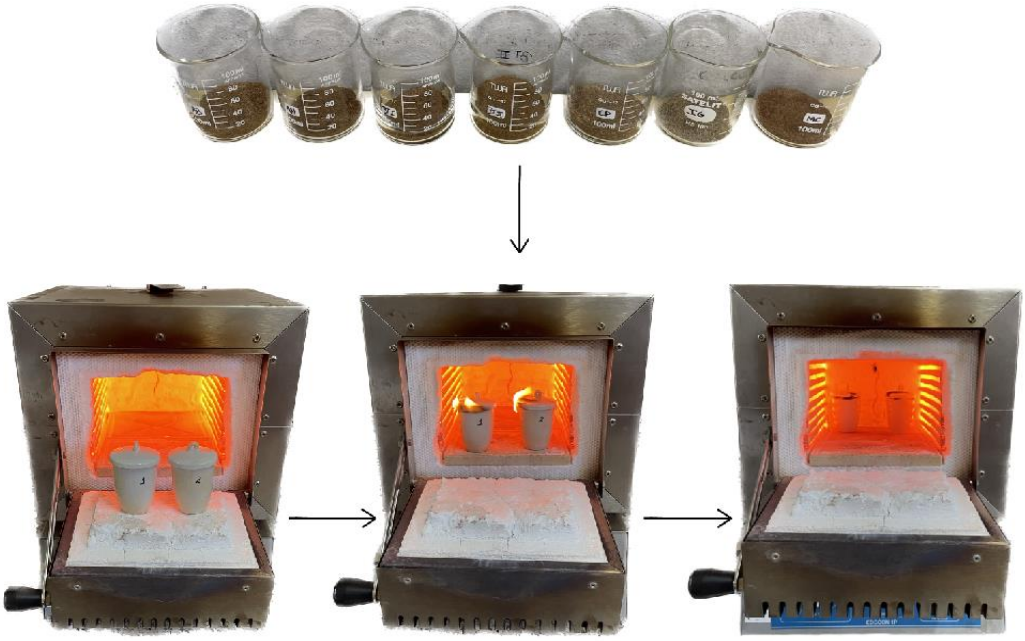
4.5.1. *Teor de materiais voláteis (%, base seca)*

O experimento foi realizado com o auxílio de um forno tipo mufla, modelo F-3000, da marca EDG. Os cadinhos tampados foram submetidos a aquecimento e degradação em uma temperatura estabilizada de 950 °C. Os cadinhos foram acondicionados tampados na extremidade externa da porta da mufla (300 °C) por 2 minutos. E em seguida posicionados na borda tampados do forno mufla por 3 minutos (500 °C). Por fim, posicionados no interior do forno mufla por 6 minutos (Fig. 19). Desta forma, se obteve o teor de materiais voláteis na base seca (Eq. 4).

$$TMV\ (\%) = \frac{Ms - M\ 950}{Ms}\ x\ 100 \qquad (4)$$

Em que: TMV (%) = teor de matérias voláteis, em base seca, em porcentagem; Ms = massa seca da amostra; M950 = massa seca da amostra após o tratamento.

Figura 19: Metodologia de análise de composição imediata



4.5.2. *Teor de cinzas (%, base seca)*

Após o ensaio de materiais voláteis, retornou-se os cadinhos sem tampa para forno mufla com estabilização de temperatura em 750 °C. A amostra permaneceu por seis horas, logo após o teor de cinzas foi obtido por meio da equação 5.

$$\text{TCZ (\%)} = \frac{\text{Mr}}{\text{Ms}} \text{ x } 100 \qquad (5)$$

Em que: TCZ (%) = teor de cinzas, em porcentagem; Ms = massa seca da amostra, em gramas; Mr = massa do resíduo após a incineração a 750 °C, em gramas, após resfriamento.

4.5.3. *Teor de carbono fixo (%, base seca)*

Com a obtenção dos valores referentes às cinzas realizou-se o cálculo de teor de carbono fixo na amostra (Eq. 8).

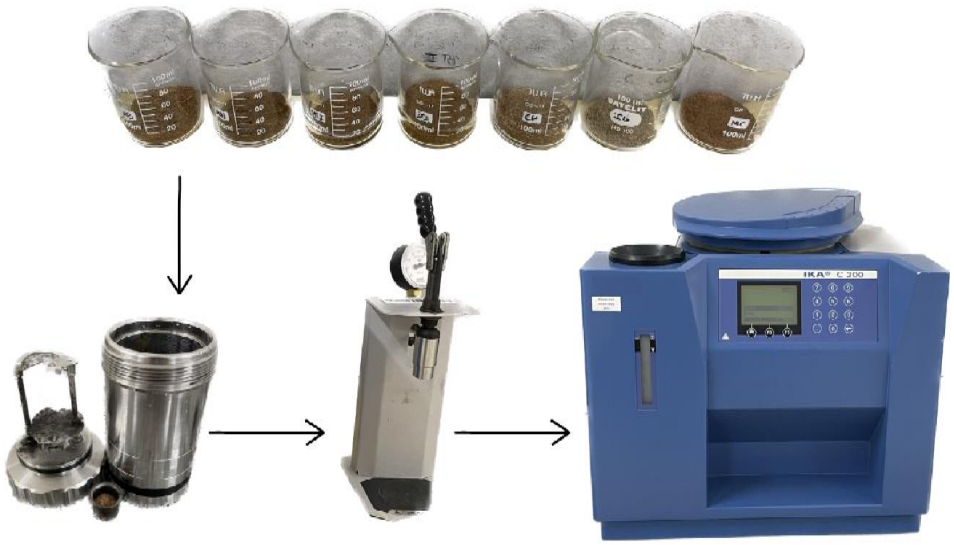
$$\text{TCF} = 100\% - (\text{TMV} + \text{TCZ}) \qquad (6)$$

No qual TCF: Teor de carbono fixo; TCZ: Teor de cinzas e TMV: Teor de material volátil.

4.6. PODER CALORÍFICO SUPERIOR (PCS)

A análise de poder calorífico superior baseou-se na norma ASTM D1762-84 (2013). Utilizou-se 0,500 g de material retido na peneira de 60 *mesh*, seco em estufa a 103±2 °C até massa constante. A determinação foi realizada em triplicata mediante a utilização de bomba calorimétrica IKA C200 (Fig. 20).

Figura 20: Metodologia PCS



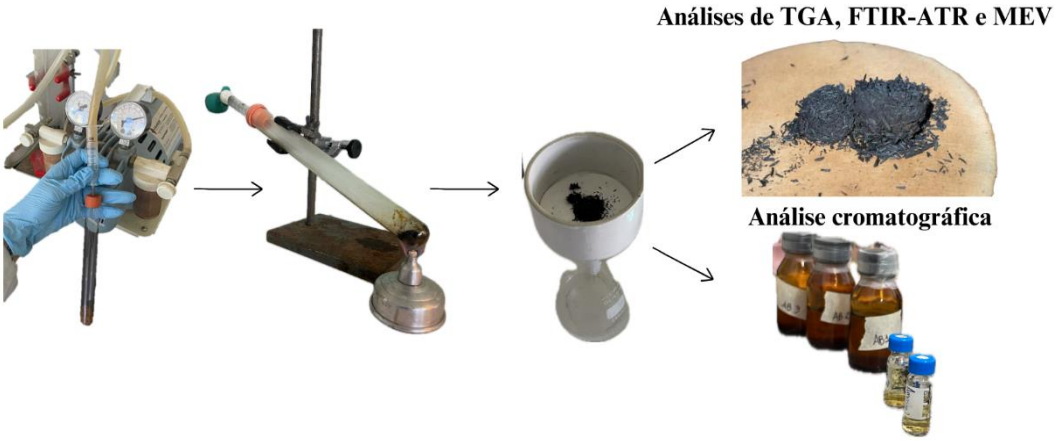
4.7. CARBONIZAÇÃO

Para simulação do processo de carbonização em mini-escala utilizou-se tubo de ensaio vedado com septo, contendo aproximadamente 1,500 g de amostra previamente seca em estufa (± 105 °C durante 24 horas), os ensaios foram realizados em triplicata por espécie. Para garantia da atmosfera com baixo teor de oxigênio, foi realizada a remoção de ar com auxílio de uma bomba a vácuo. O tubo foi aquecido com a chama de lamparina utilizando etanol como combustível até o término do procedimento de carbonização, evidenciado pela redução da liberação de licor pirolenhoso na parede do tubo de ensaio, diminuição do sólido devido a contração da biomassa devido a decomposição térmica e estabilidade do processo, em média os ensaios tiveram duração de 13 minutos e 30 segundos. Ademais, adicionou-se uma seringa com agulha acoplada em um balão sobre o septo de maneira a equilibrar a pressão durante o processo de pirólise (Fig. 21). Não foi realizado monitoramento de temperatura durante o processo. O encerramento do ensaio deu-se por observação visual da completa formação do carvão e da condensação dos gases na forma de licor pirolenhoso. O licor se apresenta como camada depositada na parte interna do tubo, enquanto o carvão vegetal formado fica acumulado ao fundo.

Figura 21: Montagem Experimental para o ensaio de carbonização

Para a extração do licor pirolenhoso, o tubo de ensaio após a carbonização foi lavado com 15,0 mL de etanol e filtrado com auxílio de papel filtro (Fig. 22). A solução foi armazenada para análise por cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massas (GC-MS). O carvão foi seco em estufa ± 105 °C por 24 horas, e caracterizado mediante análises termogravimétricas (TGA), de espectroscopia na região do infravermelho com Transformada de Fourier e Refletância Total Atenuada (ATR-FTIR) e Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV).

Figura 22: Metodologia de carbonização e filtragem do carvão e licor pirolenhoso



4.8. ANÁLISES TERMOGRAVIMÉTRICAS

4.8.1. *Biomassas*

As amostras foram submetidas à análise termogravimétrica empregando termobalança da marca Shimadzu, modelo DTG-60H, com fluxo de 50 mL min^{-1} em atmosfera de oxigênio, taxa de aquecimento de 10 °C/min até a temperatura máxima de 700 °C. Os dados foram processados através do *software Origin* 2018 32 bits.

4.8.2. *Carvões*

As amostras foram submetidas à análise termogravimétrica empregando termobalança da marca Hitachi, modelo STA 7300, com fluxo de 50 mL min^{-1} em uma blenda de atmosfera contendo oxigênio 10 mL min^{-1} e nitrogênio 40 mL min^{-1}, taxa da variação de temperatura de 05 °C/min até a temperatura máxima de 600 °C. Os dados foram processados através do *software Origin* 2018 32 bits.

4.9. ESPECTROSCOPIA NO INFRAVERMELHO COM TRANSFORMADA DE FOURIER

Para as biomassas e carvões, os espectros foram obtidos mediante a utilização de um espectrofotômetro marca Shimadzu modelo IR-Prestige 21, equipado com cristal de reflectância total atenuada (ATR). Os espectros foram obtidos após 32 varreduras, na faixa de 4000 cm^{-1} a 400 cm^{-1} com resolução de 4 cm. Os dados foram processados utilizando o *software Origin.*

4.10. CROMATOGRAFIA GASOSA ACOPLADA À ESPECTROMETRIA DE MASSAS

As análises de CG-MS foram realizadas em cromatógrafo a gás Agilent 7890 acoplado ao espectrômetro de massas MSD 5975, equipado com analisador quadrupolo (DEQUI/CEFET-MG) e coluna cromatográfica HP-5MS, (5% - Fenil) metilpolisiloxano (30 m x 250 μm x 0,25 μm), hélio como gás de arraste (1,4 mL min^{-1}) e injeção de 1μL de solução.

4.10.1. *Extrativos da biomassa*

Para as análises de extrativos, as amostras foram previamente concentradas por um processo de destilação simples. Foi adotado método de análise com uma duração de 17,5 minutos, incluindo um tempo de equilíbrio de 0,5 minutos. O processo foi iniciado à temperatura de 100 °C, alcançando a temperatura máxima de 300 °C. Utilizou-se uma técnica de injeção tipo *split* na proporção de 1:10, e o aquecimento ocorreu a uma taxa de aquecimento de 20 °C por minuto. A análise dos dados foi realizada por meio da aplicação da biblioteca NIST MS *Search* 2.0.

4.10.2. *Licor pirolenhoso da biomassa*

Para a análise dos licores pirolenhosos, foi realizada diluição com 1,0 mL de metanol para 0,5 mL de amostra, ressaltando-se que a amostra já se encontrava, diluída após a filtração com 15 mL de etanol. Empregou-se um método de 23,5 minutos de duração, com tempo de

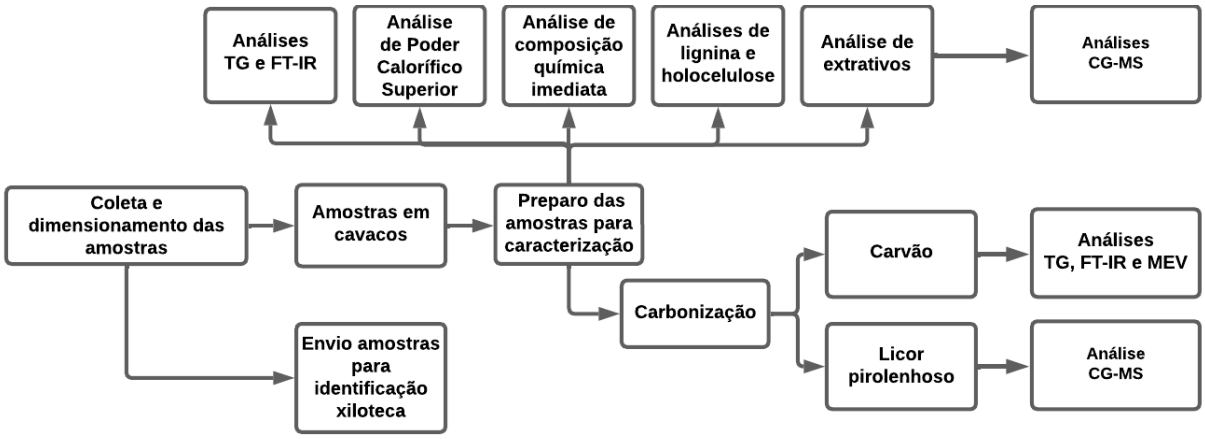
equilíbrio 0,5 min, temperatura inicial de 60 °C a temperatura máxima 300 °C, *split* 1:10, com taxa de aquecimento de 5 °C min^{1} até 120 °C e 15 °C min^{-1} até 300 °C. Os dados foram processados com a biblioteca NIST MS *Search* 2.0.

4.11. MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA

Para as análises de MEV dos carvões vegetais, foi utilizado Microscópio Eletrônico de Varredura MEV Hitachi TM 3000, ao qual foi submetido 0,025 gramas de cada amostra de carvão vegetal das seis espécies avaliadas previamente seca em estufa (± 105 °C durante 6 horas) em triplicata. Adotando a ampliação de x100 e x500.

O projeto de pesquisa foi organizado em fluxograma para facilitar a compreensão das etapas realizadas (Fig. 23).

Figura 23: Fluxograma de caracterização coprodutos da carbonização



5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

As amostras das biomassas florestais estudadas neste trabalho foram caracterizadas em termos de teores de extrativos, lignina, holocelulose, composição química imediata, poder calorífico, termogravimetria e espectroscopia, espectroscopia de infravermelho. Quanto aos carvões vegetais, estes foram submetidos às análises de termogravimetria, microscopia eletrônica de varredura e espectroscopia e microscópio eletrônico de varredura. Por fim, os extrativos e licores pirolenhosos estudados foram avaliados quanto à composição orgânica empregando-se cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massas. Os resultados obtidos a partir das análises supracitadas serão apresentados e discutidos nas seções seguintes.

5.1. Teores de extrativos

Os extrativos são considerados moléculas de alta complexidade, com capacidade de potencializar o valor energético da biomassa, exercendo um impacto positivo no rendimento energético e no equilíbrio de massa durante o processo de pirólise (GOUVÊA *et al*., 2015; MENUCELLI *et al*., 2019). Na Tabela 2 são apresentados os teores de extrativos encontrados nas espécies de madeira estudadas empregando os solventes acetona (propanona) e hexano, além dos teores de extrativos totais.

Tabela 2: Teores de extrativos obtidos das biomassas residuais amazônicas estudadas em diferentes solventes de extração

Espécie	Extrativos totais (Ubs %)	Extrativos em Acetona (Ubs %)	Extrativos em Hexano (Ubs %)
***Ecclinusa spp*. (Abiurana)**	4,0 ± 0,1[a]	2,1 ± 0,2 [a]	2,0 ± 0,3
***Pouteria cf. Oblanceolata* Pires (Abiu-ucuubarana)**	6,3 ± 0,2[a]	2,4 ± 0,5 [b]	1,6 ± 0,1
***Protium cf. altissimum* (Aubl.) Marchand (Breu-barrote)**	12,8 ± 0,2[b]	5,5 ± 0,4 [c]	1,5 ± 1,6
***Goupia glabra* Aubl. (Cupiúba)**	6,2 ± 0,1[c]	3,7 ± 0,2 [d]	2,0 ± 0,6
***Inga spp.* (Ingá)**	3,7 ± 0,4[d]	1,2 ± 0,3 [e]	1,6 ± 0,2
***Manilkara spp.* (Maçaranduba)**	9,4 ± 0,1[e]	6,7 ± 0,2[f]	1,2 ± 0,3

Letras diferentes significam valores estatisticamente distintos segundo ANOVA *one-way*, teste Tukey, P<0,01.

A espécie *Protium cf. altissimum* (Aubl.) apresentou o maior teor médio de extrativos totais de 12,8%. As menores médias foram registradas para as espécies *Inga* spp. 3,4% e *Ecclinusa* spp. 4,0%. Para as análises realizadas utilizando acetona como solvente, a espécie *Manilkara* spp. se destacou com o teor de 6,7%, seguido por *Protium cf. altissimum* (Aubl.) 5,5% e *Goupia glabra* Aubl. 3,7%, e apresentou as menores médias para as espécies *Inga* spp. 1,2%, *Ecclinusa* spp. 2,1%. Em questão dos teores de extrativos em Hexano como solvente, a espécie *Ecclinusa* spp. (2,0%) e *Goupia glabra* Aubl. 2,0% apresentaram os maiores teores

médios. E os menores teores médios foram observados em *Inga* ssp. 1,4% e *Manilkara* spp. 1,2%.

A escolha de diferentes solventes se deve ao potencial de extração polar e apolar, para conseguir os extratos dos extrativos lipofílicos e hidrofílicos. De acordo com o trabalho realizado por Castro *et al*. (2009), os extrativos apresentam função significativa na pirólise de biomassas, justificada pelo poder calorífico desses compostos. Em complementação, Medeiros *et al*. (2014), relata que os extrativos das biomassas é um parâmetro fundamental para a fabricação de carvão vegetal, visto que eleva a densidade básica da biomassa, em consequência, propicia a produção de carvão vegetal com maior densidade.

Diversos trabalhos relatam a utilização de madeiras com elevados índices de extrativos totais durante o procedimento de carbonização, o que auxilia em maiores rendimentos de carvão vegetal (PIMENTA *et al*., 2018; ZANUNCIO *et al*., 2019). Lima *et al*., (2020b), destacam que a presença de elevados níveis de extrativos na madeira é vantajosa, uma vez que contribui para o aumento do rendimento gravimétrico do carvão vegetal e do conteúdo de carbono e hidrogênio retidos no carvão.

Morais *et al*. (2021), investigaram biomassas residuais amazônicas para as espécies *Manilkara huberi* (Ducke) A. Chev, *Bagassa guianensis* Aubl, *Andira inermis* (W.Wright) DC, *Cedrela* sp., *Caryocar villosum* (Abul.) Pers., *Hymenaea* sp., *Handroanthus* sp., *Cariniana micrantha* Ducke, *Ocotea cinerea* van der Werff, *Buchenavia grandis* Ducke, *Buchenavia grandis* Ducke, *Dinizia excelsa* Ducke, *Vatairea guianensis* Aubl., *Iryanthera* sp., *Hymenolobium excelsum* Ducke, provenientes de exploração de madeira destinada à geração de energia, e obtiveram valores de extrativos totais na faixa de 4,7% a 21,7%. Lima *et al*. (2020a) reportaram valores de 1,8% a 17,9% para extrativos totais de biomassas residuais amazônicas provenientes de manejo florestal sustentável. Os dados neste trabalho, apresentam teores de extrativos totais entre 3,4% e 12,8%, condizentes com os teores obtidos nos dois estudos citados acima.

Quanto aos teores de extrativos parciais para espécies amazônicas, um trabalho realizado por Medeiros *et al.* (2021), avaliou o percentual utilizando a acetona como solventes orgânicos. Os pesquisadores encontraram para as espécies os valores para as espécies *Manilkara huberi* (0,19%), *Bowdichia* sp. (3,73%), Caryocar villosum (0,08%), *Piptadenia suaveolens* (1,82%). Os valores próximos dos percentuais encontrados neste estudo variam de 1,2% a 6,7%.

Por outro lado, Protásio *et al*. (2021) apresentaram novos *insights* sobre a influência do teor de extrativos e dos monômeros guaiacil (G)/siringil (S) da macromolécula de lignina do

processo de pirólise para genótipos de *Eucalyptus*, o estudo demonstrou que o aumento do conteúdo de extrativos solúveis em acetona e a predominância de unidades (G) na macromolécula de lignina, contribuíram para uma maior estabilidade térmica e aumento do tempo de combustão da lenha de eucalipto.

5.2. Lignina e Holocelulose

A presença significativa de lignina, constituinte que exibe uma quantidade superior de carbono em sua composição molecular, apresenta-se como fator determinante para o aumento nos rendimentos dos carvões vegetais durante o processo de pirólise (PEREIRA *et al.*, 2013; ARAÚJO *et al.*, 2016). Na Tabela 3 estão demonstrados os teores de lignina encontrados nas espécies de madeira estudadas, além dos teores de holocelulose.

Tabela 3: Teores de lignina e holocelulose para as biomassas residuais amazônicas estudadas

Espécie	Lignina (Ubs %)	Holocelulose (Ubs %)
***Ecclinusa spp*. (Abiurana)**	24,9 ± 0,9[a]	23,9 ± 1,8[ab]
***Pouteria cf. Oblanceolata* Pires (Abiu-ucuubarana)**	25,6 ± 1,8[a]	23,7 ± 0,2[ab]
***Protium cf. altissimum* (Aubl.) Marchand (Breu-barrote)**	30,1 ± 0,8[b]	26,8 ± 0,5[a]
***Goupia glabra* Aubl. (Cupiúba)**	29,5 ± 0,6[b]	23,2 ± 1,8[ab]
***Inga spp.* (Ingá)**	26,7 ± 0,8[a]	24,7 ± 0,9[b]
***Manilkara spp.* (Maçaranduba)**	30,7 ± 0,6[b]	20,1 ± 0,5[b]

Letras diferentes significam valores estatisticamente distintos segundo ANOVA *one-way*, teste Tukey, P<0,0001.

A espécie *Manilkara* spp. demonstrou o maior teor médio de lignina 30,7%, seguida pela espécie *Goupia glabra* Aubl. 30,4%, em contramão a espécie as espécies *Inga* spp. 24,7% e *Pouteria cf. Oblanceolata* Pires 25,6% (Tab. 4) apresentaram os menores teores. Madeiras com elevados teores de lignina tendem a apresentar maior estabilidade térmica devido à matriz aromática, assim, influenciando de maneira positiva o rendimento do processo de carbonização (ASSIS *et al*., 2012).

A holocelulose, é caracterizada como os carboidratos totais existentes nas células vegetais, isto é, compreende os percentuais de celulose e hemicelulose (TAHERZADEH *et al*., 2007). Para os valores de holocelulose a espécie *Protium cf. altissimum* (Aubl.) Marchand apresentou o maior teor médio com 26,8%, em contrapartida a espécie *Manilkara* spp. evidenciou o menor teor médio com 20,1 %.

Santana *et al*. (2007) avaliaram a composição química de 36 espécies amazônicas. No que se refere aos teores de lignina, os autores observaram variações de 26,0% a 35,6%, e quanto aos teores de hemicelulose, obtiveram teores de 15,8% a 25,8%.

Morais *et al*. (2021) caracterizaram biomassas residuais amazônicas com enfoque na geração de energia. Os percentuais de lignina para espécies amazônicas apresentaram teores variando de 24,2% para a espécie *Vatairea guianensis* a 33,9% para a espécie *Handroanthus sp*, demonstrando a variabilidade do teor de lignina. Dados semelhantes foram observados por Nascimento *et al*. (2021), que realizaram a caracterização de três espécies amazônicas do gênero matá-matá com teor de lignina para *Eschweilera coriacea* (31,14%) *Eschweilera odora* (28,89%) e *Eschweilera truncata* (31,21%).

O estudo realizado por Bimestre *et al*., (2023), avaliou as características físico-químicas de 21 espécies de madeiras amazônicas, o principal objetivo foi explorar o potencial energético da biomassa estudada, sendo a média para o teor de lignina de 30,0%, os teores de lignina variaram entre 26,8% e 33,9%, com um desvio padrão de 1,7%.

Pode-se verificar, portanto, que os teores de lignina obtidos neste trabalho se encontram condizentes com os encontrados por Santana *et al*. (2007), Morais *et al*. (2021), Nascimento *et al*. (2021) e Bimestre *et al*. (2023). Desta forma, verifica-se que as madeiras amazônicas estudadas apresentam teores de lignina propícios à produção de carvão vegetal.

5.3. Composição Química Imediata

Conforme destacado por GARCÍA *et al.* (2012), a proporção de componentes voláteis na biomassa se relaciona diretamente com a presença de gases inflamáveis, tais como hidrogênio, hidrocarbonetos leves e alcatrão, bem como gases não inflamáveis, incluindo água, monóxido de carbono e dióxido de carbono. Na Tabela 4 estão apresentados os teores de composição química imediata encontrados nas espécies de madeira estudadas.

Tabela 4: Composição química imediata das espécies amazônicas estudadas

Espécie	TMV (%)	TCF (%)	TCZ (%)
***Ecclinusa spp*. (Abiurana)**	76,9 ± 3,7[ac]	21,9 ± 3,9[ac]	1,0 ± 0,2
***Pouteria cf. Oblanceolata* Pires (Abiu-ucuubarana)**	77,7 ± 0,9 [ac]	21,7 ± 1,2 [ac]	1,1 ± 0,4
***Protium cf. altissimum* (Aubl.) Marchand (Breu-barrote)**	77,5 ± 0,6 [ac]	21,3 ± 0,2 [ac]	1,1 ± 0,5
***Pouteria cf. oblanceolata* Pires (Abiu-ucuubarana)**	77,5 ± 0,3 [ac]	20,6 ± 0,4 [ac]	1,8 ± 0,4
***Goupia glabra* Aubl. (Cupiúba)**	82,6 ± 0,8 [bc]	16,3 ± 0,5 [bc]	1,0 ± 0,3
***Inga spp.* (Ingá)**	79,5 ± 0,9 [c]	19,3 ± 0,7 [c]	1,1 ± 0,2
***Manilkara spp.* (Maçaranduba)**	82,2 ± 1,3 [bc]	16,8 ± 1,0 [bc]	0,9 ± 0,3

Letras diferentes significam valores estatisticamente distintos segundo ANOVA *one-way*, teste Tukey, P<0,0001. Umidade p=0,1463 não apresentou diferença estatística. TCZ (%) p=0,071 não apresentou diferença estatística.

Foram observados teores de materiais voláteis (TMV) (77% – 83%), teores de cinzas (TCZ) (0,95% - 1,80%) e teor de carbono fixo (TCF) (16,34% - 21,98%). Verificou-se que os teores de material volátil (TMV) e os teores de carbono fixo (TCF) para as espécies de *Ecclinusa* spp. (Abiurana), *Pouteria cf. Oblanceolata* Pires (Abiu-ucuubarana), *Protium cf. altissimum* (Aubl.) Marchand (Breu-barrote), *Pouteria cf. oblanceolata* Pires (Abiu-ucuubarana), *Goupia glabra* Aubl. (Cupiúba) são estatisticamente diferentes das espécies *Inga* spp. (Ingá) e *Manilkara* spp. (Maçaranduba).

Ademais, para o TMV, a espécie *Inga* spp. (Ingá) é estatisticamente igual a *Ecclinusa spp*. (Abiurana), *Pouteria cf. Oblanceolata* Pires (Abiu-ucuubarana), *Protium cf. altissimum* (Aubl.) Marchand (Breu-barrote), *Pouteria cf. oblanceolata* Pires (Abiu-ucuubarana), *Goupia glabra* Aubl. (Cupiúba) e *Manilkara* spp.

Lima *et al*. (2020b), observou faixa de 76,7% a 82,8% de matéria volátil para exemplares de resíduos lenhosos amazônicos. Ressalta-se que o estudo elaborado por esses autores apresenta as espécies *Goupia glabra* Aubl., *Manilkara elata*, *Protium altissimum* (Aubl.) Marchand, *e Pouteria oblanceolata* Pires. Tais espécies também foram estudadas no presente trabalho, no qual as espécies com teores mais elevados de materiais voláteis foram (*Manilkara spp*.) com 82,2%, (*G. glabra*) com 82,6%, e (*Inga spp*.) (79,5%). Tais valores são condizentes com os resultados obtidos no estudo de Lima *et al*. (2020b).

Dentre os processos termoquímicos aplicados ao tratamento da biomassa, a pirólise é o mais notável. Esse processo consiste na degradação irreversível da matéria-prima na ausência de oxigênio, resultando na produção de compostos de menor cadeia, abrangendo uma fração volátil, como gases, vapores e componentes de alcatrão; uma fração sólida conhecida como bio-carvão vegetal; e uma fração composta de gases não-condensáveis (VAN DE VELDEN *et al*., 2010).

Nesse processo, parte da matéria-prima é transformada em carbono, enquanto outra parte sofre oxidação e hidrogenação, levando à formação de diversos compostos, como fenólicos, carboidratos, álcoois, aldeídos, cetonas e ácidos carboxílicos. A desintegração das macromoléculas nesse processo envolve uma série de reações, incluindo desidratação, desidrogenação, aromatização, coqueificação e condensação (BRIDGWATER, 2012; DEMIRBAS, 2011; KLASS, 1998).

A madeira destinada a ser utilizada como combustível deve apresentar um teor de materiais voláteis entre 75% e 85%. Isto posto, todas as espécies analisadas neste estudo encontram-se dentro dos limites citados na literatura. (BRAND, 2010).

O carbono fixo é responsável pela queima lenta em combustíveis, sendo favorável aos processos energéticos (ELOY *et al.*, 2016), contribuindo beneficamente para maior eficiência energética devido diminuição do tempo de residência do combustível nos dispositivos de combustão (SILVA *et al.*, 2015).

A faixa de teores de carbono fixo (TCF) encontrada varia de 17% a 22%. Os autores Silva *et al.* (2014) encontraram uma variação de valores entre 17% a 19% para espécies amazônicas destinadas à produção de energia. Lima *et al.* (2020b) observou variação de 16,5% a 22,0% para carbono fixo para exemplares de madeira nativa amazônica. Com isso, fica demonstrado que os resultados do presente trabalho são congruentes com os já relatados na literatura.

Lima e colaboradores (2020b) identificaram uma variação de 0,3% a 2,5% nos teores de cinzas em amostras de madeira nativa da Amazônia. Esses achados são consistentes com os resultados obtidos. A faixa de porcentagens de teores de cinzas (TCZ) encontradas refere-se aos valores de 0,95% a 1,80%. Ao estudar propriedades químicas da madeira de espécies amazônicas para fins energéticos, Moutinho *et al.* (2016), também encontraram diferenças significativas nos teores de cinzas entre as espécies estudadas, com valores variando de 0,12 a 1,1%. Os pesquisadores observaram que o grupo de espécies que demonstrou maior percentual de cinzas foi (*P. oblanceolata*) (1,80%), (*P. oblanceolata*) (1,17%) e (*P. altissimum*) (1,16%).

O teor de cinzas deve ser inferior a 5% para ser considerado adequado para a produção de carvão vegetal a partir da madeira (BRAND *et al.*, 2015). Todas as espécies analisadas nesse estudo apresentaram teores de cinzas inferiores a 2%, o que confirma a viabilidade de seu uso na produção de energia, tanto como lenha para combustão quanto no processo de carbonização na produção de carvão vegetal. Os resultados encontrados estão alinhados com os achados de Pereira *et al*. (2020), que relataram teores de cinzas em torno de 1% para biomassas lenhosas amazônicas. Ademais, ainda de acordo com estudos realizados por Brand *et al.* (2013), no qual, os autores afirmam que o incremento do teor de cinzas está relacionado ao incremento do teor de voláteis.

À vista dos fatos mencionados, afirma-se que as espécies estudadas apresentam resultados condizentes com a literatura no que tange a valores adequados à destinação como insumo na produção de carvão vegetal.

5.4. Poder Calorífico Superior

O poder calorífico é definido como o quantitativo de energia liberado na forma de calor por meio da combustão de uma unidade de massa da madeira (JARA, 1989). Na Tabela 5 estão apontados os valores de poder calorífico superior encontrados nas espécies de madeira estudadas.

Tabela 5: Poder Calorífico Superior das espécies amazônicas estudadas

Espécies		**Poder Calorífico Superior (kcal kg^{-1})**	**Poder Calorífico Superior (MJ kg^{-1})**
Nome científico	**Nome comercial**		
Ecclinusa spp.	Abiurana	4677 ± 4,0^{abc}	19,58 ± 0,19^{abc}
***Pouteria cf. oblanceolata* Pires**	Abiu-ucuubarana	4777 ± 5,0^{a}	20,00 ± 0,23^{a}
***Protium cf. altissimum* (Aubl.) Marchand**	Breu-barrote	4711 ± 3,0 ^{ac}	19,74 ± 0,13^{ac}
Goupia glabra	Cupiúba	4621 ± 3,0^{c}	19,34 ± 0,15^{c}
Inga spp.	Ingá	4661 ± 1,0^{c}	19,51 ± 0,07^{c}
Manilkara elata	Maçaranduba	4675 ± 1,0^{c}	19,57 ± 0,04^{c}

Letras diferentes significam valores estatisticamente distintos segundo ANOVA *one-way*, teste Tukey, P<0,0001.

De acordo com a análise de ANOVA *one-way*, o teste *Tukey*, P<0,0001, a espécie *Ecclinusa spp*, é estatisticamente semelhante a todas as espécies. A espécie *Pouteria cf. oblanceolata* Pires é estatisticamente diferente das espécies *Goupia glabra*, *Inga spp*., Manilkara elata. A espécie *Protium cf. altissimum* (Aubl.) Marchand difere estatisticamente da espécie Pouteria cf. oblanceolata Pires. A espécie *Pouteria cf. oblanceolata* Pires apresenta divergência estatística com as espécies *Pouteria cf. oblanceolata* Pires e *Protium cf. altissimum* (Aubl.) Marchand. A espécie *Goupia glabra* apresenta diferença estatística com a *Pouteria cf. oblanceolata* Pires.

Ressalta-se que o estudo realizado por Lima *et al.* (2020b) evidencia valores de poder calorífico superior para as espécies de *Goupia glabra* 20,0 MJ kg^{-1} ± 0,3, *Manilkara elata* 19,9 MJ kg^{-1} ± 0,1, *Protium cf. altissimum (Aubl.) Marchand* 19.9 MJ kg^{-1} ± 0.5, *Pouteria cf. oblanceolata Pires* 20.0 MJ kg^{-1} ± 0.2. À vista dos dados mencionados, os resultados obtidos estão de acordo com a literatura.

Estudo realizado por Bimestre *et al*. (2023), avaliou 21 espécies nativas do bioma amazônico, com foco para o aproveitamento energético e evidenciou valores de poder calorífico superior com variações de 16,83 a 18,59 (MJ kg^{-1}), o que corresponde a cerca de 4019,58 e 4439,93 kcal kg^{-1}, os resultados obtidos estão de acordo com o estudo.

De acordo com Quirino *et al.* (2005), foram registrados valores de poder calorífico superior variando de 3350 kcal/kg^{-1} a 5260 kcal/kg^{-1} para mais de cem espécies brasileiras. Entre as espécies amazônicas, como *Dypteryx odorata*, *Cedrela odorata* e *Clarisia racemosa*, foi observado um poder calorífico superior médio de 4754 kcal kg^{-1}.

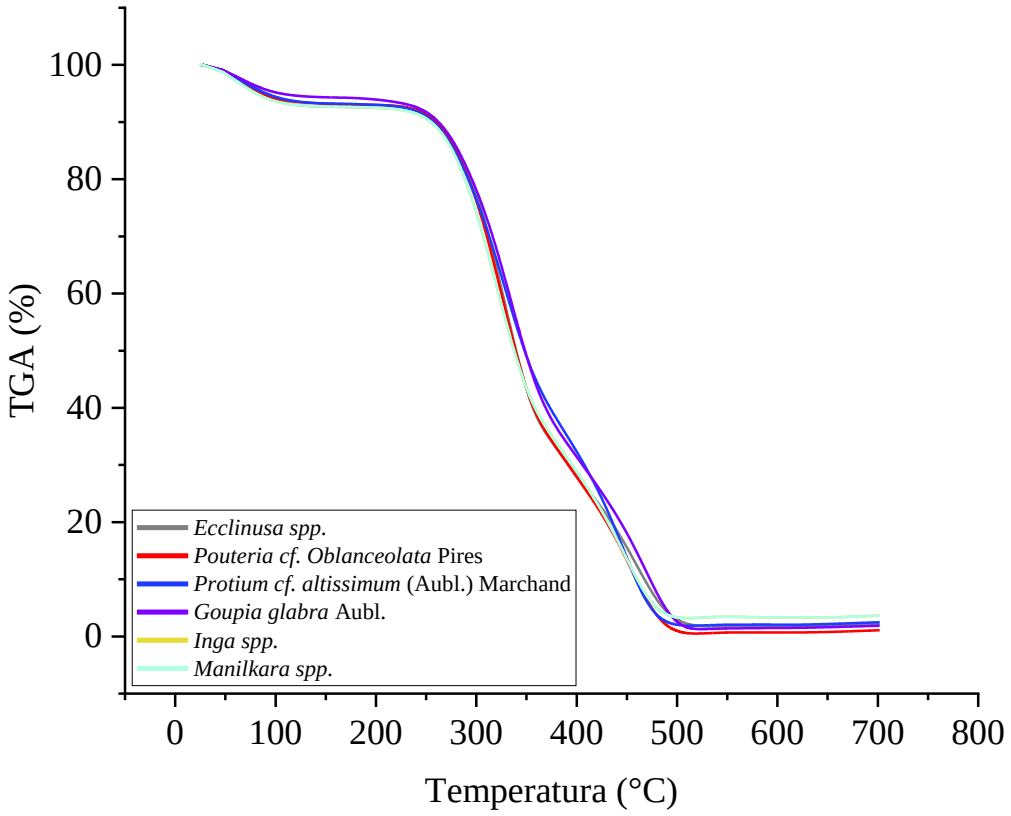
5.5. Termogravimetria

A termogravimetria (TG) emerge como uma técnica de grande relevância na investigação e comparação de eventos térmicos inerentes ao processo de decomposição da biomassa, assim como na análise de sua estabilidade térmica e da quantidade de massa residual resultante (SANTOS *et al*., 2012).

5.5.1. Biomassas

O estágio inicial da combustão ocorre entre as temperaturas de 230 °C a 250 °C, apresentando ignição na temperatura de 250 °C e a maior perda de massa (60,0%) ocorrendo em torno de 340 °C. Durante essa etapa, há a liberação dos materiais voláteis, resultantes da decomposição da hemicelulose e celulose, além da decomposição parcial da lignina (Fig. 24).

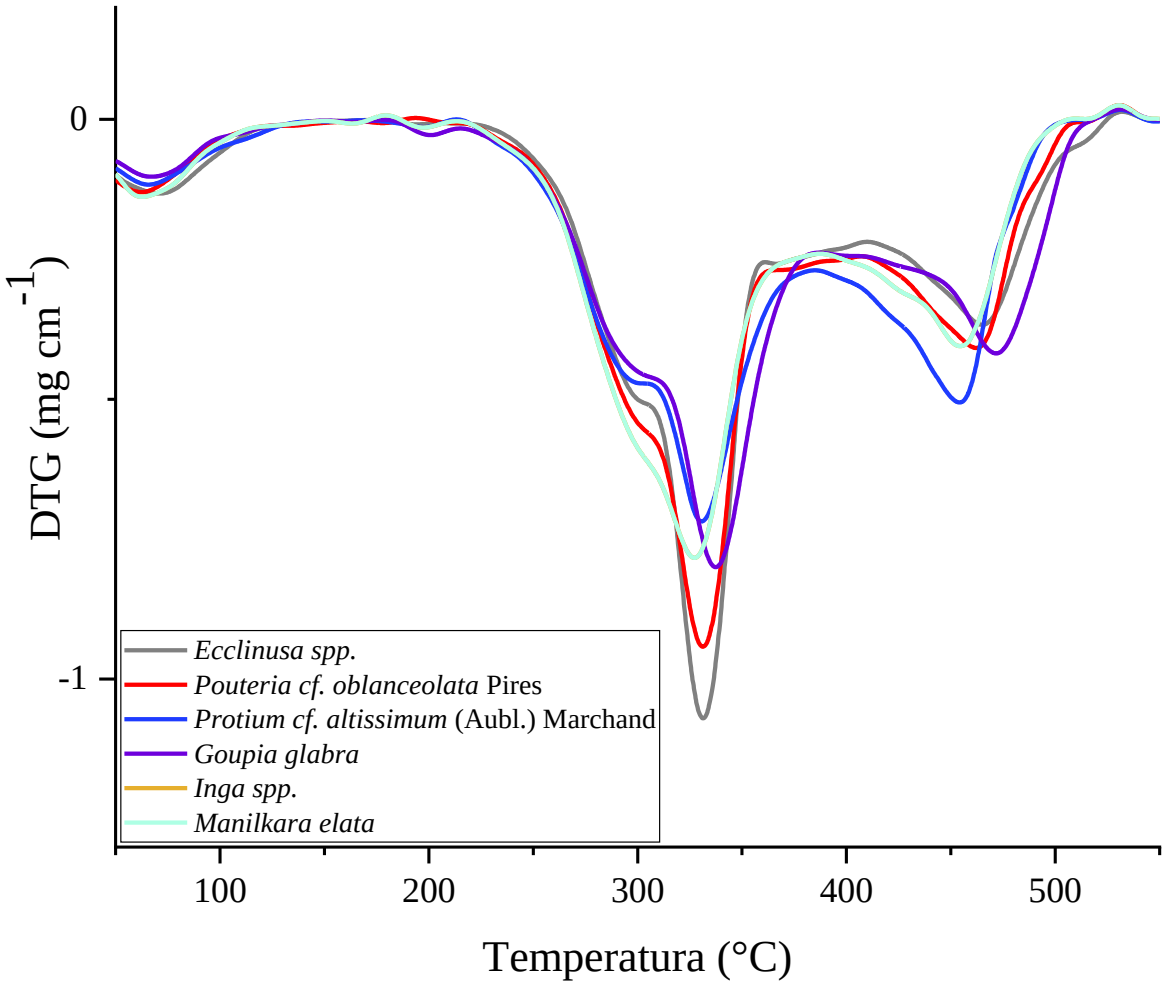
Figura 24: Curvas de TGA das espécies amazônicas estudadas, em atmosfera de oxigênio



Nas temperaturas próximas a 450 °C observa-se que a degradação térmica da madeira diminuiu, principalmente devido à degradação da lignina. Nessa temperatura, a celulose e as

hemiceluloses, que são os principais componentes químicos da madeira, já foram degradadas (PEREIRA *et al.*, 2013). Observa-se que a perda de massa da madeira é significativa devido à queima dos voláteis na temperatura de 300 °C a 350 °C gerados pela degradação térmica de estruturas de massa molecular elevada, que são os principais componentes químicos da madeira, como as hemiceluloses e a celulose gerando gases energéticos comburentes (Fig. 25).

Figura 25: Curvas de Derivada Primeira (DTG) das espécies amazônicas estudadas em blenda de atmosfera de nitrogênio e oxigênio

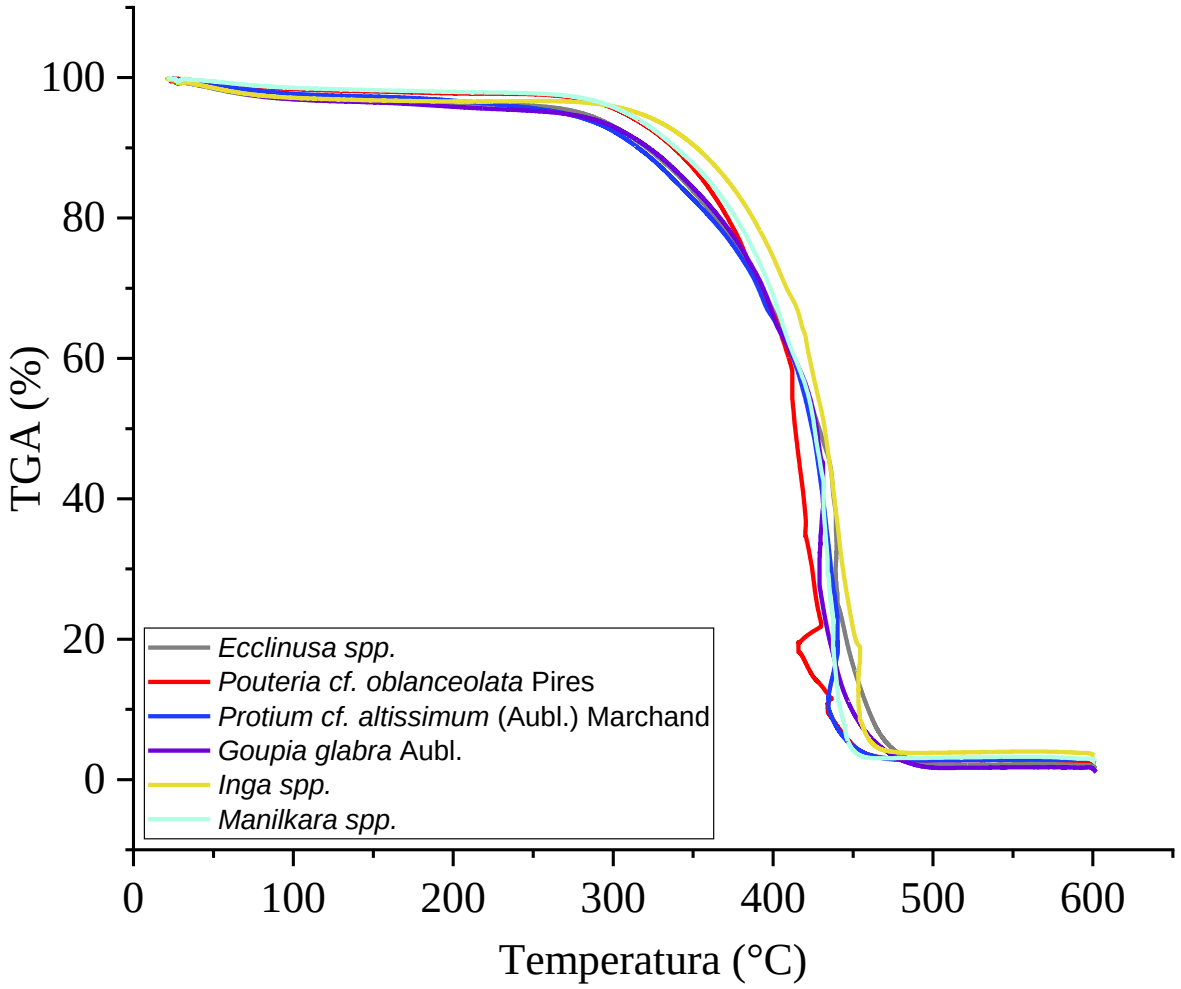


A temperatura na qual ocorreu a máxima taxa de perda de massa foi de aproximadamente 340 °C, o que é consistente com as observações feitas por Silva *et al.* (2021) para madeiras de *Tachigali vulgaris* e Protásio *et al.* (2019) para madeira de eucalipto, em que os picos de degradação máxima ocorreram entre 290 °C e 297,5 °C.

5.5.2. Carvões vegetais

Verificou-se que, nas seis espécies estudadas, a termodegradação do carvão ocorreu em eventos térmicos delineados com padrões de combustão semelhantes. O estágio inicial da combustão foi observado entre as temperaturas de 250 °C a 350 °C, apresentando ignição na temperatura de 350 °C e a maior perda de massa (60,0%) ocorrendo em torno de 430 °C (Fig. 26).

Figura 26**:** Curvas de TGA dos carvões das espécies amazônicas estudadas em blenda de atmosfera de nitrogênio e oxigênio

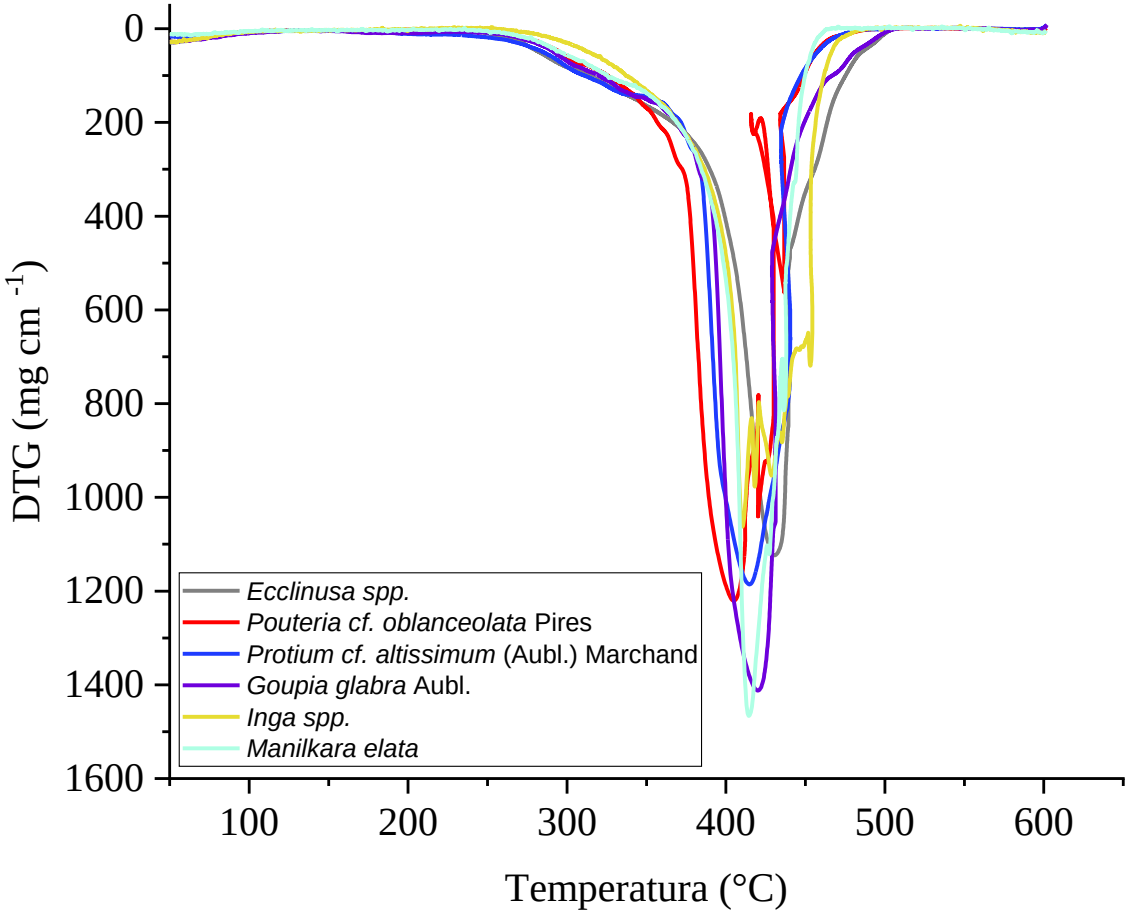


Castro *et al*. (2019), estudaram as características termogravimétricas do carvão proveniente da espécie Maçaranduba, mais precisamente *Manilkara huberi*. A TGA realizada demonstrou comportamento similar a das espécies estudadas, com estágio inicial da combustão ocorrendo entre as temperaturas de 350 °C a 400 °C, maior perda de massa (55,0%) ocorrendo em torno de 500 °C.

A maior perda de massa ocorreu na temperatura de 430 °C (Fig. 27), e se sucede em decorrência da degradação da celulose residual e de frações da lignina, em que a decomposição

da lignina não pode ser identificada por um pico ou faixa específica, pois essa macromolécula se decompõe em uma grande faixa de temperatura, com apenas uma pequena porção se decompondo em temperaturas abaixo de 450 °C.

Figura 27: Curvas de Derivada Primeira (DTG) dos carvões das espécies amazônicas estudadas em blenda de atmosfera de nitrogênio e oxigênio

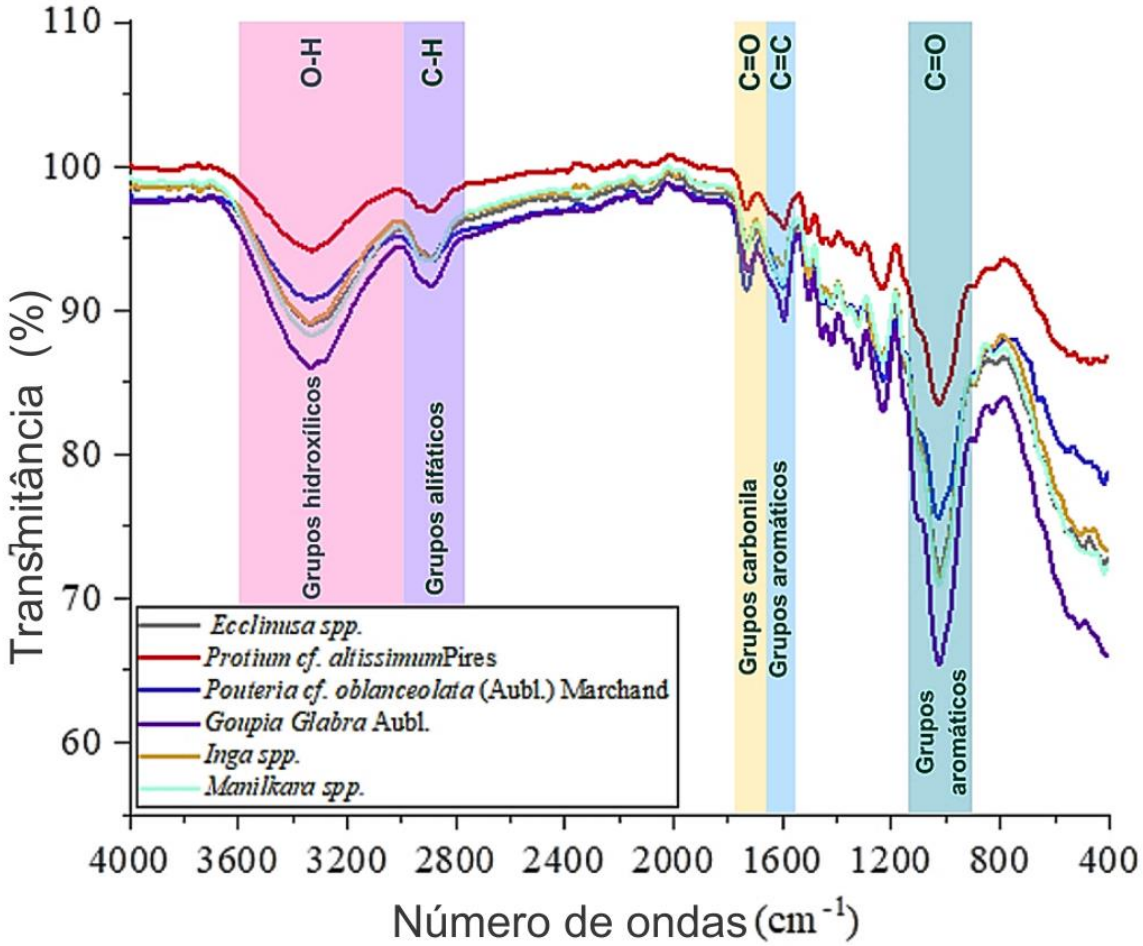


5.6. Espectroscopia na região do Infravermelho

5.6.1. Biomassa

A espectroscopia no infravermelho permitiu verificar os grupos funcionais presentes nas espécies analisadas. Destaca-se que as espécies se caracterizam com comportamento similar, conforme pode ser visto na Figura 28.

Figura 28: Espectros na região do Infravermelho com Refletância Total Atenuada e Transformada de Fourier (ATR-FTIR) das madeiras nativas amazônicas estudadas



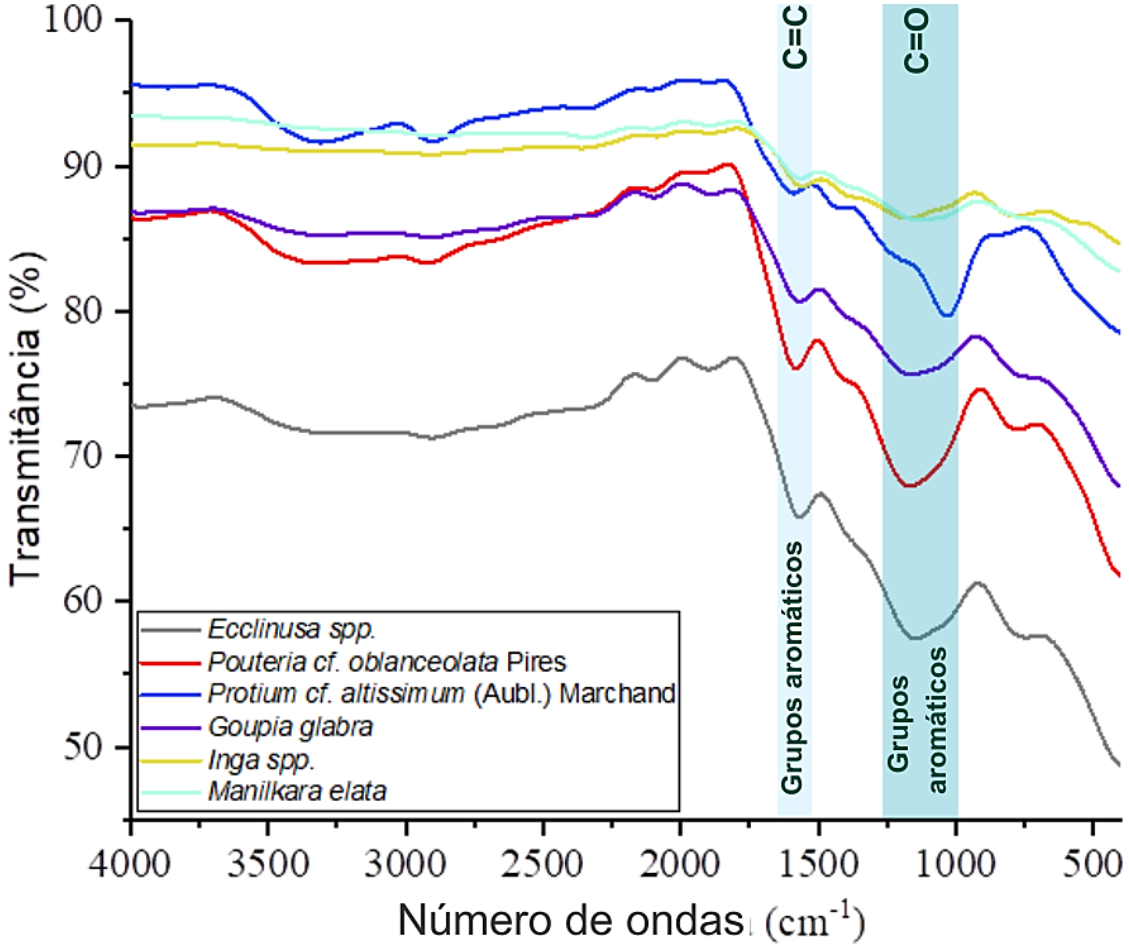
Desta forma, foi possível identificar uma grande banda em 3400 cm^{-1}, que corresponde à presença de grupos hidroxila conforme descrito por Jin *et al.* (2015). A banda de 2900 cm^{-1}, em todos os espectros está relacionada com o estiramento ou deformação axial de ligação C-H de grupos alifáticos na celulose e hemicelulose como descrito por Pednekar *et al.* (2013). A banda de 1740 cm^{-1} apresentada nos espectros corresponde ao estiramento ou deformação axial da ligação C=O (grupo carbonila) (IBRAHIM *et al.*, 2010).

Ademais, a banda de 1600 cm^{-1} está relacionada às ligações de grupos aromáticos representadas pela ligação C=C (COUTO *et al.*, 2012). Ressalta-se a expressiva intensidade dos picos em 1026 cm^{-1}, os quais demonstram o estiramento simétrico C=O nas xilanas, derivado de carboidratos encontrados na hemicelulose (KUO *et al.*, 1988).

5.6.2. Carvão

Também foi realizada a análise dos carvões por FTIR-ATR, com o intuito de avaliar os grupos funcionais remanescentes no carvão vegetal após a carbonização. Na Figura 29 são apresentados os espectros FTIR-ATR para os carvões obtidos em escala laboratorial das madeiras de espécies nativas amazônicas estudadas neste trabalho. Os espectros dos carvões apresentaram bandas de absorção atribuídas à deformação axial da ligação do grupo carbonila C=O; 1600 cm^{-1}.

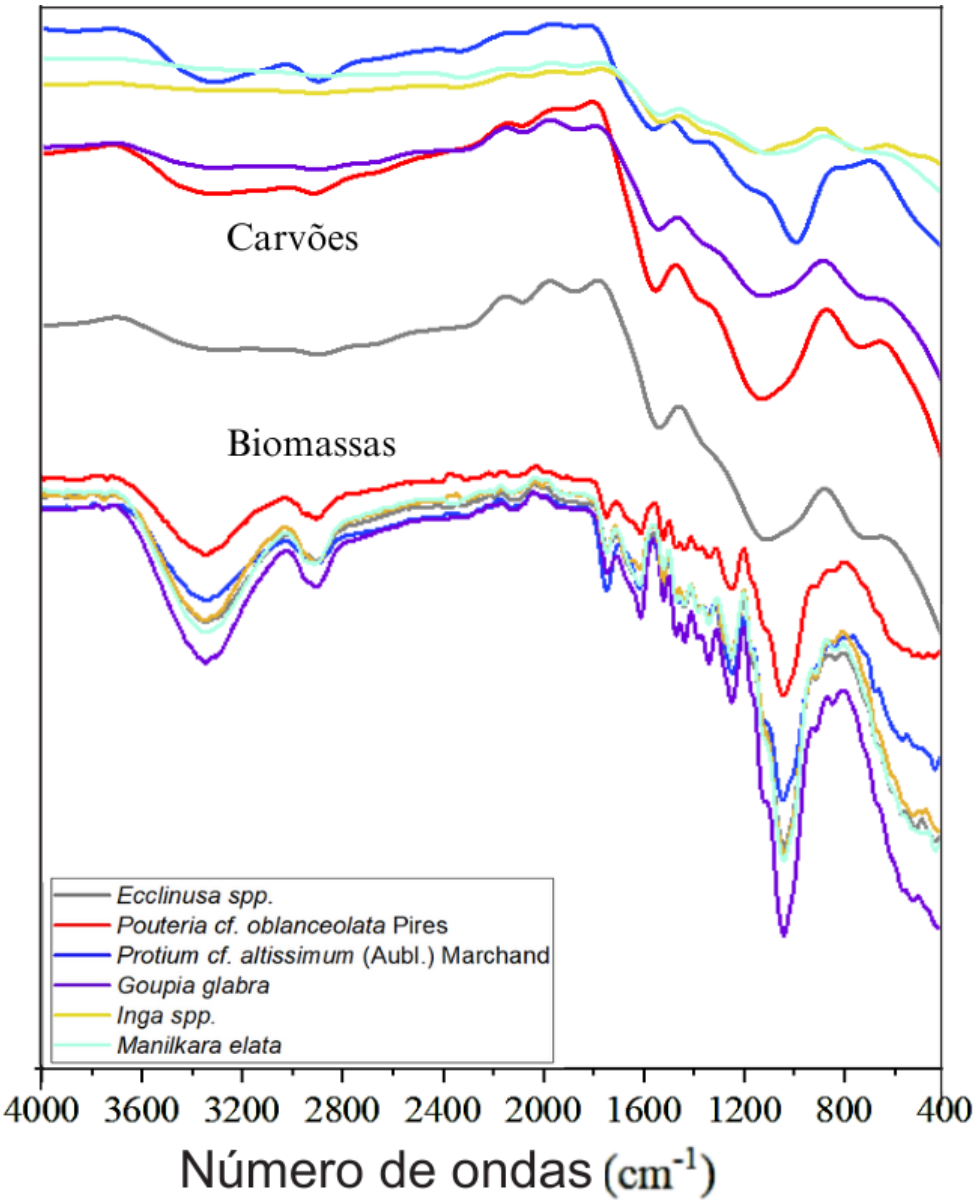
Figura 29: Espectros na região do Infravermelho com Refletância Total Atenuada e Transformada de Fourier dos carvões das madeiras nativas amazônicas



A espectroscopia na região do infravermelho foi empregada para examinar o comportamento da biomassa em alterações na estrutura química ou na transformação de grupos funcionais durante o processo de tratamento térmico. Essas modificações são atribuídas à decomposição térmica da hemicelulose, celulose e lignina presentes na biomassa (IBRAHIM *et al.*, 2013). Após a etapa de pirólise, é possível notar a redução ou mesmo a ausência de faixas relacionadas aos grupos funcionais presentes no material inicial (Fig 30), a comparação visual

demonstra que houve o desaparecimento de algumas bandas, indicando a decomposição das macromoléculas (celulose, holocelulose e lignina).

Figura 30: Espectros na região do Infravermelho com Refletância Total Atenuada e Transformada de Fourier madeiras nativas amazônicas em comparação ao carvão vegetal



5.6.3. Microscopia Eletrônica de Varredura dos Carvões Vegetais

Durante a investigação utilizando microscopia eletrônica de varredura dos carvões das biomassas residuais amazônicas carbonizadas, foi possível observar que a maior parte da configuração original anatômica da madeira permanece preservada após o processo de carbonização (Fig.31-32), mesmo quando exposta a altas temperaturas. De acordo com Muñiz *et al*. (2012), a estrutura anatômica da madeira se conserva após a pirólise, permitindo a

identificação da biomassa com base nos constituintes celulares presentes em sua estrutura vegetal.

Figura 31: Microscopia Eletrônica de Varredura dos Carvões das Biomassas Residuais Amazônicas

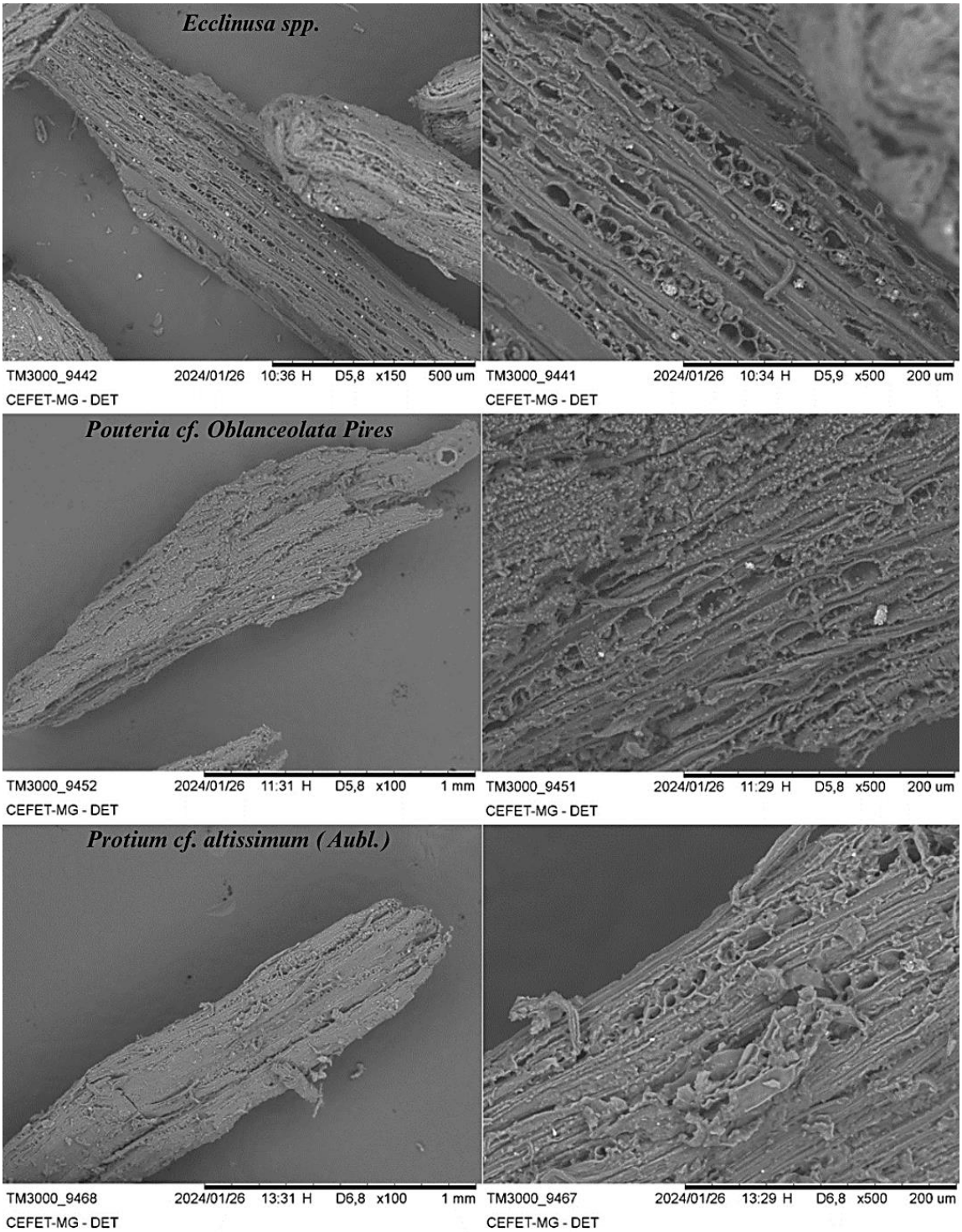
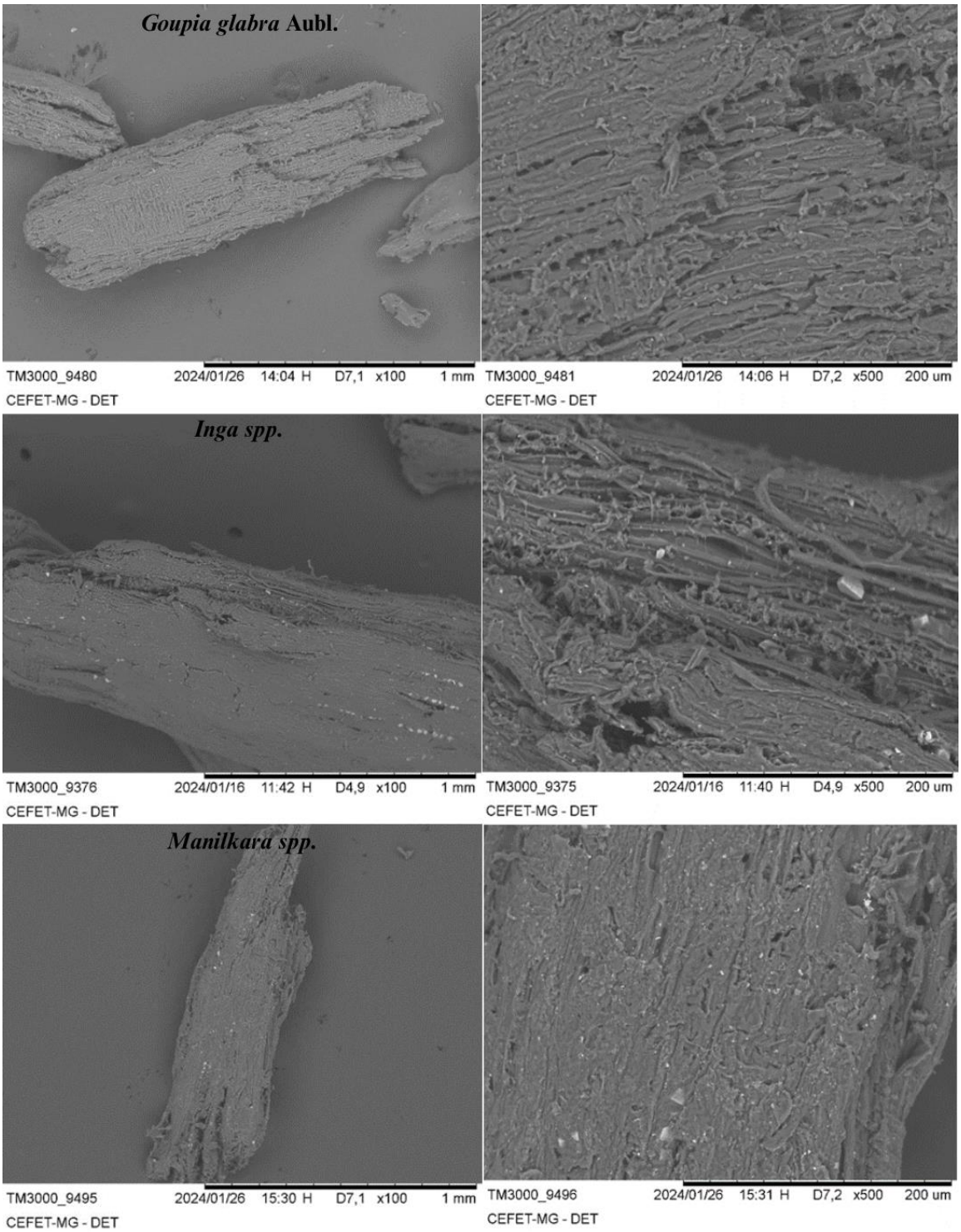


Figura 32: Microscopia Eletrônica de Varredura dos Carvões das Biomassas Residuais Amazônicas



O estudo realizado por Tamburini *et al*., (2020) ressalta a relevância intrínseca da integração entre análises químicas e exames anatômicos no âmbito da pesquisa madeireira. A anatomia da madeira é reconhecida como um método de identificação de espécies altamente confiável, mantendo sua eficácia mesmo em situações em que a madeira tenha sido submetida à carbonização, além disso, a análise anatômica desempenha um papel crucial como uma

ferramenta valiosa na interpretação de dados obtidos por meio de análises químicas, ao combinar essas abordagens complementares, torna-se possível obter uma compreensão mais abrangente e robusta das características das diferentes espécies de madeira, inclusive quando submetidas a processos como a carbonização.

Dentre as variáveis que podem predizer a qualidade do carvão vegetal, destaca-se a densidade relativa aparente, umidade, composição química imediata (materiais voláteis, carbono fixo e cinzas) e o poder calorífico superior (OLIVEIRA *et al*., 2010). Ainda de acordo com os autores, as propriedades químicas consideradas satisfatórias para o carvão vegetal são os maiores teores de carbono fixo, menores teores de substâncias voláteis e cinzas, e estão associadas à madeira com altos teores de lignina, para determinadas condições de carbonização, sendo que a temperatura final tem grande influência na qualidade do carvão vegetal.

5.7. Cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massas

Na cromatografia gasosa, os constituintes de uma amostra vaporizada são segregados conforme sua distribuição entre uma fase móvel gasosa e uma fase estacionária. (SKOOG *et al*., 2018).

5.7.1. Extrativos

Neste estudo, foi realizada a prospecção dos constituintes presentes nos extratos de biomassas residuais amazônicas, obtidos por extrações empregando diferentes solventes. Nas Figuras 33 a 36 são apresentados os cromatogramas obtidos a partir dos extratos.

Figura 33: Cromatogramas dos extratos provenientes das biomassas amazônicas estudadas obtidos por extração com acetona

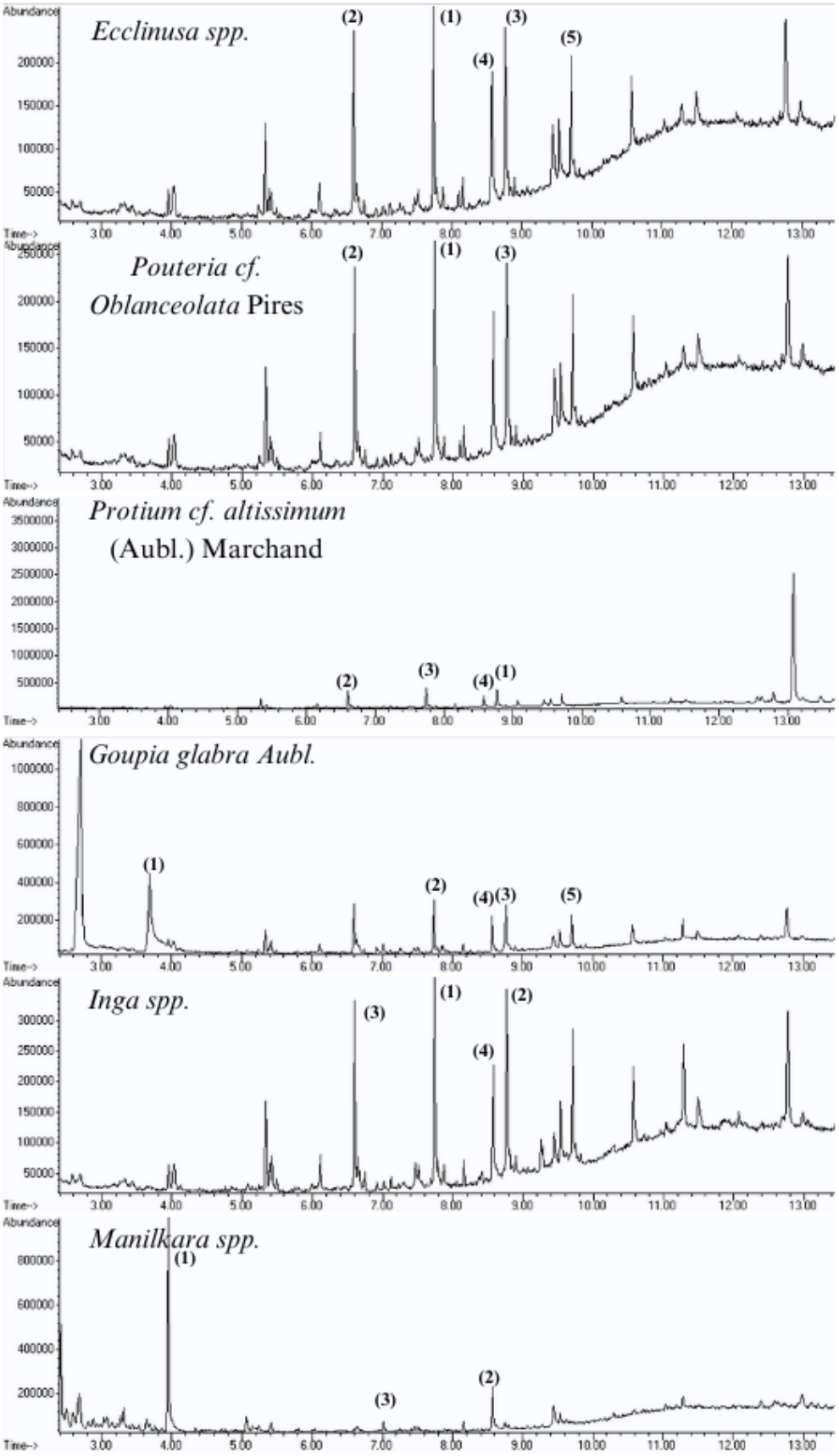


Figura 34: Cromatogramas dos extratos provenientes das biomassas amazônicas estudadas obtidos por extração com etanol

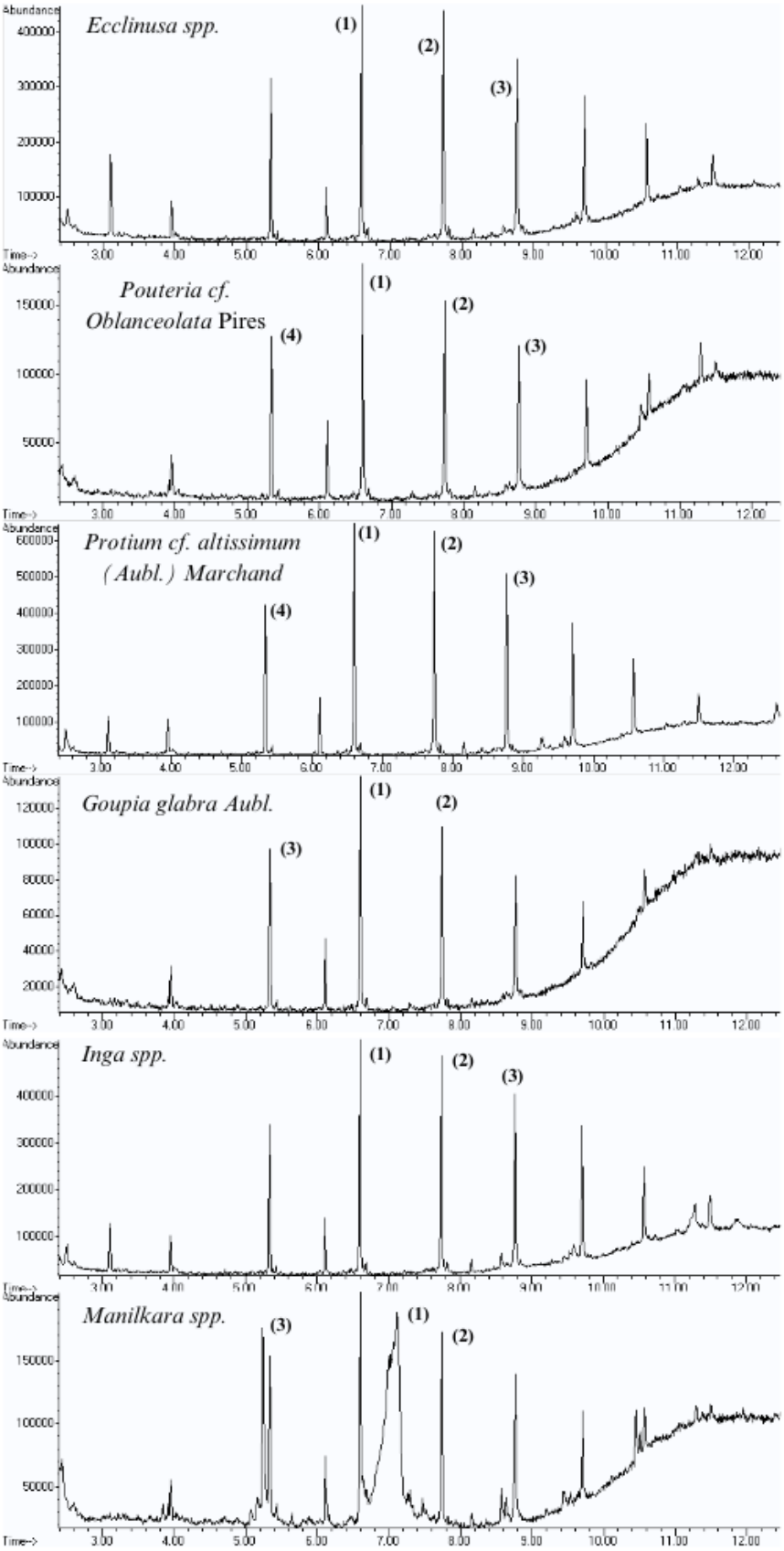


Figura 35: Cromatogramas dos extratos provenientes das biomassas amazônicas estudadas obtidos por extração com tolueno e etanol (2:1)

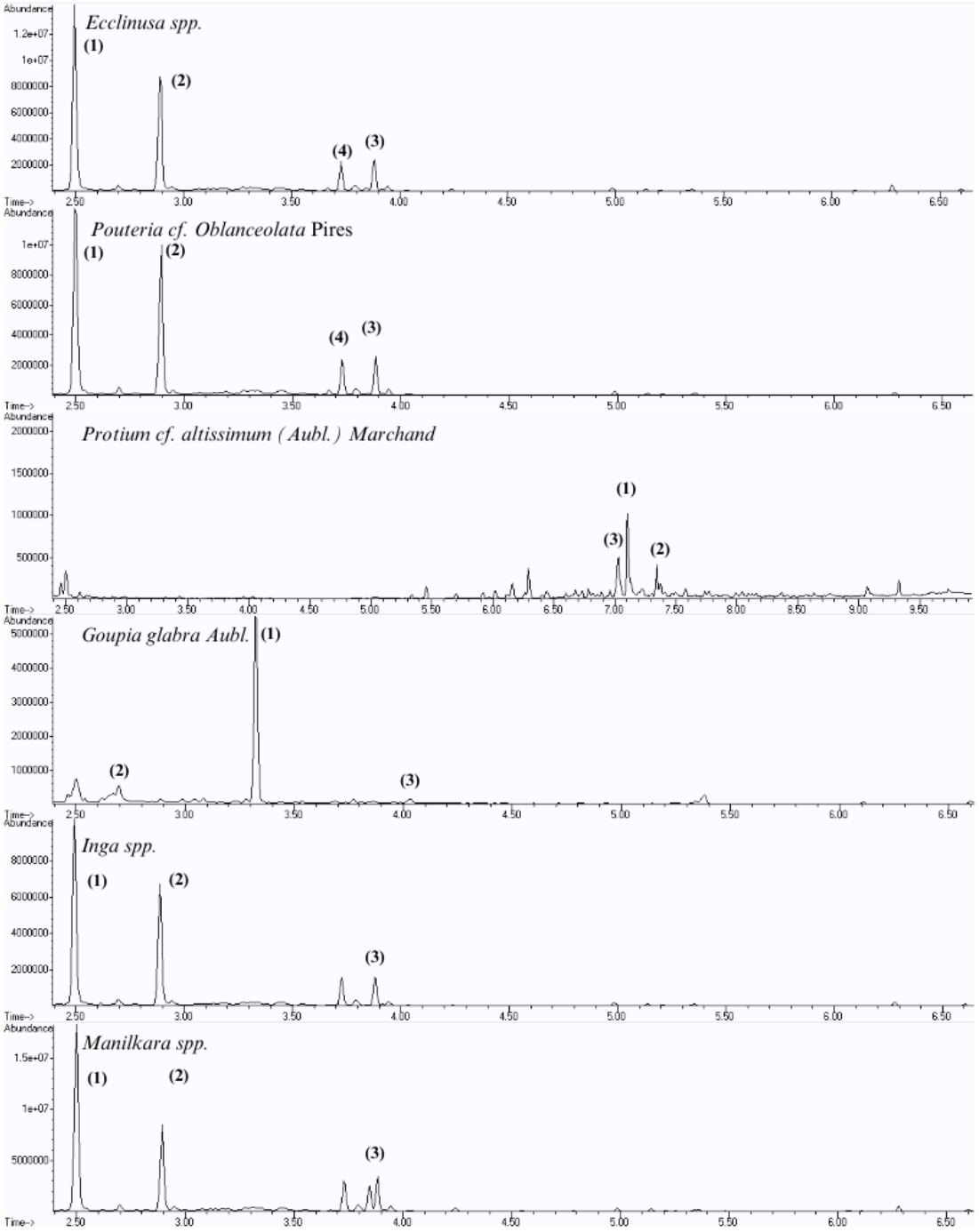
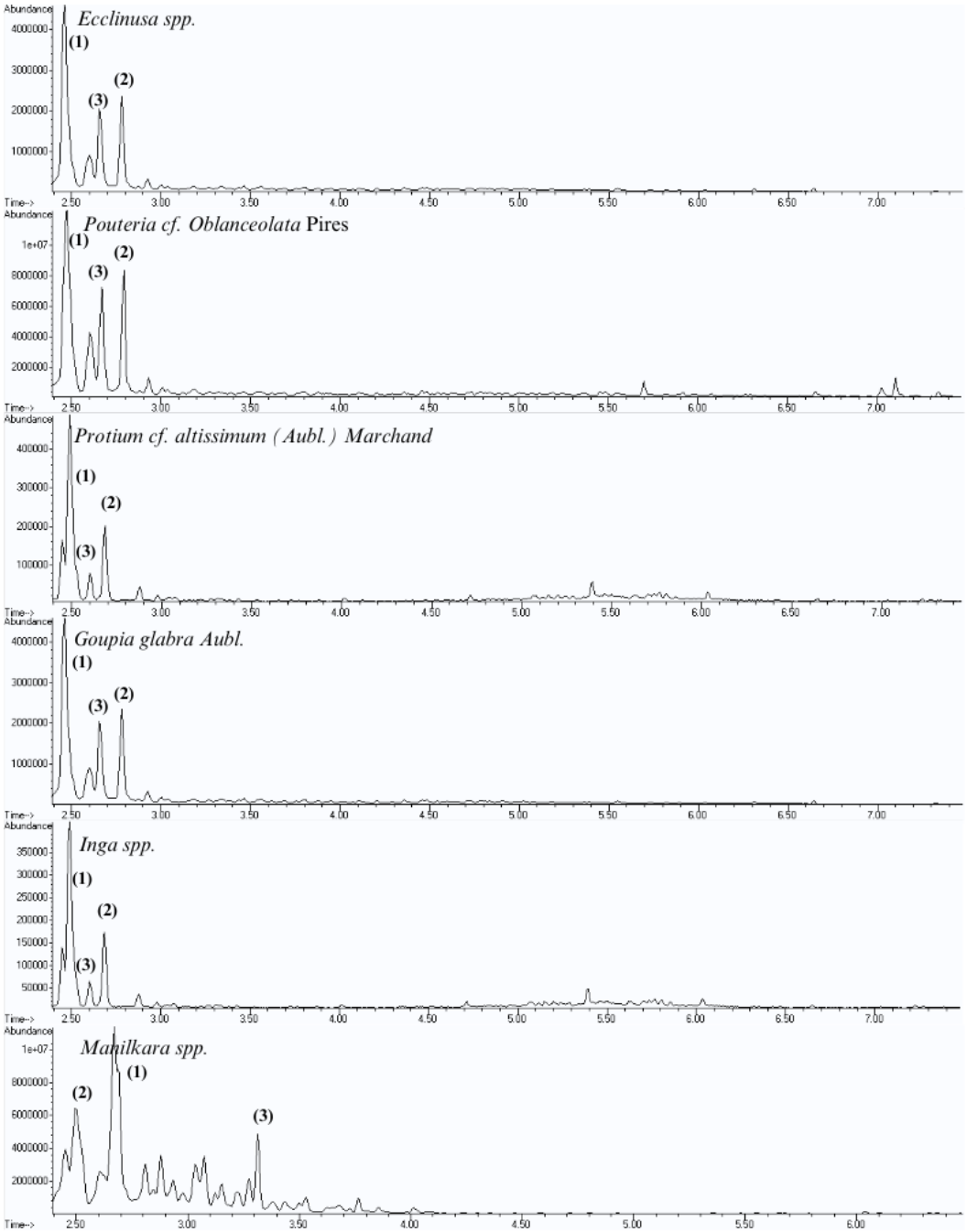


Figura 36: Cromatogramas dos extratos provenientes das biomassas amazônicas estudadas obtidos por extração com hexano



Para facilitar a compreensão, os dados foram tabulados de acordo com as espécies e compostos extraídos com os solventes (Quadro 2), e citados conforme a ordem das espécies e picos demonstrados nas figuras 33 a 36.

Quadro 2: Lista das principais substâncias identificadas por Espectrometria de Massas nos cromatogramas das espécies estudadas de acordo com o solvente de extração

Espécie	**Picos de maior influência em acetona (Fig. 33)**	**Picos de maior influência em tolueno:etanol (Fig. 34)**	**Picos de maior influência em etanol (Fig. 35)**	**Picos de maior influência em hexano (Fig. 36)**
Ecclinusa spp.	(1) 1-Nonadeceno (2) 1-Hexadecanol (álcool n-cetílico) (3) Nonadeceno (4) 1-Hexadecanol (álcool n-cetílico) (5) 1-Docoseno	(1) Benzaldeído (2) Álcool Benzílico (3) Benzeno, 1,3-bis(1-metiletil) - e Benzeno (4) 1,4-bis(1-metiletil)	(1) Benzaldeído (2) Álcool Benzílico (3) Benzeno 1,3-bis(1-metiletil)	(1) Benzaldeído (2) Álcool Benzílico (3) Benzeno 1,3-bis(1-metiletil)
Pouteria cf. Oblanceolata Pires	(1) 1-Nonadeceno (2) 1-Hexadecanol (3) 1-Docoseno (4) ácido n-hexadecanóico (ácido palmítico)	(1) Benzaldeído (2) Álcool Benzílico (3), Benzeno, 1,3-bis(1-metiletil) - e Benzeno (4) 1,4-bis(1-metiletil)	(1) 1-Hexadecanol (2) 1-Docoseno (3) 1-Nonadeceno (4) ácido n-hexadecanóico (ácido palmítico)	(1)1-Hexadecanol (2) Éter benzílico isopropenílico (3) Benzeno, 1,3-bis(1-metiletil)
Protium cf. altissimum (Aubl.) Marchand	(1)1-Nonadeceno (2) 1-Hexadecanol (3) 1-Docoseno (4) Ácido n-hexadecanóico (ácido palmítico)	(1) α-Cadinol (2) tau. -Muurolol (3) α-cariofileno	(1) 1-Hexadecanol (2) 1-Docoseno (3) 1-Nonadeceno (4) ácido n-hexadecanóico (ácido palmítico)	(1) α-Cadinol (2) tau. -Muurolol (3) α-cariofileno
Goupia glabra Aubl.	(1) Ácido benzóico (2) 1-Nonadeceno (3) 1-Hexadecanol (4) ácido hexadecanóico (ácido palmítico) (5)1-Docoseno	(1) Ácido benzóico (2) éster metílico (Clorius) Benzeno (3) 2-propenil- (Alilbenzeno)	(1) 1-Hexadecanol (2) 1-Nonadeceno (3) 1-Docoseno	(1) Ácido benzóico (2) éster metílico (Clorius) (3) Benzeno, 2-propenil- (Alilbenzeno)
Inga spp.	(1) 1-Nonadeceno (2) 1-Docoseno (3) 1-Hexadecanol (4) ácido n-hexadecanóico (ácido palmítico)	(1) Benzaldeído (2) Álcool Benzílico (3) Benzeno, 1,3-bis(1-metiletil)	(1) 1-Hexadecanol (2) 1-Nonadeceno (3) 1-Docoseno	(1) Benzaldeído (2) Álcool Benzílico (3) Benzeno, 1,3-bis(1-metiletil)
Manilkara spp.	(1) 2-Pentanol, 2,4-dimetil (2) Ácido n-hexadecanóico (ácido palmítico) (3) álcool beénico	(1) Benzaldeído (2) Álcool Benzílico (3) Benzeno, 1,3-bis(1-metiletil)-	(1) Inositol (2) 1-Nonadecene (3) 1-Docosene	(1) Benzaldeído (2) Álcool Benzílico (3) Benzeno, 1,3-bis(1-metiletil)

Para melhor visualização e compreensão dos componentes identificados por GC-MS, elaborou-se o Quadro 3 organizando as substâncias distribuídas entre as espécies e os solventes de extração, comparando-os a dados já publicados na literatura quanto à composição dos extrativos em várias espécies.

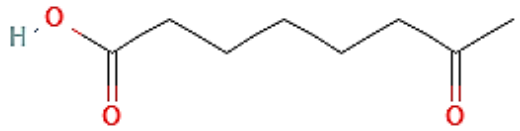
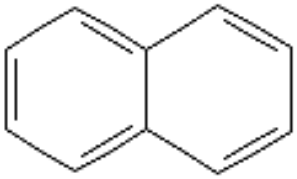
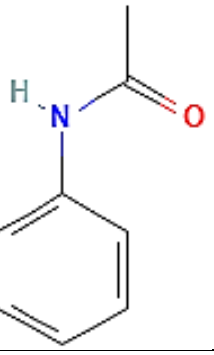
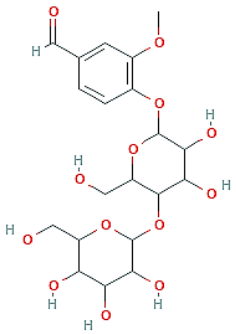
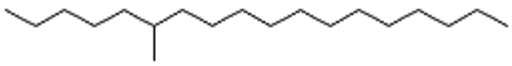
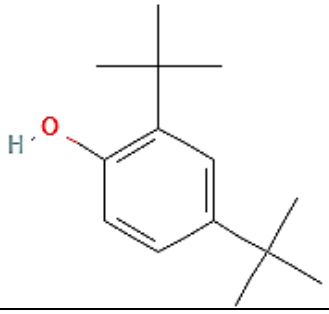
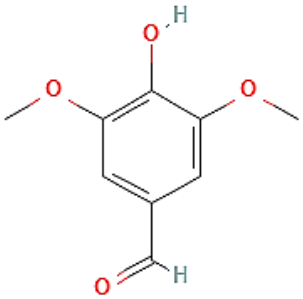
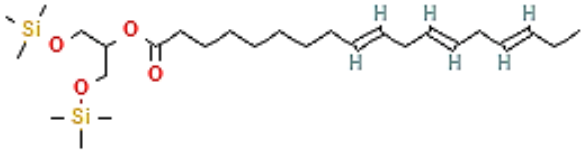
Quadro 3: Substâncias identificadas por Espectrometria de Massas nos cromatogramas dos extratos obtidos em acetona, etanol, tolueno e etanol e hexano para as espécies residuais amazônicas

Composto	Acetona						Etanol						Tolueno e Etanol (2:1)						Hexano						Literatura
Ácido octanóico, 7-oxo- (ácido oxooctanóico)																									
Naftaleno																									
Acetamida, N-fenil- (acetanilida)																									
1-Tetradeceno																									
Octadecano, 6-metil (1,6-metiloctadecano)																									
Lactosídeo de vanilina																									
Fenol, 2,4-bis(1,1-dimetiletil)- (Antioxidante No. 33)																									
1-Hexadecanol (álcool n-cetílico)																									3
Benzaldeído, 4-hidroxi-3,5-dimetoxi- (Siringaldeído)																									
4-Hidroxi-2-metoxicinamaldeído																									2, 3
Ácido 9,12,15-octadecatrienóico, éster 2-[(trimetilsilil)oxi]-1-[[(trimetilsilil)oxi]metil]etílico, (Z,Z,Z)-																									
1-Nonadeceno																									
Ácido erúcico																									
Ácido n-hexadecanóico (ácido palmítico)																									1, 2, 3, 4, 5
1-Docoseno																									
Ácido oleico																									4, 5, 6
Ácido octadecanóico (ácido esteárico)																									1, 3, 4, 5
Álcool beênico																									
Propano, 1,1,3-trietoxi-																									
3-Dodeceno, (Z)-																									
Fenol, 2,5-bis(1,1-dimetiletil)-																									
Benzaldeído																									3
Álcool benzílico																									
Éter benzílico isopropenílico																									
Benzeno, 1,3-bis(1-metiletil)-																									
1,3-Diisopropil ciclohexano																									
Benzeno, 1,4-bis(1-metiletil)-																									
Benzeno, 1,3,5-tris(1-metiletil)-																									
Bibenzil																									
Ureia, (fenilmetoxi)-																									
Benzeno, propil-																									
1,5-Heptadien-4-ona, 3,3,6-trimetil-																									
Benzeno, 1-etil-2-metil-																									
Benzeno, 1,2,3-trimetil-																									
Cariofileno																									
Biciclo[2.1.0]pentano, 1,4-dimetil-																									
Dodecano, 2,6,10-trimetil-																									
Octadecano, 6-metil-																									
2(3H)-Furanona, 3,4-bis(1,3-benzodioxol-5-ilmetil)dihidro-, (3R-trans)-																									

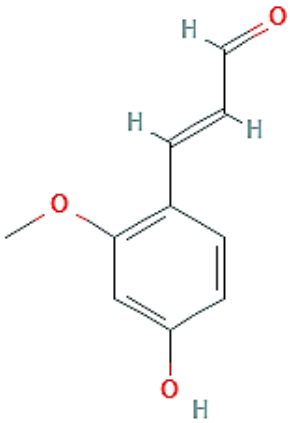
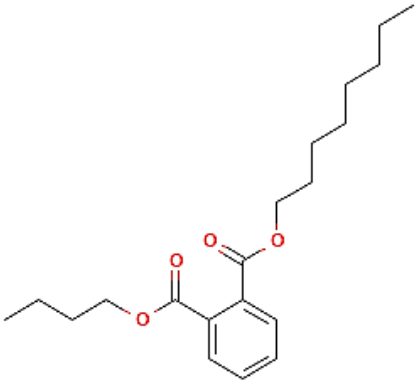
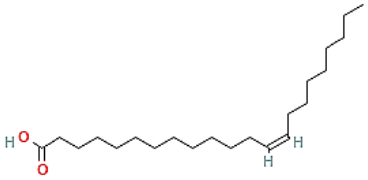
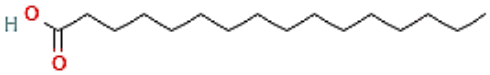
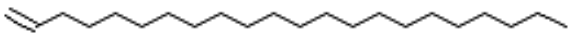
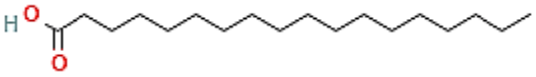
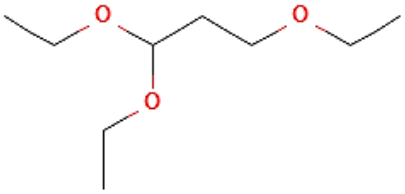
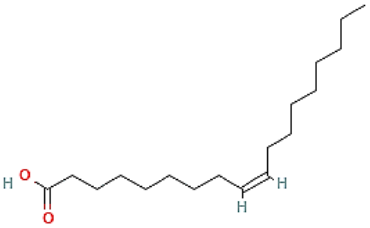
Legenda: *Ecclinusa spp*.: ;*Pouteria cf. Oblanceolata* Pires: ; *Protium cf. altissimum* (Aubl.) Marchand: ; *Goupia glabra* Aubl.: ; *Inga* spp: ; *Manilkara* spp: ; 1: GOMINHO *et al*. (2020); 2: YANG *et al*. (2020); 3: MECCA *et al*. (2021); 4: MA *et al*. (2009); 5: FILETO-PÉREZ *et al*. (2015); 6: FÜCHTNER *et al*. (2020).

As estruturas químicas das principais substâncias identificadas por GC-MS encontram-se representadas no Quadro 4.

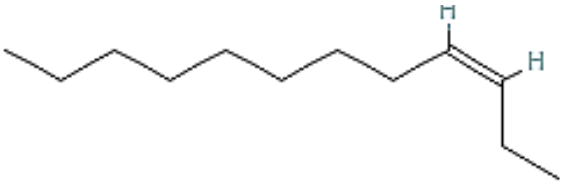
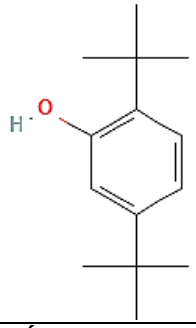
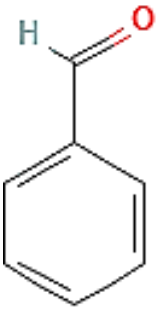
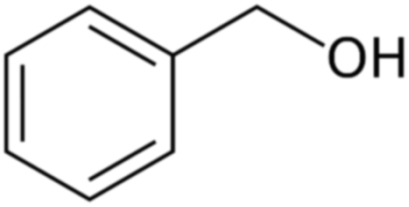
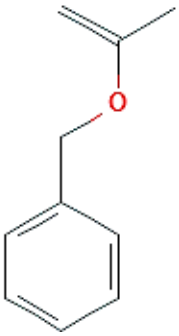
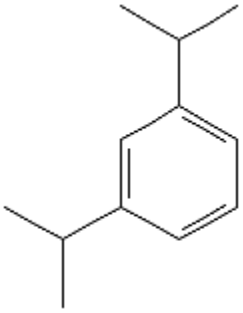
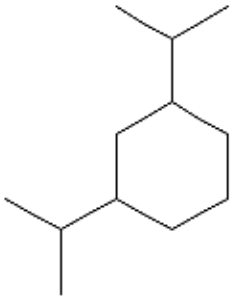
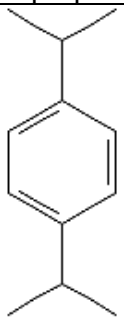
Quadro 4: Estrutura química dos compostos encontrados nos extrativos das biomassas residuais amazônicas

Ácido 7-oxo-octanóico	Naftaleno
	
N-Fenilacetamida (Acetanilida)	Lactosídeo de vanilina
	
Tetradec-1-eno	6-Metiloctadecano
	
2,4-bis(1,1-Dimetiletil)fenol (Antioxidante No. 33)	4-Hidróxi-3,5-dimetoxibenzaldeído (Siringaldeído)
	
Hexadecan-1-ol (Álcool cetílico)	(*Z,Z,Z*)-Octadeca-9,12,15-trienoato de [(trimetilsilil)oxi]-1-[[(trimetilsilil)oxi]metil]etila
	

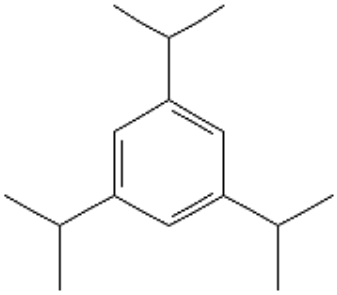
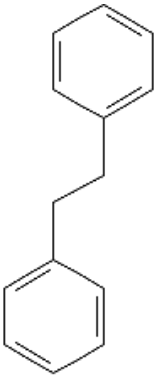
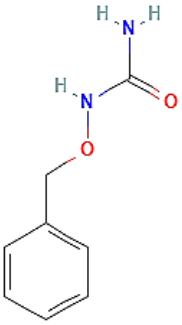
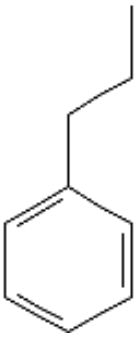
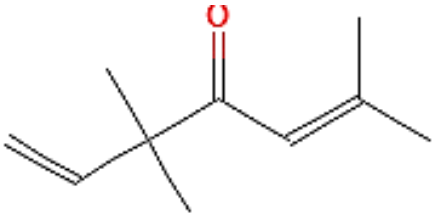
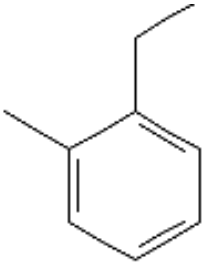
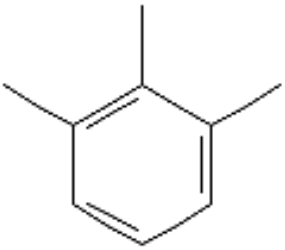
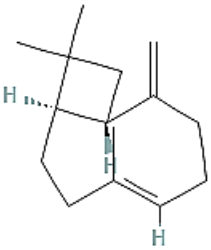
Quadro 4 – Estrutura química dos compostos encontrados nos extrativos das biomassas residuais amazônicas *(continuação)*

4-Hidróxi-2-metoxicinamaldeído	Benzeno-1,2-dicarboxilato de butil-octila (Ftalato de butil-octila)
	
Nonadec-1-eno	Ácido erúcico
	
Ácido hexadecanóico (Ácido palmítico)	Docos-1-eno
	
Ácido octadecanóico (Ácido esteárico)	Álcool beênico
	
1,1,3-trietoxipropano	Ácido oleico
	

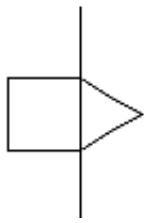
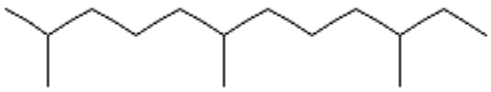
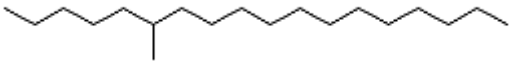
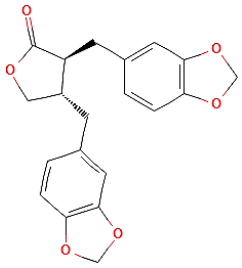
Quadro 4 – Estrutura química dos compostos encontrados nos extrativos das biomassas residuais amazônicas *(continuação)*

(*Z*)-Dodec-3-eno	2,5-bis(1,1-Dimetiletil)fenol
	
Benzaldeído	Álcool benzílico
	
Éter benzílico isopropenílico	1,3-bis(1-metiletil)benzeno (1,3-Diisopropilbenzeno)
	
1,3-Diisopropilcicloexano	1,4-bis(1-metiletil)benzeno (1,4-Diisopropilbenzeno)
	

Quadro 4 – Estrutura química dos compostos encontrados nos extrativos das biomassas residuais amazônicas *(continuação)*

1,3,5-tris(1-metiletil)benzeno (1,3,5-triisopropilbenzeno)	1,2-Difeniletano (Bibenzil)
	
Fenilmetoxiureia	Propilbenzeno
	
3,3,6-Trimetil-hepta-1,5-dien-4-ona	1-etil-2-metilbenzeno
	
1,2,3-Trimetilbenzeno	Cariofileno
	

Quadro 4 – Estrutura química dos compostos encontrados nos extrativos das biomassas residuais amazônicas *(continuação)*

1,4-Dimetil-biciclo[2.1.0]pentano	2,6,10-Trimetildodecano
	
6-Metil-octadecano	3,4-bis(Benzo-1,3-dioxol-5-ilmetil)diidro-(3*R*-*trans*)-2(3H)-furanona (Lignana)
	

Conhecer a composição química dos extrativos de biomassas amazônicas é essencial para a exploração do potencial dessas substâncias em variadas aplicações, como farmacêuticas e agrícolas. A prospecção de compostos pode revelar moléculas com propriedades terapêuticas, antioxidantes ou antimicrobianas, contribuindo para o desenvolvimento de novos produtos e tecnologias sustentáveis. Neste trabalho foram identificados qualitativamente diversos compostos que indicam a riqueza química das biomassas amazônicas e reforçam a importância de sua investigação contínua, alinhando-se com descobertas de outros pesquisadores que destacam a biodiversidade da região como uma fonte promissora de novos compostos bioativos.

UNZNER et al. (2016) realizaram a síntese de naftalenos funcionalizados de forma ortogonal. Os naftóis adquiridos representam blocos de construção altamente adaptáveis, suscetíveis a modificações seletivas, possibilitando a eficaz edificação de moléculas biologicamente ativas, essa abordagem viabilizou a síntese abrangente do poderoso agente anticâncer de origem natural, *Chartarin* por meio de uma estratégia retrossintética altamente convergente, envolvendo a conexão de ligações.

A eficácia do 2,4-bis(1,1-dimetiletil)-fenol contra um fungo de podridão radicular, *Fusarium oxysporum*, foi revelada ao inibir tanto a germinação de esporos quanto o crescimento de hifas de maneira significativa, durante o processo de germinação dos esporos (GONG *et al*., 2015). Em complementação Chen *et al*. (2015) revelaram que o composto 2,4-bis(1,1-

dimetiletil)-fenol, demonstrou notáveis propriedades adulticidas, larvicidas, ovicidas, repelentes e dissuasoras de oviposição em relação ao ácaro-aranha *Tetranychus cinnabarinus*.

O estudo realizado por SHANG *et al*., (2017) abordou a síntese de uma intrigante matriz tridimensional de grafeno, envolvendo o compósito de Hexadecan-1-ol por meio da metodologia de *one-pot*, pautada no modelo de emulsão de *Pickering*. Os compósitos de mudança de fase (PCMs) resultantes evidenciaram notável aprimoramento na condutividade térmica e elétrica, devido à trama interligada de grafeno inserida nos PCMs. Adicionalmente, os PCMs compostos exibiram excepcional estabilidade morfológica, mitigando possíveis vazamentos durante a transição de fases. Este inovador PCM de estabilidade estrutural mostra-se promissor para aplicação em sistemas de armazenamento e conversão de energia térmica.

Lou *et al*., (2022) objetivaram o desenvolvimento de uma abordagem que 0 a união da lacase industrial *Novozym* 51003 com o siringaldeído, visando à degradação de sulfonamidas presentes em águas residuais provenientes de aquicultura. Esse trabalho apresentou uma metodologia pragmática para a eficaz degradação e remoção de antibióticos sulfonamidas em amostras de esgoto real. Em outra abordagem, Huang *et al*. (2021), realizaram a investigação sobre a administração intravenosa de siringaldeído em ratos diabéticos, e constataram que tal substância tem o potencial de elevar o consumo de glicose nos organismos dos roedores afetados, desempenhando assim um papel na diminuição dos níveis de açúcar no sangue. Consequentemente, conjectura-se que o seringaldeído possa servir como um agente coadjuvante no tratamento de pacientes diabéticos no futuro.

O Nonadec-1-eno, é um composto bioativo pertencente à classe química dos alcenos, com funções em plantas e como metabólito bacteriano, como indicado por Balachandar *et al.* (2018) e Phukan *et al*. (2020). Dentre suas notáveis atividades biológicas, destaca-se sua ação antimicrobiana, antifúngica e antioxidante (Phukan *et al*., 2020).

A osteoporose está correlacionada com o aumento de tecido adiposo na medula óssea em seres humanos, de acordo com estudos realizados por Takahashi *et al*. (2020), o ácido erúcico demonstrou reduzir significativamente a atividade do PPARγ (receptor ativado por proliferador de peroxissoma) e melhorar a diferenciação de células-tronco mesenquimais em osteoblastos em vez de adipócitos, quando administrado em camundongos. Adicionalmente, o ácido erúcico suprimiu a expressão de genes marcadores de adipócitos e promoveu a expressão de genes marcadores de osteoblastos. Em resumo, o ácido erúcico, um novo componente natural do alecrim, exerce efeitos reguladores sobre a diferenciação de células-tronco mesenquimais, inibindo a atividade transcricional do PPARγ.

O Ácido hexadecanóico (ácido palmítico), de acordo com a investigação realizada por Lin *et al*. (2017) impactam negativamente o processo de desenvolvimento do carcinoma hepatocelular, influenciando a fluidez da membrana e o metabolismo da glicose. Adicionalmente, novas descobertas realizadas por Fatima *et al*. (2019) indicam que o ácido palmítico desempenha um papel como moléculas de sinalização intracelular, influenciando a progressão e o desenvolvimento de diversas doenças em um nível molecular.

No estudo realizado por Jiang *et al*. (2013), foi investigada a esterificação do ácido oleico utilizando uma resina de troca catiônica sulfonada como catalisador em conjunto com o etanol. Os resultados revelaram uma eficiência notável, atingindo uma taxa de conversão de 93%. Essa abordagem destaca a eficácia da resina de troca catiônica sulfonada como um catalisador eficiente no processo de esterificação, oferecendo *insights* valiosos para aplicações práticas e otimização de métodos sintéticos na produção de ésteres. Em outra perspectiva de aplicação, de acordo com Liu *et al*. (2016), dietas enriquecidas com ácido oleico monossaturado podem estar relacionadas a benefícios do efeito em composição corporal, sendo promissor para controle de ações preventivas contra a obesidade.

Outrossim, salienta-se que o álcool beenico, em investigações realizadas por Umaru *et al.* (2019), demonstrou uma expressiva atividade antibacteriana, especialmente contra cepas associadas à pneumonia, como *Klebsiella* e *Staphylococcus aureus*, essa propriedade antimicrobiana pode ser considerada promissora no contexto do desenvolvimento de agentes terapêuticos ou formulações voltadas para o combate a infecções respiratórias, que frequentemente são desencadeadas por esses agentes patogênicos.

Dentre os compostos em questão, destaca-se o 1-etil-3-metil-benzeno, o qual apresenta propriedades antifúngicas e notáveis características antibacterianas, essa substância apresenta potencial significativo no contexto da pesquisa antimicrobiana, oferecendo perspectivas promissoras para o desenvolvimento de agentes terapêuticos ou formulações destinadas ao combate de fungos e bactérias (KAUSAR *et al*., 2022).

Destaca-se que um composto bibenzílico isolado da *Gavilea lutea* não apenas revelou propriedades antiprotozoárias, mas também exibiu uma notável atividade antifúngica em relação a uma levedura patogênica presente na flora intestinal humana, conforme evidenciado por estudos prévios, esta descoberta sugere potenciais aplicações terapêuticas desses compostos no tratamento de infecções protozoárias e fúngicas (CRETTON *et al*., 2018) Além disso, de acordo com Hlosrichok *et al*. (2018), compostos bibenzílicos contendo substituintes metoxi e hidroxi foram identificados por sua atividade fitotóxica, demonstrando perspectivas promissoras como herbicidas eficazes. Esta observação aponta para a possibilidade de utilizar

esses compostos como agentes herbicidas, representando uma alternativa potencialmente sustentável para o controle de plantas indesejadas, contribuindo assim para práticas agrícolas mais eficientes e ecologicamente amigáveis.

5.7.2. Caracterização dos extrativos obtidos por extração promovida por refluxo e ultrassom da espécie *Manilkara spp.*

A perspectiva de um novo método é justificada pelo quantitativo elevado de solvente utilizado no método clássico. As extrações realizadas com os solventes acetona, acetato de etila e mistura tolueno:etanol (2:1) apresentaram melhores resultados extraídos para a metodologia de refluxo, sendo que o maior rendimento foi de 9,4% para a extração total em tolueno e etanol (Tab. 6). Os menores rendimentos foram observados no solvente de acetato de etila, tanto para as extrações realizadas no refluxo como para o ultrassom.

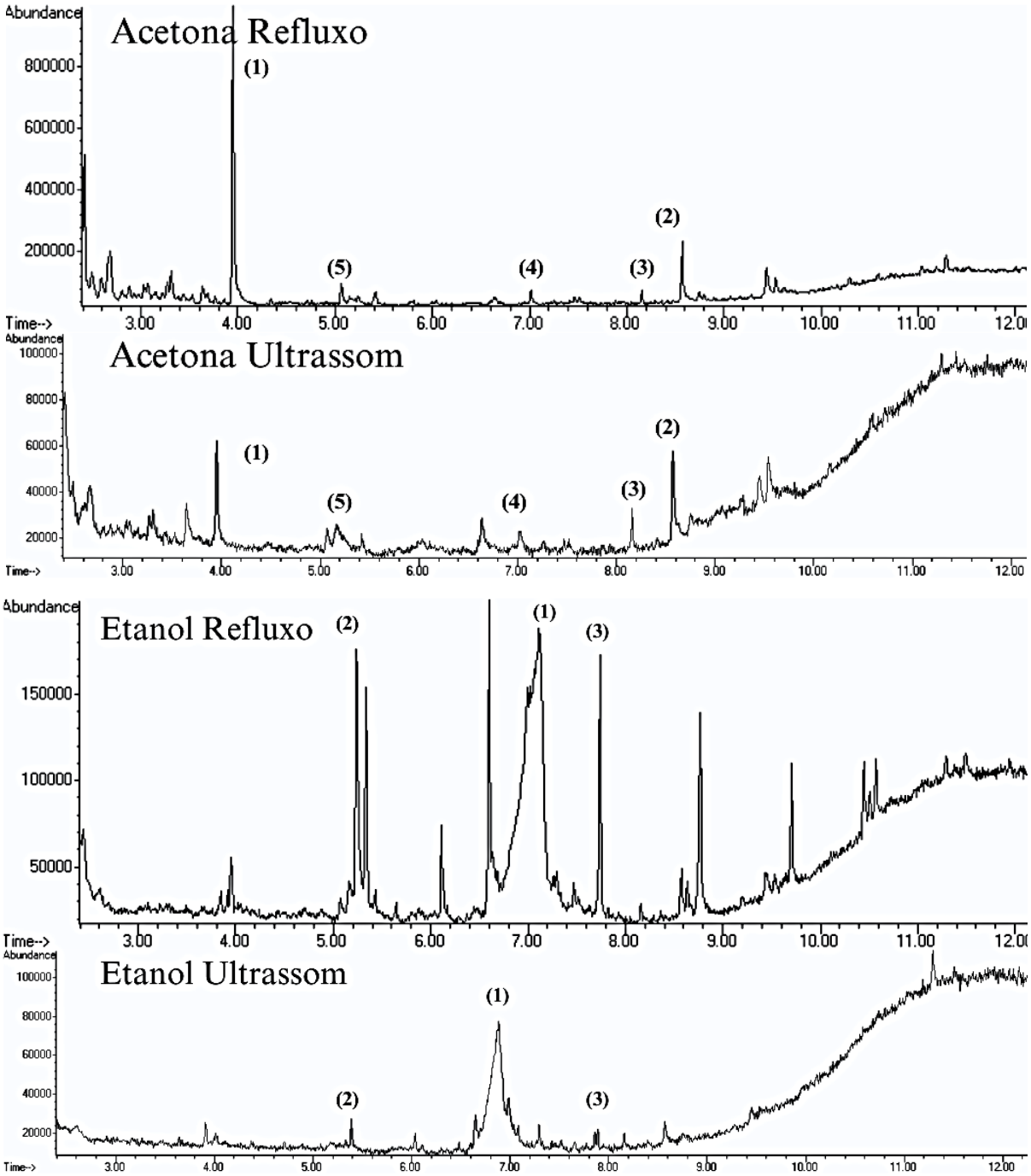
Tabela 6: Rendimentos das extrações realizadas com refluxo e ultrassom

Solvente	**Refluxo** (%)	**Ultrassom** (%)
Acetona	6,7	4,0
Acetato de etila	2,6	0,8
Tolueno e etanol	9,4	5,6

A busca por um novo método de extração de substâncias em biomassas é impulsionada pela necessidade de processos mais sustentáveis, alinhados aos princípios da química verde. Isso envolve minimizar o uso de solventes tóxicos, reduzir o consumo energético e maximizar a eficiência na obtenção de compostos de interesse. Ao adotar técnicas mais ecológicas, estamos não apenas contribuindo para a preservação ambiental, mas também alinhando a produção científica com um propósito maior de sustentabilidade. Esses resultados reforçam que novos métodos são fundamentais para garantir que as caracterizações das biomassas sejam avaliadas de maneira responsável e sustentável, possibilitando aplicações que respeitem o meio ambiente e promovam um ciclo de análises mais consciente e eficiente.

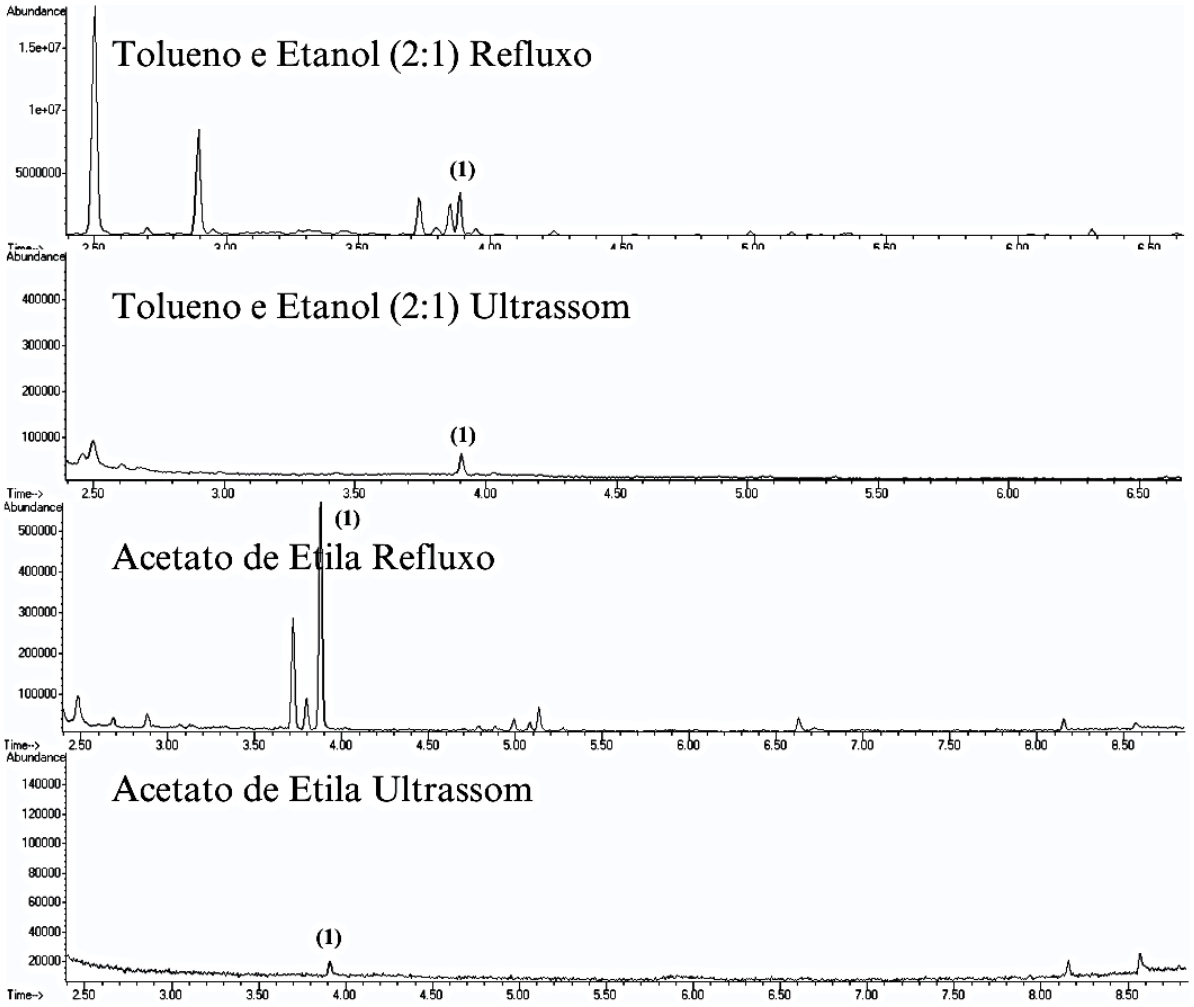
A comparação dos cromatogramas dos extratos em acetona e etanol apresentaram perfis químicos semelhantes, destacando-se a presença do Ácido hexadecanoico como componente majoritário. Por outro lado, pode-se verificar nos cromatogramas obtidos que a extração por refluxo foi mais eficiente do que a extração assistida por ultrassom, considerando a maior abundância relativa dos constituintes para a extração clássica. (Fig. 37). Para tanto, observa-se que nestes solventes polares ocorreu a maior incidência de compostos e a repetição do composto ácido hexadecanoico.

Figura 37: Cromatogramas dos extratos obtidos por refluxo e ultrassom utilizando os solventes de acetona e etanol



Os cromatogramas dos extratos de média polaridade, obtidos com Acetato de Etila e mistura Tolueno/ Etanol, apresentaram poucos constituintes com baixas abundâncias relativas. Esses resultados indicam que os extrativos são majoritariamente substâncias polares (Fig. 38).

Figura 38: Cromatogramas dos extratos obtidos por refluxo e ultrassom utilizando Tolueno/Etanol (2:1) e Acetato de etila como solventes



Verificou-se a reprodutibilidade dos resultados de GC-MS para todos os extratos obtidos neste trabalho, considerando as principais substâncias identificadas, conforme dados apresentados na Tabela 7.

Tabela 7: Compostos identificados por Cromatografia Gasosa acoplada à Espectrometria de Massas nos extrativos obtidos por refluxo e ultrassom

Acetona		
Compostos	**Refluxo (Match e probabilidade)**	**Ultrassom (Match e probabilidade)**
(1) ácido hexadecanóico	812 | 61,6 %	650 | 39,1%
(2) Ácido 1,2-benzenodicarboxílico, éster butil-octil	733 | 20,3%	756 | 13,5%
(3) Fenol, 2,6-dimetoxi-	709 | 26,3%	585 | 23,7%
(4) 2-Ciclohexen-1-ol, 4-etil-1,4-dimetil-	616 | 15,3%	537 | 9,18%
(5) Fenol, 3,4,5-trimetoxi-	602 | 32,2%	494 | 13,1%
Etanol		
(1) Inositol, 1-desoxi	827 | 60,3	806 | 58,8%
(2) 1,2-Benzenediol-	681 | 47,9%	667 | 52,8%
(3) ácido hexadecanóico	627 | 33,2%	463 | 4,72%
Tolueno e Etanol		
(1) Benzeno, 1-etil-3-metil-	902 | 19,9%	807, 15,0%
Acetato de etila		
(1) Ácido 1,2-benzenodicarboxílico, éster butil-octil	727 | 11,9%	646 | 48,8%

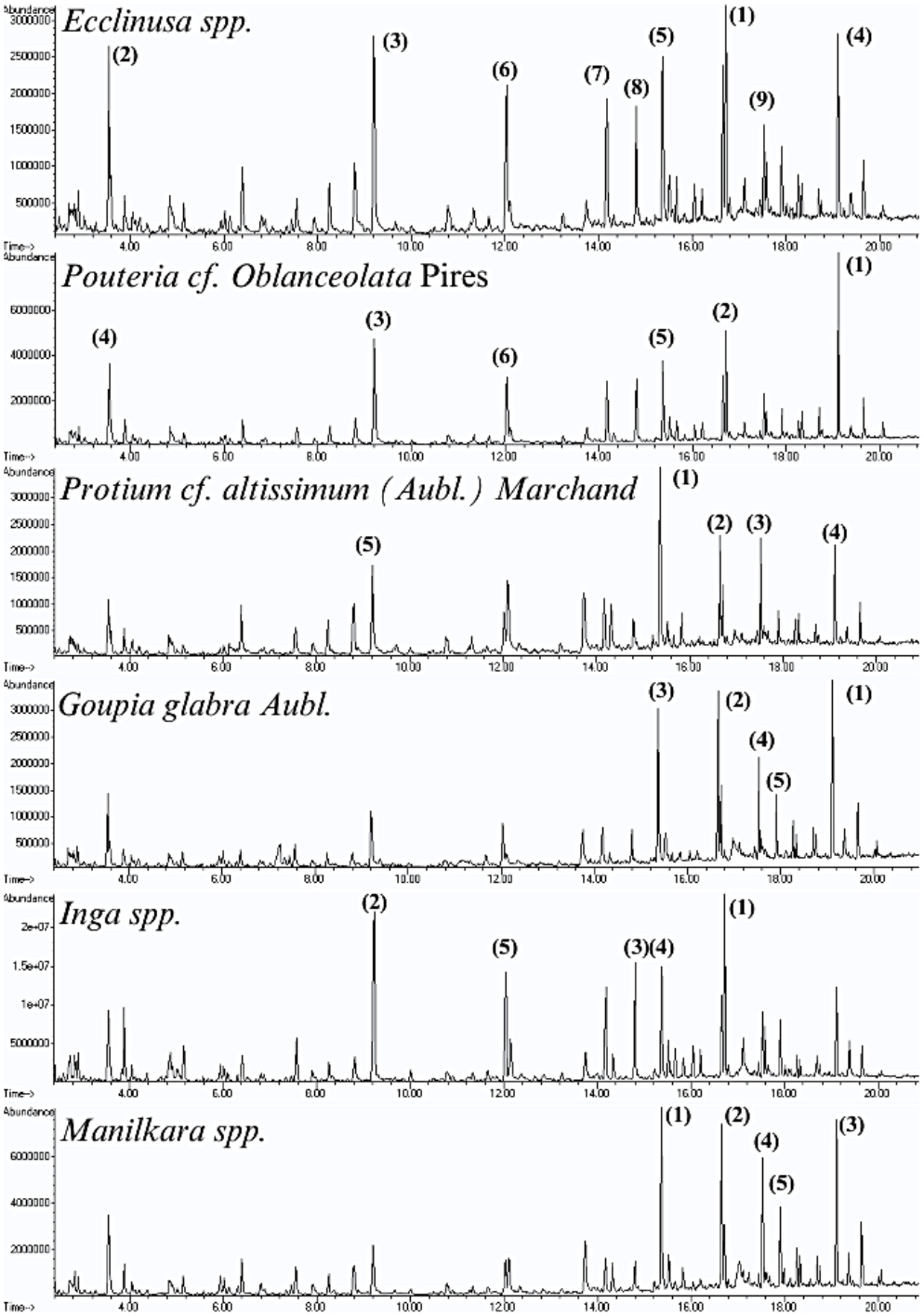
A metodologia experimental com ultrassom demonstra *match* e probabilidade menores que a metodologia clássica de refluxo, justificada pela necessidade de otimização do procedimento por meio de planejamento de experimentos que averigue as variáveis: tempo de extração, razão entre massa das amostras e o volume de solvente.

À vista dos dados apresentados, verifica-se a necessidade de aprofundamento dos testes para a validação da metodologia de extração assistida por ultrassom. Os resultados sugerem que há potencialidade de extração realizada por meio ultrassom, o método pode ser aprimorado e empregado como alternativa à extração clássica realizada por refluxo. Para validação do método, no entanto, é necessário otimizar as condições de extração e alcançar resultados equivalentes com confiança analítica. Para tanto, sugere-se a elaboração de planejamento de experimentos contemplando todas as variáveis inseridas no processo, tais como massa de amostra, volume de solvente e tempo de extração.

5.7.3. Caracterização do licor pirolenhoso

Neste estudo, foi realizada a prospecção dos constituintes presentes no licor pirolenhoso obtido através de carbonização, em escala laboratorial, destas mesmas biomassas. Essas análises são fundamentais para a contribuição dos cumprimento dos objetivos desta pesquisa. Os cromatogramas dos licores pirolenhosos apresentaram perfis cromatográficos entre si conforme apresentado na Figura 39.

Figura 39: Cromatogramas do licor pirolenhoso das biomassas residuais amazônicas



À vista dos fatos mencionados, a recuperação dos gases condensáveis como coprodutos do processo de carbonização tem adquirido atenção dos pesquisadores. Devido às aplicações comerciais e a economia circular atrelada ao processo é necessário o aprofundamento das prospecções de compostos presentes no licor pirolenhoso das biomassas utilizadas como insumo na produção de carvão vegetal. Assim, os principais picos de compostos analisados para o licor pirolenhoso das biomassas residuais amazônicas foram tabulados (Quadro. 5).

Quadro 5: Composição química dos licores pirolenhosos das biomassas residuais amazônicas analisadas por Cromatografia Gasosa acoplada à Espectrometria de Massas

Espécies	Compostos
Ecclinusa spp.	(1) 2- Metóxi-4-(prop-1-enil)fenol (Isoeugenol) (2) Furfural (3) 2-Metóxifenol (Guaiacol) (4) 2-Metóxi-4-metilfenol (*p*-Creosol) (5) 4-Etil-2-metoxifenol (*p*-Etilguaiacol) (6) 2-Metóxi-4-vinilfenol (*p*-Vinilguaiacol) (7) 2,6-Dimetoxifenol (Siringol) (8) 2,6-Dimetóxi-4-(prop-2-enil)fenol (Metoxieugenol)
Pouteria cf. Oblanceolata Pires	(1) 2,6- Dimetóxi-4-(prop-2-enil)fenol (Metoxieugenol) (2) Furfural (3) 2-Metóxifenol (Guaiacol) (4) 4-Etil-2-metóxifenol (*p*-Etilguaiacol) (5) 2-Metóxi-4-vinilfenol (*p*-Vinilguaiacol) (6) 2,6-Dimetoxifenol (Siringol) (7) 2- Metóxi-4-(prop-1-enil)fenol (Isoeugenol)
Protium cf. altissimum (Aubl.) Marchand	(1) 2,6-Dimetoxifenol (Siringol) (2) Furfural (3) 2-Metóxifenol (Guaiacol) (4) 4-Metóxi-3-metoximetilfenol (metoximetil) (5) 1,2,3-Trimetoxi-5-metilbenzeno (6) 2,6-Dimetóxi-4-(prop-2-enil)fenol (Metoxieugenol)
Goupia glabra Aubl.	(1) 2,6-Dimetóxi-4-(prop-2-enil)fenol (Metoxieugenol) (2) Furfural (3) 2,6-Dimetoxifenol (Siringol) (4) 1,2,4-Trimetoxibenzeno (5) 5-*terc*-Butilpirogalol (6) 2-Metóxifenol (Guaiacol)
Inga spp.	(1) 2- Metóxi-4-(prop-1-enil)fenol (Isoeugenol) (2) Furfural (3) 2-Metóxi-4-metilfenol (Guaiacol) (4) 2-Metóxi-4-vinilfenol (*p*-Vinilguaiacol) (5) 2,6-Dimetoxifenol (Siringol) (6) 2-Metóxi-4-metilfenol (*p*-Creosol)
Manilkara spp.	(1) 2,6-Dimetoxifenol (Siringol) (2) Furfural (3) 1,2,4-Trimetoxibenzeno (4) 2,6-Dimetoxi-4-(prop-2-enil)fenol (Metoxieugenol) (5) 5-*terc*-Butilpirogalol (6) Fenol

O estudo realizado por KARA *et al.* (2023) teve como propósito avaliar a composição química e a atividade antifúngica do licor pirolenhoso proveniente de três fontes distintas de biomassa: caroço de damasco, casca de avelã e kermes carvalho. Empregando análise por GC-MS, foram identificados *o*-guaiacol, creosol, siringol, *p*-etilguaiacol, *o*-creosol e fenol como os principais constituintes testados. Os resultados indicam que os ácidos pirolenhosos apresentam atividades antifúngicas promissoras contra *F. proliferatum*, tanto em condições *in vitro* quanto

in vivo, sugerindo seu potencial como produto natural e ecologicamente correto, podendo servir como alternativa aos fungicidas sintéticos.

À vista dos dados apresentados, os compostos foram tabulados e avaliados entre as espécies e comparados com dados apresentados na literatura atual sobre o licor pirolenhoso de variadas espécies (Quadro 6).

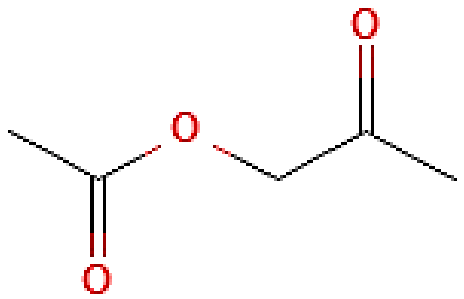
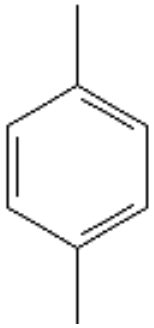
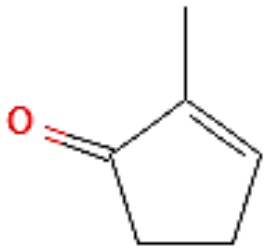
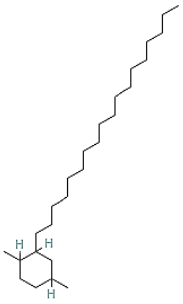
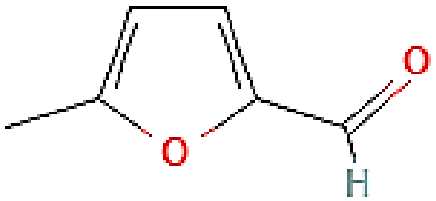
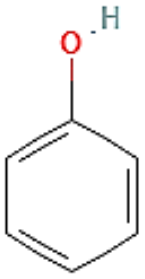
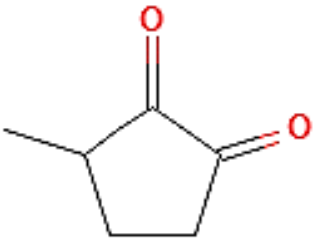
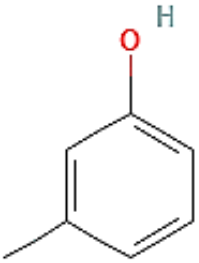
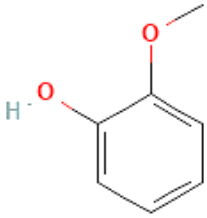
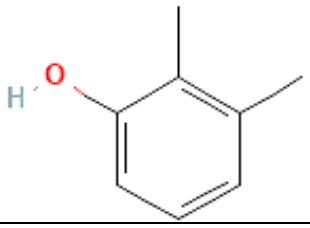
Quadro 6: Lista de compostos identificados no licor pirolenhoso das biomassas residuais amazônicas

Compostos	Espécies						Literatura
Acetato de 1,2-epóxi-3-propila							
Butanodial							1, 2
2- Oxopropanoato de metila (Piruvato de metila)							
Furfural							3, 5, 6
Ciclopent-2-en-1-ona							3
2-Furanmetanol (Álcool furfurílico)							2
1-(Acetiloxi)-propan-2-ona (Acetoxiacetona)							
p-Xileno							
2-Metilciclopent-2-en-1-ona							1
1,4-Dimetil-2-octadecil-cicloexano							
5-Metil-2-Furancarboxaldeído							3, 5, 6
Fenol							1, 2, 3, 4, 5, 6
3-Metil-Ciclopetano-1,2-diona							3
3-Metilfenol (*m*-Cresol)							1, 3, 4
2-Metoxifenol (Guaiacol)							3, 4, 6
2,3-dimetilfenol (*o*-Xilenol)							3
2-Metoxi-4-metilfenol (*p*-Cresol)							3, 4, 5, 6
4-Etil-2-metoxifenol (*p*-etilguaiacol)							3, 6
2-Metoxi-4-vinilfenol (*p*-Vinilguaiacol)							
2,6-Dimetoxifenol (Siringol)							1, 2, 3, 4, 5, 6
3-Alil-6-metoxifenol							
2-Metóxi-4-(prop-1-enil)fenol (Isoeugenol)							3
3-Hidróxi-4-metóxibenzaldeído (Formilguaiacol)							
1-(4-Hidróxi-3-metoxifenil)etanona (Acetovanilona)							
5-*terc*-Butilpirogalol							1, 2
1-(4-Hidróxi-3-metoxifenil)propano-2-ona (Guaiacilacetona)							
3-*terc*-Butil-4-hidroxianisol							
2,6-Dimetóxi-4-(prop-2-enil)fenol (Metoxieugenol)							3
(Z, Z)–3,4-dietil-hexa-2,4-dienodiato de dimetila							3
1-(2,6-Diidroxi-4-metoxifenil)butan-1ona (Desaspidinol)							3

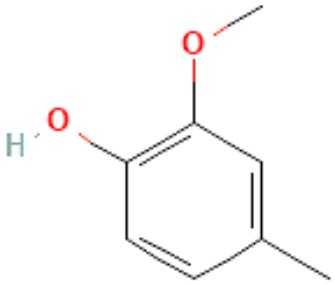
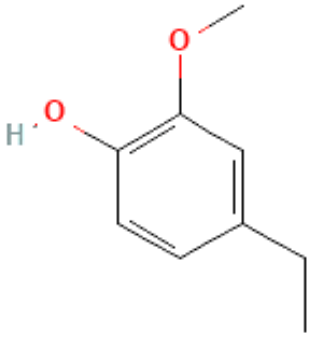
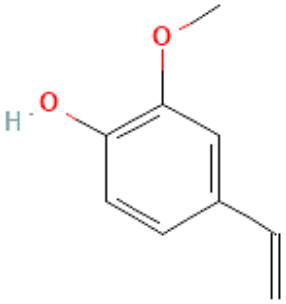
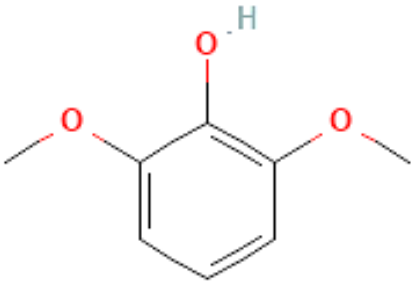
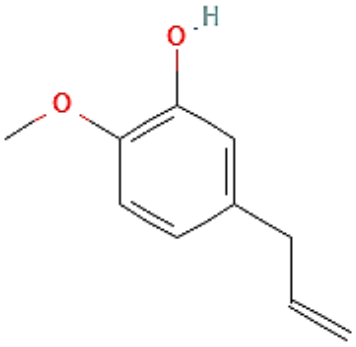
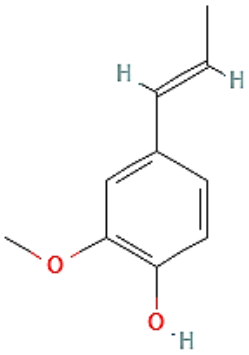
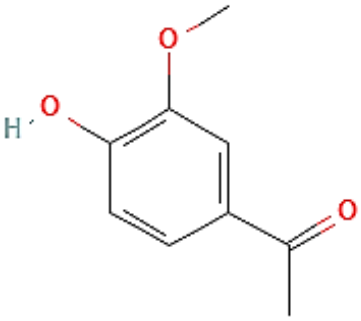
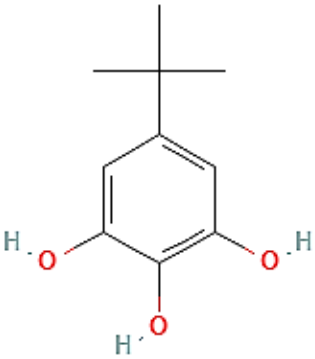
Legenda: *Ecclinusa spp*.: .: ;*Pouteria cf. Oblanceolata* Pires: ; *Protium cf. altissimum* (Aubl.) Marchand: ; *Goupia glabra* Aubl.: ; *Inga* spp: ; *Manilkara* spp: ; 1: ALMEIDA *et al*. (2019a); 2: ALMEIDA *et al*. (2019b); 3: GAMA *et al*. (2023); 4: IACOMINO *et al*. (2024); 5: ORAMAHI *et al*. (2020); 6: PRIANTO *et al*. (2020).

As estruturas químicas dos principais compostos identificados encontram-se representadas no Quadro 7.

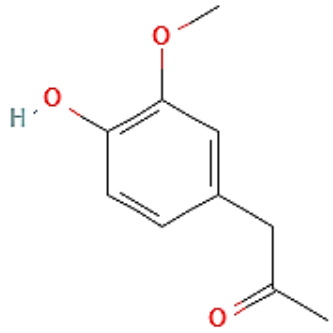
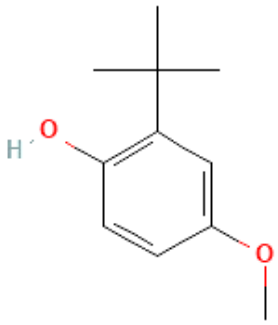
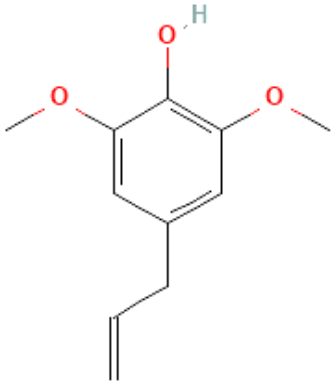
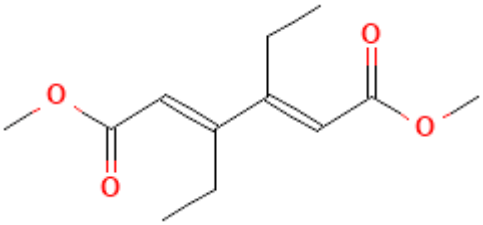
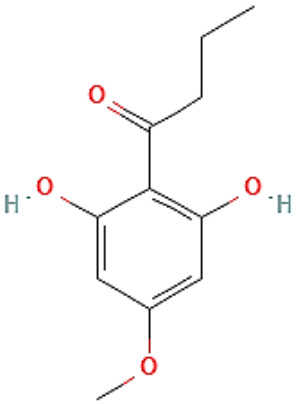
Quadro 7: Formula química dos compostos identificados no licor pirolenhoso das biomassas residuais amazônicas

1-(Acetiloxi)-propan-2-ona (Acetoxiacetona)	*p*-Xileno
	
2-Metilciclopent-2-en-1-ona	1,4-Dimetil-2-octadecil-cicloexano
	
5-Metil-2-Furancarboxaldeído	Fenol
	
3-Metil-Ciclopetano-1,2-diona	3-Metilfenol (*m*-Cresol)
	
2-Metoxifenol (Guaiacol)	2,3-dimetilfenol (*o*-Xilenol)
	

Quadro 7: Formula química dos compostos identificados no licor pirolenhoso das biomassas residuais amazônicas *(continuação)*

2-Metoxi-4-metilfenol (*p*-Cresol)	4-Etil-2-metoxifenol (*p*-etilguaiacol)
	
2-Metoxi-4-vinilfenol (*p*-Vinilguaiacol)	2,6-Dimetoxifenol (Siringol)
	
3-Alil-6-metoxifenol	2-Metóxi-4-(prop-1-enil)fenol (Isoeugenol)
	
1-(4-Hidróxi-3-metoxifenil)etanona (Acetovanilona)	5-*terc*-Butilpirogalol
	

Quadro 7: Formula química dos compostos identificados no licor pirolenhoso das biomassas residuais amazônicas *(continuação)*

1-(4-Hidróxi-3-metoxifenil)propano-2-ona (Guaiacilacetona)	3-*terc*-Butil-4-hidroxianisol
	
2,6-Dimetóxi-4-(prop-2-enil)fenol (Metoxieugenol	*(Z, Z)*–3,4-dietil-hexa-2,4-dienodiato de dimetila
	
1-(2,6-Diidroxi-4-metoxifenil)butan-1ona (Desaspidinol)	
	

Um estudo visou avaliar a ação antimicrobiana de dois tipos de licor pirolenhoso um derivado de madeira de *Eucalyptus urograndis* e outro de biomassa de *Bambusa vulgaris*, além de determinar seu perfil químico. A eficácia antimicrobiana foi testada contra várias cepas bacterianas e fúngicas. O efeito contra atividade microbiana foi avaliado nas espécies *Staphylococcus aureus*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Salmonella enteritidis*, *Escherichia coli*, *Streptococcus agalactiae* e *Candida albicans*. O principal componente no licor pirolenhoso de eucalipto foi o furfural (17,2%) e fenol (15,3%) no licor pirolenhoso de bambu e ambos

apresentaram compostos como ácido acético, furfural, fenol, cresóis, guaiacol e xilenol. O potencial de ambos os licores pirolenhosos como base para produtos antimicrobianos naturais apresenta viabilidade devido ao seu comprovado efeito na inibição do crescimento dos microrganismos avaliados neste experimento (GAMA *et al*., 2023).

Conforme observado por Yang *et al*., (2020), os produtos naturais derivados de furfural demonstraram notável eficácia antimicrobiana contra *E. coli*, *C. albicans* e *S. aureus*. Essa constatação reforça o potencial dos resíduos lignocelulósicos de várias fontes, incluindo o bagaço de cana-de-açúcar, como agentes antimicrobianos. Além disso, o furfural é um recurso essencial para o *design* de solventes de base biológica. Geralmente, os solventes de base biológica beneficiam-se de uma produção renovável, biodegradabilidade e menor toxicidade (FARRÁN *et al*., 2015).

O composto isoeugenol atrai muita atenção devido a biotransformação em vanilina através de lipoxigenase apresentado por Wang *et al*. (2005). Adilina *et al*. (2012) realizou a conversão de isoeugenol em vanilina empregando um catalisador heterogêneo à base de porfirina de cobalto (II), ainda Wang *et al*. (2021) apresentou a biossíntese enzimática de vanilina por recombinação de isoeugenol monooxigenase de *Pseudomonas nitroreducens* Jin1. Adicionalmente, o isoeugenol apresenta potencial para a criação de diversos compostos valiosos, incluindo polímeros (HABIB *et al*.,2017) e resinas epóxi (RUIZ *et al*., 2020). Pourchet *et al*. (2019), sintetizou e caracterizou integralmente um retardante de chama à base de fosfato reativo, obtido a partir de isoeugenol, visando aprimorar as propriedades de retardamento de chama em termofixos epóxi de origem biológica.

O guaiacol é amplamente utilizado na medicina para a síntese do benzoato de guaiacol (sulfonato de guaiacol de potássio), apresentando aplicações como anestésico local ou antisséptico, e no preparo de soluções orais para expectoração e tratamento de indigestão (DE SOUZA *et al*., 2018). Guaiacol é utilizado em uma ampla gama de aplicações industriais e frequentemente aplicado na produção de uma variedade de fragrâncias, como eugenol, vanilina e almíscar artificial (HISCOX *et al*., 2017). De acordo com o estudo realizado por Rodrigues *et al*. (2022), o guaiacol apresentou-se como substituto eficaz e eficiente da difenilamina na aplicação como estabilizador de propelente para propulsores à base de nitrocelulose. O desenvolvimento de propulsores verdes é uma iniciativa moderna no campo dos materiais energéticos visando extinguir o uso de substâncias utilizadas em propulsores suspeitos de serem prejudiciais para os seres humanos e para o meio ambiente.

Costa *et al*. (2021) identificaram o efeito anticancerígeno promissor do metoxieugenol em células cancerígenas do endométrio, os resultados demonstraram aumento dos níveis de

espécies reativas de oxigênio, desencadeando instabilidade mitocondrial e modulando células vias de sinalização que levam à inibição da proliferação celular. Para mais, o metoxieugenol é proposto como uma abordagem terapêutica nova e potencial para tratar doenças hepáticas crônicas e fibrose, demonstrando exercer um efeito protetor, aprimorando os parâmetros inflamatórios e reduzindo a fibrose. (BASSO *et al*., 2021).

Appaturi *et al*. (2017) sintetizaram catalisadores KIT-6 incorporados com titânio, por meio de uma abordagem simplificada de sol-gel. Esses catalisadores foram devidamente caracterizados e sua aplicação catalítica foi otimizada em uma reação de alcoólise envolvendo álcool furfurílico. Ademais, estudo realizado por Arnaiz *et al*. (2019), apresentou um capacitor de íons de lítio baseado em eletrodos de carbono preparados a partir de polímeros derivados de álcool furfurílico.

Em um estudo, foram obtidos diferentes tipos de bisfenóis a partir do creosol, a partir de síntese e seleção criteriosa dos grupos funcionais no anel e do catalisador. Assim foi possível o controle dos produtos de condensação, permitindo que as reações fossem realizadas com quantidades estequiométricas de fenol, destacam esses fenóis como promissores precursores renováveis e sustentáveis (MEYLEMANS *et al*., 2012). Ainda, foi realizado um processo de síntese para obter bicicloalcanos de alta densidade, na faixa de combustíveis de aviação, a partir do creosol. O oxigenato foi obtido por meio de uma condensação fenólica do creosol. Este composto apresenta potencial como aditivo de combustível para aprimorar o valor calorífico volumétrico dos biocombustíveis atuais para aviação (REN *et al*., 2023).

A proposta do estudo realizado por Abd El-Ghafar *et al*. (2021) investigou os efeitos protetores da acetovanilona contra a hepatotoxicidade causada pelo metotrexato e os resultados indicaram que a acetovanilona apresentou-se promissora como adjuvante para atenuar a hepatotoxicidade do metotrexato e/ou potencializar sua eficácia antitumoral *in vitro*.

Na produção de carvão vegetal, a escolha dos parâmetros florestais, composição química imediata, poder calorífico superior, teores de lignina e extrativo são essenciais para otimizar a qualidade do carvão. A remoção de resíduos florestais, como galhos e troncos menores, durante o processo de manejo florestal traz benefícios adicionais. Esses resíduos, se deixados na floresta, poderiam aumentar o risco de incêndios e dificultar a regeneração natural além da liberação de gases por decomposição. Ao retirá-los para a produção de carvão, além de se obter um produto de alto valor energético, promove-se um ambiente mais favorável à regeneração florestal.

Como diversas pesquisas têm demonstrado, o licor pirolenhoso obtido a partir de biomassas residuais amazônicas destinadas à carbonização revela um potencial multifacetado de aplicações comerciais. Na indústria farmacêutica, os compostos extraídos desse licor são utilizados em medicamentos com propriedades terapêuticas, enquanto na agroindústria eles atuam como adjuvantes naturais em fertilizantes e pesticidas, promovendo uma agricultura mais sustentável. Além disso, na química fina, esses compostos são fundamentais para a síntese de produtos químicos de alto valor agregado.

Um aspecto crucial a ser destacado é a recuperação do licor pirolenhoso, um coproduto da pirólise tradicionalmente liberado como efluente atmosférico, contribuindo para a poluição do ar. A recuperação desse material não apenas apresenta uma vantagem econômica significativa, ao transformar resíduos em recursos, mas também traz benefícios ambientais ao mitigar os impactos negativos associados à sua liberação. Empresas no Brasil já estão adotando essa prática, especialmente na recuperação do alcatrão vegetal e extrato pirolenhoso proveniente da carbonização de espécies de eucalipto. Esse processo é um exemplo claro de economia circular, em que a biomassa é reutilizada em ciclos adicionais dentro da cadeia produtiva, maximizando o valor da matéria-prima e reduzindo a geração de resíduos.

Ao integrar essa abordagem, o setor não apenas valoriza os recursos naturais, mas também contribui para a redução da poluição atmosférica, promovendo um ciclo produtivo mais sustentável e responsável. A recuperação e reutilização de coprodutos como o alcatrão vegetal evidenciam um compromisso com a sustentabilidade, alinhando o desenvolvimento econômico com a preservação ambiental. Essa prática não só impulsiona a inovação tecnológica e o aproveitamento eficiente de recursos, mas também reflete uma mudança de paradigma na gestão de resíduos, em que cada componente da biomassa é valorizado, transformando um possível passivo ambiental em um ativo econômico. Este movimento, ao efetivar a economia circular, estabelece um modelo que pode ser replicado em diversas indústrias, fortalecendo a sustentabilidade como eixo central de desenvolvimento.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As biomassas lenhosas amazônicas estudadas apresentaram os seguintes valores: extrativos em acetona (1,2% – 6,7%), extrativos em hexano (1,2% – 2,0%), extrativos totais (3,7% – 12,8%), lignina (24,7% – 30,7%), holocelulose (20,1% – 26,8%), materiais voláteis (76,97% – 82,64%), teores de cinzas (0,95% – 1,80%) e teor de carbono fixo (16,34% – 21,98%), a faixa de poder calorífico superior variou entre (4604 e 4777 MJ/kg). Esses resultados

estão em conformidade com a literatura existente sobre biomassas utilizadas como insumo na produção de carvão vegetal.

A extração dos extrativos das biomassas residuais amazônicas permitiu identificar qualitativamente a presença de compostos como 2,4-bis(1,1-Dimetiletil)fenol, Nonadec-1-eno e Ácido erúcico, que possuem aplicações potenciais na química fina. Esses compostos demonstram que os resíduos florestais amazônicos podem ser valorizados para usos mais nobres, além da produção de carvão. No entanto, é crucial realizar uma pesquisa quantitativa para confirmar a viabilidade dessas aplicações e determinar a concentração exata desses compostos nas biomassas analisadas.

Neste estudo foi possível a prospecção qualitativa dos compostos presentes no licor pirolenhoso das biomassas residuais amazônicas, tais quais Guaiacol, Cresol, Siringol, *p*-Etilguaiacol, Furfural, Isoeugenol, Metoxieugenol e Fenol entre outros, a reintegração desses coprodutos na cadeia comercial não apenas representa uma estratégia ambientalmente responsável, mas também oferece um potencial bioeconômico considerável, especialmente em regiões como a Amazônia. Essa abordagem não só se alinha com os objetivos de desenvolvimento sustentável, como os números 3, 8, 9, 10, 11, 12 e 13, mas também demonstra um compromisso tangível com a promoção de práticas econômicas ecológicas e socialmente benéficas.

Em perspectivas futuras, indica-se o aprofundamento do conhecimento dos compostos identificados, em questões qualitativas e quantitativas para evidenciar possíveis aplicações da química fina, para separação e síntese dessas substâncias de forma a serem comercializadas.

7. REFERÊNCIAS

Abd El-Ghafar, O. A., Hassanein, E. H., Sayed, A. M., Rashwan, E. K., Shalkami, A. G. S., & Mahmoud, A. M. Acetovanillone prevents cyclophosphamide-induced acute lung injury by modulating pi3k/akt/mtor and nrf2 signaling in rats. **Phytotherapy research**, v. 35, n. 8, p. 4499-4510, 2021.

Adilina, I. B., Hara, T., Ichikuni, N., Shimazu, S. Oxidative cleavage of isoeugenol to vanillin under molecular oxygen catalysed by cobalt porphyrin intercalated into lithium taeniolite clay. **Journal of Molecular Catalysis A: Chemical**, v. 361, p. 72-79, 2012.

Almeida, R. S. R., Taccini, M. M., de Moura, L. F., Ceribelli, U. L., Brito, J. O., & Gloria, E. M. D. Potential of pyroligneous extract of Eucalyptus wood as a preservative of cosmetic and sanitizing products. **Waste and Biomass Valorization**, v. 10, p. 1111-1118, 2019.

Almeida, R. S. R., Taccini, M. M., de Moura, L. F., Ceribelli, U. L., Brito, J. O., & Millan, M. Effect of storage time on the chemical characterization of pyroligneous liquor from Eucalyptus wood. **Waste and Biomass Valorization**, v. 10, p. 399-405, 2019b.

Almeida, K. S., Soares, R. A. L., de Matos, J. M. E., & Almeida, C. D. S. M. Diagnóstico ambiental do setor de cerâmica vermelha na região de Oeiras (PI). **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 14, n. 2, p. 429-440, 2021.

Appaturi, J. N., Johan, M. R., Ramalingam, R. J., Al-Lohedan, H. A., & Vijaya, J. J. Efficient synthesis of butyl levulinate from furfuryl alcohol over ordered mesoporous Ti-KIT-6 catalysts for green chemistry applications. **RSC advances**, v. 7, n. 87, p. 55206-55214, 2017.

Arnaiz, M., Nair, V., Mitra, S., & Ajuria, J. Furfuryl alcohol derived high-end carbons for ultrafast dual carbon lithium-ion capacitors. **Electrochimica Acta**, v. 304, p. 437-446, 2019.

Assis, M. R., de Paula Protásio, T., de Assis, C. O., Trugilho, P. F., & Santana, W. M. S. Qualidade e rendimento do carvão vegetal de um clone híbrido de Eucalyptus grandis x Eucalyptus urophylla. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 32, n. 71, p. 291-291, 2012.

Associação Brasileira De Normas Técnicas. ABNT NBR 16409:2015. **Ferrogusa a carvão vegetal Orientações para a produção sustentável**. 2015.

ASTM (American Society for Testing and Materials) D1762-84, 2013, **Standard test method for chemical analysis of wood charcoal**, ASTM International, Pennsylvania, USA.

Balachandar, R., Karmegam, N., Saravanan, M., Subbaiya, R., & Gurumoorthy, P. Synthesis of bioactive compounds from vermicast isolated actinomycetes species and its antimicrobial activity against human pathogenic bacteria. **Microbial pathogenesis**, v. 121, p. 155-165, 2018.

Basso, B. S., B., Haute, G. V., Ortega-Ribera, M., Luft, C., Antunes, G. L., Bastos, M. S. & de Oliveira, J. R. Methoxyeugenol deactivates hepatic stellate cells and attenuates liver fibrosis and inflammation through a PPAR-ɣ and NF-kB mechanism. **Journal of ethnopharmacology**, v. 280, p. 114433, 2021.

Bersalli, G., Menanteau, P., & El-Methni, J. Renewable energy policy effectiveness: A panel data analysis across Europe and Latin America. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 133, p. 110351, 2020.

Bilgen, S., Keleş, S., Sarıkaya, İ., & Kaygusuz, K. A perspective for potential and technology of bioenergy in Turkey: Present case and future view. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 48, p. 228-239, 2015.

Bimestre, T. A., Silva, F. S., Tuna, C. E., dos Santos, J. C., de Carvalho Jr, J. A., & Canettieri, E. V. Physicochemical characterization and thermal behavior of different wood species from the amazon biome. **Energies**, v. 16, n. 5, p. 2257, 2023.

Brand, M.A. **Energia de biomassa florestal**. Rio de Janeiro, RJ, 2010. 131p. ISBN: 978-85-7193-244-9.

Brand, M. A., Cunha, A. B., Carvalho, A. D., Brehmer, D. R., & Küster, L. C. Análise da qualidade da madeira e do carvão vegetal produzido a partir da espécie Miconia cinnamomifolia (De Candolle) Naudin (Jacatirão-açu) na agricultura familiar, em Biguaçu, Santa Catarina. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 41, n. 99, p. 401-410, 2013.

Brand, M. A., Rodrigues, A. A., Oliveira, A. D., Machado, M. S., & Zen, L. R. Qualidade do carvão vegetal para o consumo doméstico comercializado na região serrana sul de Santa Catarina. **Revista Árvore**, v. 39, p. 1165-1173, 2015.

BRASIL. Instrução Normativa nº 5, de 11 de dezembro de 2006. Altera as Diretrizes para o Manejo Florestal em escala empresarial na Amazônia. **Diário Oficial da União**, n. 238, p. 155-159, 2006.

BRASIL. Lei n. 11.284, de 02 de março de 2006. **Dispõe sobre a gestão de florestas públicas para a produção sustentável**. Brasília: DOU, 2006.

Brito, J. O. Principles for the production and utilization of the vegetal coal derived from wood; Princípios de produção e utilização de carvão vegetal de madeira. **Documentos florestais**, 1990.

Bridgwater, A. V. Review of fast pyrolysis of biomass and product upgrading. **Biomass and bioenergy**, v. 38, p. 68-94, 2012.

Bonanomi, G., Jesu, G., Zotti, M., Idbella, M., d'Errico, G., Laudonia, S., ... & Abd-ElGawad, A. Biochar-derived smoke-water exerts biological effects on nematodes, insects, and higher plants but not fungi. **Science of The Total Environment**, v. 750, p. 142307, 2021.

Castro, J. P., Nobre, J. R. C., Napoli, A., Bianchi, M. L., Moulin, J. C., Chiou, B. S., ... & Tonoli, G. H. Massaranduba sawdust: A potential source of charcoal and activated carbon. **Polymers**, v. 11, n. 8, p. 1276, 2019.

Castro, A. F. N. M., Castro, R. V. O., Carneiro, A. D. C. O., Lima, J. E. D., Santos, R. C. D., Pereira, B. L. C., & Alves, I. C. N. Análise multivariada para seleção de clones de eucalipto destinados à produção de carvão vegetal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 48, p. 627-635, 2013.

Carazza, F., & Okuma, A. A. Alcatrao de Eucalyptus fonte de aromas e sabores. **Extended abstracts XI Seminário Carboquımicos. Santos, Brazil: Associaçao Brasileira deMetalurgia**, p. 271-9, 2000.

Cardoso, M. T., Damásio, R. A. P., Carneiro, A. D. C. O., Jacovine, L. A. G., Vital, B. R., & Barcelos, D. C. Construção de um sistema de queima de gases da carbonização para redução da emissão de poluentes. **Cerne**, v. 16, p. 115-124, 2010.

Carneiro, A. C. O., Vital, B. R., Oliveira, A. C., & Pereira, B. L. C. Pirólise lenta da madeira para produção de carvão vegetal. **Santos F, Colodette J, Queiroz JH, organizadores. Bioenergia & biorrefinaria: cana-de-açúcar & espécies florestais. Visconde do Rio Branco: Suprema Gráfica e Editora**, 2013.

Cavalcanti, E. J., Carvalho, M., & Azevedo, J. L. Exergoenvironmental results of a eucalyptus biomass-fired power plant. **Energy**, v. 189, p. 116188, 2019.

CGEE. Modernização da produção de carvão vegetal no Brasil: subsídios para revisão do Plano Siderurgia – Brasília: **Centro de Gestão e Estudos Estratégicos**, 2015.

Chen, Y., & Dai, G. Acaricidal, repellent, and oviposition-deterrent activities of 2, 4-di-tert-butylphenol and ethyl oleate against the carmine spider mite Tetranychus cinnabarinus. **Journal of Pest Science**, v. 88, p. 645-655, 2015.

Chies, V., & Pichelli, K. Carvão vegetal: de problema a solução sob holofotes negativos por casos de produção em condições inadequadas, biocombustível pode conferir sustentabilidade à produção de aço. 2015.

Chio, C., Sain, M., & Qin, W. Lignin utilization, a review of lignin depolymerization from various aspects. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 107, 232-249, 2019.

Costa, B. P., Nassr, M. T., Diz, F. M., Fernandes, K. H. A., Antunes, G. L., Grun, L. K., ... & de Oliveira, J. R. Methoxyeugenol regulates the p53/p21 pathway and suppresses human endometrial cancer cell proliferation. **Journal of Ethnopharmacology**, v. 267, p. 113645, 2021.

Couto, G. M., Dessimoni, A. L. D. A., Bianchi, M. L., Perígolo, D. M., & Trugilho, P. F. Use of sawdust Eucalyptus sp. in the preparation of activated carbons. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 36, n. 1, p. 69-77, 2012.

Cretton, S., Oyarzún, A., Righi, D., Sahib, L., Kaiser, M., Christen, P., & Fajardo, V. A new antifungal and antiprotozoal bibenzyl derivative from Gavilea lutea. **Natural product research**, 2018-03, Vol.32 (6), p.695-701, 2018.

Demirbas, A., & Demirbas, M. F. Importance of algae oil as a source of biodiesel. **Energy conversion and management**, v. 52, n. 1, p. 163-170, 2011.

De Jong, E. D., & Gosselink, R. J. Lignocellulose-based chemical products. In: **Bioenergy research: advances and applications**. Elsevier, p. 277-313, 2014.

De Souza, A. E., Pimenta, A. S., Feijó, F. M. C., Castro, R. V. O., Fasciotti, M., Monteiro, T. V. C., & De Lima, K. M. G. Antibacterial and antifungal activities of pyroligneous acid from wood of *Eucalyptus urograndis* and *Mimosa tenuiflora*. **Journal of Applied Microbiology**, v. 124, n. 1, p. 85-96, 2018.

De Wild, P. J., Huijgen, W. J., & Gosselink, R. J. Lignin pyrolysis for profitable lignocellulosic biorefineries. **Biofuels, Bioproducts and Biorefining**, v. 8, n. 5, p. 645-657, 2014.

Donate, P. M. Síntese Ambientalmente Correta a partir de Biomassa. **Orbital: the electronic journal of chemistry**, v. 6, n. 2, 2014.

Donato, D. B., Magalhões, M. A., Carneiro, A. D. C. O., da Silva, C. M. S., Canal, W. D., & da Silva, M. L. Viabilidade econômica de diferentes sistemas de produção de carvão vegetal em escala industrial. **Revista Ciência da Madeira (Brazilian Journal of Wood Science)**, v. 8, n. 3, 2017.

Eloy, E., Silva, D. A. D., Schmidt, D., Trevisan, R., Caron, B. O., & Elli, E. F. Effect of planting age and spacing on energy properties of Eucalyptus grandis W. Hill ex Maiden. **Revista Árvore**, v. 40, n. 4, p. 749-758, 2016.

EPE - Empresa de Pesquisa Energética**. Potencial energético de resíduos florestais do manejo sustentável e de resíduos da industrialização da madeira**. Rio de Janeiro: MME/EPE, 2018.

Espada, A. L. V., Pires, I. P., Lentini, M. A., & Bittencourt, P. R. Manejo florestal e exploração de impacto reduzido em florestas naturais de produção da Amazônia. **Informativo Técnico I IFT. Belém, IFT**, p. 32, 2015.

Farrán, A., Cai, C., Sandoval, M., Xu, Y., Liu, J., Hernáiz, M. J., & Linhardt, R. J. Green solvents in carbohydrate chemistry: from raw materials to fine chemicals. **Chemical reviews**, v. 115, n. 14, p. 6811-6853, 2015.

Fatima S., Hu, X., Gong, R. H., Huang, C., Chen, M., Wong, H. L. X., *Et al*. Palmitic acid is an intracellular signaling molecule involved in disease development. **Cellular and Molecular Life Sciences**. v. 76, n. 13, 2547-57, 2019.

Ferreira, L. R. A., Otto, R. B., Silva, F. P., De Souza, S. N. M., De Souza, S. S., & Junior, O. A. Review of the energy potential of the residual biomass for the distributed generation in Brazil. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 94, p. 440- 455, 2018.

Fileto-Pérez, Héctor A., Rutiaga-Quiñones, O. M., Sytsma, M. D., Lorne, I. M., Luo, W., Pankow, J. F., & Rutiaga-Quiñones, J. G. GC/MS analysis of some extractives from Eichhornia crassipes. **BioResources**, 2015.

Frederico, P. G. U. Efeito da região e da madeira de eucalipto nas propriedades do carvão vegetal. 2009. 86 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2009

Füchtner, S., Brock-Nannestad, T., & Thygesen, L. G. Hydrophobic and hydrophilic extractives in Norway spruce and Kurile larch and their role in brown-rot degradation. **Frontiers in plant science**, v. 11, p. 855, 2020.

García, R., Pizarro, C., Lavín, A. G., & Bueno, J. L. Characterization of Spanish biomass wastes for energy use. **Bioresource technology**, v. 103, n. 1, p. 249-258, 2012.

Gama, G. S. P., Pimenta, A. S., Feijó, F. M. C., Santos, C. S., Fernandes, B. C. C., De Oliveira, M. F., ... & Júnior, A. F. D. Antimicrobial activity and chemical profile of wood vinegar from eucalyptus (Eucalyptus urophylla x Eucalyptus grandis-clone I144) and bamboo (Bambusa vulgaris). **World Journal of Microbiology and Biotechnology**, v. 39, n. 7, p. 186, 2023.

Gominho, J., Lourenço, A., Marques, A. V., & Pereira, H. An extensive study on the chemical diversity of lipophilic extractives from Eucalyptus globulus wood. **Phytochemistry**, v. 180, p. 112520, 2020.

Gong, A. D., Li, H. P., Zhang, J. B., Wu, A. B., He, W. J., & Liao, Y. C. The Shewanella algae strain YM8 produces volatiles with strong inhibition activity against Aspergillus pathogens and aflatoxins. **Frontiers in Microbiology**, v. 6, p. 1091, 2015.

Gouvêa, A. F. G., Trugilho, P. F., Assis, C. D., Assis, M. R., Colodette, J. L., & Gomes, C. M. Evaluation of syringyl/guaiacyl ratio of eucalypt lignin in the charcoal production. **Ciência da Madeira**, v. 6, n. 2, p. 71-78, 2015.

Habib, M. H., Deuss, P. J., Lončar, N., Trajkovic, M., & Fraaije, M. W. A biocatalytic One-Pot approach for the preparation of lignin oligomers using an oxidase/peroxidase cascade enzyme system. **Advanced Synthesis & Catalysis**, v. 359, n. 19, p. 3354-3361, 2017.

Hagner, M., Tiilikkala, K., Lindqvist, I., Niemelä, K., Wikberg, H., Källi, A., & Rasa, K. Performance of liquids from slow pyrolysis and hydrothermal carbonization in plant protection, **Waste Biomass Valorization,** 1–12, 2020.

Hein, P. R. G., Campos, A. C. M., Trugilho, P. F., Lima, J. T., & Chaix, G. Near infrared spectroscopy for estimating wood basic density in Eucalyptus urophylla and Eucalyptus grandis. **Cerne**, Lavras, v. 15, n. 2, p. 133-141, 2009.

Hiscox, J., & Boddy, L. Armed and dangerous–chemical warfare in wood decay communities. **Fungal Biology Reviews**, v. 31, n. 4, p. 169-184, 2017.

Hlosrichok, A., Sumkhemthong, S., Sritularak, B., Chanvorachote, P., & Chaotham, C. A bibenzyl from Dendrobium ellipsophyllum induces apoptosis in human lung cancer cells. **Journal of natural medicines**, 2018-06, Vol.72 (3), p.615-625, 2018.

HOMMA, A. K. Oyama et al. Extrativismo vegetal na Amazônia: história, ecologia, economia e domesticação. 2014.

Hu, A., Liu, Y. L., & Shi, L. K. Widespread occurrence of phthalic acid esters in raw oilseeds in China used for edible vegetable oil production. **Food Additives & Contaminants: Part A**, v. 33, n. 9, p. 1421-1427, 2016.

Huang, C. H., Chen, M. F., Chung, H. H., & Cheng, J. T. Antihyperglycemic effect of syringaldehyde in streptozotocin-induced diabetic rats. **Journal of Natural Products**, v. 75, n. 8, p. 1465-1468, 2012.

Iacomino, G., Idbella, M., Staropoli, A., Nanni, B., Bertoli, T., Vinale, F., & Bonanomi, G. Exploring the Potential of Wood Vinegar: Chemical Composition and Biological Effects on Crops and Pests. **Agronomy**, v. 14, n. 1, p. 114, 2024.

IBÁ. INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. **Relatório Anual 2020 (Ano base 2019).** 2020. Disponível em: <https://www.iba.org/publicacoes>. Acesso em: 25 de maio de 2023.

IBÁ. INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. **Relatório Anual 2022 (Ano base 2021).** 2022. Disponível em: <https://www.iba.org/publicacoes>. Acesso em: 19 abril de 2023.

Ibrahim, N. A., Hadithon, K. A., & Abdan, K. Effect of fiber treatment on mechanical properties of kenaf fiber-ecoflex composites. **Journal of Reinforced Plastics and Composites**, v. 29, n. 14, p. 2192-2198, 2010.

Ibrahim, R. H. H., Darvell, L. I., Jones, J. M., & Williams, A. Physicochemical characterisation of torrefied biomass. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**, v. 103, p. 21-30. Sep. 2013.

IEA, International Energy Agency, 2018**. World Energy Outlook 2018**. IEA. France.

Janakiraman, N., Janakiraman, N., & Johnson, M. Phytochemical Analysis of Vitex altissima L. using UV-VIS and FTIR. **International Journal of Pharmaceutical Science Drug Research**, v. 4, p. 56-62, 2012.

Jiang, Y., Lu, J., Sun, K., Ma, L., & Ding, J. Esterification of oleic acid with ethanol catalyzed by sulfonated cation exchange resin: Experimental and kinetic studies. **Energy Conversion and Management**, v. 76, p. 980-985, 2013.

Jin, C., Yao, Q., Li, J., Fan, B., & Sun, Q. "Fabrication, superhydrophobicity, and microwave absorbing properties of the magnetic γ-Fe2O3/bamboo composites", **Materials & Design**, v. 85, pp. 205-210, 2015.

Kan, T., Strezov, V., & Evans, T. J. Lignocellulosic biomass pyrolysis: A review of product properties and effects of pyrolysis parameters. **Renewable and Sustainable Ener**gy Reviews. v.57, p.1126-1140, 2016.

Kadir, R., & Hassan, B. Toxicity and repellent effects of wood extractives of five Malaysian wood species on Asian subterranean termite Coptotermes gestroi Wasmann. **European Journal of Wood and Wood Products**, v. 78, n. 6, p. 1249-1262, 2020.

Kara, M., Soylu, S., Soylu, E. M., Uysal, A., Kurt, Ş., & Türkmen, M. Determination of the chemical composition and antifungal activity of wood vinegar (pyroligneous acid) against the onion bulb rot disease caused by Fusarium proliferatum. **Gesunde Pflanzen**, p. 1-11, 2023.

Kausar, T., Jabeen, K., Javaid, A., & Iqbal, S. Herbicidal efficacy of culture filtrates of Alternaria brassicicola and Alternaria gaisen against parthenium weed. **Advances in Weed Science**, v. 40, p. e02224640, 2022.

Kirker, G. T., Blodgett, A. B., Arango, R. A., Lebow, P. K., & Clausen, C. A. The role of extractives in naturally durable wood species. **International Biodeterioration & Biodegradation**, v. 82, p. 53-58, 2013.

KLASS, D. L. **Biomass for renewable energy, fuels, and chemicals**. Elsevier, 1998.

Kuo, M. L., McClelland, J. F., Luo, S., Chien, P. L., Walker, R. D., & Hse, C. Y. Applications of infrared photo-acoustic spectroscopy for wood samples. **Wood & Fiber Science**, v. 20, n. 1, p. 132-145, 1988.

Lee, H. V., Hamid, S. B. A., & Zain, S. K. Conversion of lignocellulosic biomass to nanocellulose: Structure and chemical process. **Scientific World Journal**, v. 2014, 2014.

Lima, M. D. R., Simetti, R., de Assis, M. R., Trugilho, P. F., Carneiro, A. D. C. O., Bufalino, L., ... & de Paula Protásio, T. Charcoal of logging wastes from sustainable forest management for industrial and domestic uses in the Brazilian Amazonia. **Biomass and Bioenergy**, v. 142, p. 105804, 2020a.

Lima, M. D. R., Simetti, R., de Assis, M. R., Trugilho, P. F., Carneiro, A. D. C. O., Bufalino, L., ... & de Paula Protásio, T. Logging wastes from sustainable forest management as alternative fuels for thermochemical conversion systems in Brazilian Amazon. **Biomass and Bioenergy**, v. 140, p. 105660, 2020b.

Lin, L., Ding, Y., Wang, Y., Wang, Z., Yin, X., Yan, G., ... & Shen, H. Functional lipidomics: Palmitic acid impairs hepatocellular carcinoma development by modulating membrane fluidity and glucose metabolism. **Hepatology**, v. 66, n. 2, p. 432-448, 2017.

Liu, X., Kris-Etherton, P. M., West, S. G., Lamarche, B., Jenkins, D. J., Fleming, J. A., ... & Jones, P. J. Effects of canola and high-oleic-acid canola oils on abdominal fat mass in individuals with central obesity. **Obesity**, v. 24, n. 11, p. 2261-2268, 2016.

López-González, D., Fernandez-Lopez, M., Valverde, J. L., & Sanchez-Silva, L. Thermogravimetric-mass spectrometric analysis on combustion of lignocellulosic. **Bioresource Technology**, v.143, p.562-574, 2013.

Lovaglio, T., D'auria, M., Rita, A., & Todaro, L. Compositions of compounds extracted from thermo-treated wood using solvents of different polarities. **iForest-Biogeosciences and Forestry**, v. 10, n. 5, p. 824, 2017.

Lou, Q., Wu, Y., Ding, H., Zhang, B., Zhang, W., Zhang, Y., ... & Zhong, J. Degradation of sulfonamides in aquaculture wastewater by laccase–syringaldehyde mediator system: Response surface optimization, degradation kinetics, and degradation pathway. **Journal of Hazardous Materials**, v. 432, p. 128647, 2022.

Ma, Q. Z., Peng, W. X., Zhang, D. Q., Wu, Y. Q., & Qi, H. C. Study on bioenergy utilization benzene/ethanol extractives of Eucalyptus urophylla wood by Py-GC/MS. In: **2009 Asia-Pacific Power and Energy Engineering Conference**. IEEE, 2009. p. 1-4.

Marafon, A.C., Santiago, A. D., Amaral, A. F. C., Bierhals, A. N., Paiva, H. L., & Guimarães, V. D. S. Uso da biomassa para a geração de energia. **Aracaju: documentos Embrapa Tabuleiros Costeiros,** 2016. 28 p. (ISSN 1678-1953; 211).

Martins, R., Atanassiv, B., & Mirira, R. Produção sustentável de carvão vegetal: análise sócio-ecológica, estudo de mercados e legislação relevante em Gaza, Maputo e Maputo Cidade: Parte 1 de 2. Maputo: **GreenLight Projects**, 2016.

Medeiros N. P. N. D., Oliveira, E. D., & Paes, J. B. Relações entre as características da madeira e do carvão vegetal de duas Espécies da Caatinga. **Floresta e Ambiente**, v. 21, p. 484-493, 2014.

Mecca, M., Todaro, L., Lo Giudice, V., Lovaglio, T., & D'Auria, M. GC-MS and SPME techniques highlighted contrasting chemical behaviour in the water extractives of modified Castanea sativa mill. And Fagus sylvatica L. wood. **Forests**, v. 12, n. 8, p. 986, 2021.

Medeiros, D. T. D., Melo, R. R. D., Cademartori, P. H. G. D., Batista, F. G., & Mascarenhas, A. R. P. Caracterização da madeira de espécies da Amazônia. **Madera y bosques**, v. 27, n. 2, 2021.

Meylemans, H. A., Groshens, T. J., & Harvey, B. G. Synthesis of renewable bisphenols from creosol. **ChemSusChem**, v. 5, n. 1, p. 206-210, 2012

Menucelli, J. R., Amorim, E. P., Freitas, M. L. M., Zanata, M., Cambuim, J., de Moraes, M. L. T., ... & Longui, E. L. Potential of Hevea brasiliensis clones, *Eucalyptus pellita* and *Eucalyptus tereticornis* wood as raw materials for bioenergy based on higher heating value. **BioEnergy Research**, v. 12, p. 992-999, 2019.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Siderurgia Sustentável** – DF, 2017. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/camaras-setoriaistem aticas/documentos/camaras-setoriais/florestas-plantadas/anos-anteriores/siderurgia-sus tentavel-mma-33.pdf/view>. Acesso em: 20 de abril de 2023.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Produção sustentável de carvão vegetal: manual de operação de sistema fornos-fornalha. Brasília** – DF, 2019.

Mirsoleimani, A., Najafi-Ghiri, M., Boostani, H. R., & Farrokhzadeh, S. Relationships between soil and plant nutrients of citrus rootstocks as influenced by potassium and wood vinegar application. **Journal of Soils and Sediments**, v. 23, n. 3, p. 1439-1450, 2023.

Morais, W. W. C., Brito, J. O., Lana, A. Q., Dias Júnior, A. F., & Morais, J. B. F. Investigating waste generated from logging in the Amazon for energy use. **Scientia Forestalis**, v. 49, n. 132, p. e3712, 2021.

Moutinho, V.H.P., Rocha, J.J.M., Amaral, E.P., Santana, L.G.M., & Águiar, O.J.R., Propriedades químicas e energéticas de madeiras amazônicas do segundo ciclo de corte. **Floresta e Ambiente**, v. 23, p. 443-449, 2016.

Muñiz, G. I. B., Nisgoski, S., Shardosin, F. Z., & França, R. F. Charcoal anatomy of forest species. **Cerne**, v. 18, n. 3, p. 471-477, 2012.

Nascimento, C. S., Nascimento, C. C. D., Araújo, R. D. D., Soares, J. C., & Higuchi, N. Characterization of technological properties of matá-matá wood (Eschweilera coriacea [DC.] SA Mori, E. odora Poepp.[Miers] and E. truncata AC Sm.) by Near Infrared Spectroscopy. **iForest-Biogeosciences and Forestry**, v. 14, n. 5, p. 400, 2021.

Nazir, M. S., Mahdi, A. J., Bilal, M., Sohail, H. M., Ali, N., & Iqbal, H. M. Environmental impact and pollution-related challenges of renewable wind energy paradigm - A review. **Science of the Total Environment**, 683, 436-444, 2019.

Numazawa, C. T., Numazawa, S., Pacca, S., & John, V. M. Logging residues and CO2 of Brazilian Amazon timber: Two case studies of forest harvesting. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 122, p. 280-285, 2017.

Numazawa, C. T., Krasovskiy, A., Kraxner, F., & Pietsch, S. A. Logging residues for charcoal production through forest management in the Brazilian Amazon: economic gains and forest regrowth effects. **Environmental research letters**, v. 15, n. 11, p. 114029, 2020.

Oliveira, A. C., Carneiro, A. D. C., Vital, B. R., Almeida, W., Pereira, B. L. C., & Cardoso, M. T. Parâmetros da qualidade da madeira e do carvão vegetal de *Eucalyptus pellita F. Muell*. **Scientia Forestalis**, v. 38, n. 87, p. 431-439, 2010.

Oramahi, H. A., Yoshimura, T., Rusmiyanto, E., & Kustiati, K. Optimization and characterization of wood vinegar produced by Shorea laevis Ridl wood pyrolysis. **Indonesian Journal of Chemistry**, v. 20, n. 4, p. 825-832, 2020.

Pednekar, P. A., & Raman, B. H. A. N. U. The FT-IR spectrometric studies of vibrational bands of Semecarpus anacardium Linn. F., stem powder and extracts. **Asian Journal of Pharmaceutical and Clinical Research**, v. 6, n. 1, p. 159-198, 2013.

Pena-Vergara, G., Castro, L. R., Gasparetto, C. A., & Bizzo, W. A. Energy from plated forest and its residues characterization in Brazil. **Energy**, v. 239, part C, 2022.

Pereira, B. L. C., Carneiro, A. D. C. O., Carvalho, A. M. M. L., Colodette, J. L., Oliveira, A. C., & Fontes, M. P. F. Influence of chemical composition of Eucalyptus wood on gravimetric yield and charcoal properties. **Bioresources**, Railegh, v. 8, p. 4574-4592, 2013.

Pereira, A. A., Lima, M. D. R., Patrício, E. P. S., Numazawa, S., Goulart, S. L., & Protásio, T. P. Agrupamento de resíduos madeireiros do manejo florestal sustentável visando à geração de bioenergia. **Scientia Forestalis**, v. 48, p. 127, 2020.

Pereira, E. G., Fauller, H., Magalhães, M., Guirardi, B., & Martins, M. A. Potential use of wood pyrolysis coproducts: A review. **Environmental Progress & Sustainable Energy**, v. 41, n. 1, p. e13705, 2022.

Pimenta, A. S., da Costa Monteiro, T. V., Fasciotti, M., Braga, R. M., Souza, E. C., & Lima, K. M. G. Fast pyrolysis of trunk wood and stump wood from a Brazilian eucalyptus clone. **Industrial Crops and Products**, v. 125, p. 630-638, 2018.

Pimenta, A. S., Fasciotti, M., Monteiro, T. V., & Costa de Souza, E. Chemical profiling of liposoluble liquid smokes obtained from Eucalyptus wood tar: confirmation of absence of polycyclic aromatic hydrocarbons***. Food Additives & Contaminants: Part A***, v. 37, n. 6, p. 882-894, 2020.

Phukan, H., Brahma, R., & Mitra, P. K.An endophytic fungus associated with Kayea assamica (King & Prain): A study on its molecular phylogenetics and natural products. **South African Journal of Botany**, v. 134, p. 314-321, 2020.

Prianto, A. H., Yulizar, Y., & Simanjuntak, P. Chemical characterization of wood vinegar from acacia barks. In**: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science.** IOP Publishing, 2020. p. 012012.

Protásio, T. P., Scatolino, M. V., Araújo, A. C. C., Oliveira, A. F. C. F., Figueiredo, I. C. R., de Assis, M. R., & Trugilho, P. F. Assessing proximate composition, extractive concentration, and lignin quality to determine appropriate parameters for selection of superior Eucalyptus firewood. **BioEnergy Research**, v. 12, p. 626-641, 2019.

Protásio, T. P. Lima, M. D. R., Teixeira, R. A. C., Rosário, F. S., Araújo, A. C. C., Assis, M. R., & Trugilho, P. F. Influence of extractives content and lignin quality of Eucalyptus wood in the mass balance of pyrolysis process. **Bioenergy Research**, v. 14, n. 1, p. 175-189, 2021.

Protásio, T.P., Lima, M. D. R., Scatolino, M. V., Silva, A. B., Figueiredo, I. C. R., Hein, P. R. G., & Trugilho, P. F. Charcoal productivity and quality parameters for reliable classification of Eucalyptus clones from Brazilian energy forests. **Renewable Energy**, v. 164, p. 34–45, 2021.

Pourchet, S., Sonnier, R., Ben-Abdelkader, M., Gaillard, Y., Ruiz, Q., Placet, V., ... & Boni, G. New reactive isoeugenol based phosphate flame retardant: toward green epoxy resins. **ACS Sustainable Chemistry & Engineering**, v. 7, n. 16, p. 14074-14088, 2019.

Quirino, W. F., Vale, A. D., Andrade, A. D., Abreu, V. L. S., & Azevedo, A. D. S. Poder calorífico da madeira e de materiais ligno-celulósicos. **Revista da madeira**, v. 89, n. 100, p. 100-106, 2005.

Raad, T. J. Simulação do processo de secagem e carbonização do Eucalyptus spp 2004. 110f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2004.

Ramos, W. F., Ruivo, M. D. L. P., Jardim, M. A. G., Porro, R., Castro, R. M. D. S., & Sousa, L. M. D. Análise da indústria madeireira na Amazônia: Gestão, uso e armazenamento de resíduos. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**, 2017.

Ren, G., Li, G., Wang, A., Cong, Y., & Li, N. Synthesis of a high-density jet fuel with creosol and formaldehyde. Sustainable **Energy & Fuels**, v. 7, n. 9, p. 2080-2086, 2023.

Rocha, M. F. V., Vital, B. R., Carneiro, A. D. C. O., Carvalho, A. M. M. L., Zanuncio, A. J. V., & Hein, P. R. G. Propriedades energéticas do carvão vegetal em função do espaçamento de plantio. **Ciência da Madeira**, v. 8, n. 2, p. 54-63, 2017.

Rodrigues, R. L., da Silva, A. P., Rosato, R., Lemos, M. F., Peixoto, F. C., França, T. C., & Filho, L. G. M. On the replacement of traditional stabilizers by guaiacol in environmentally safe nitrocellulose-based propellants. **Clean Technologies and Environmental Policy**, v. 24, n. 6, p. 1837-1849, 2022.

Ruiz, Q., Pourchet, S., Placet, V., Plasseraud, L., & Boni, G. New eco-friendly synthesized thermosets from isoeugenol-based epoxy resins. **Polymers**, v. 12, n. 1, p. 229, 2020.

Santana, M. A. E., & Okino, E. Y. A. Chemical composition of 36 Brazilian Amazon forest wood species. Holzforschung 61(5), 469–477 (2007).

Santos, R. C. D., Carneiro, A. D. C. O., Trugilho, P. F., Mendes, L. M., & Carvalho, A. M. M. L. Análise termogravimétrica em clones de eucalipto como subsídiopara a produção de carvão vegetal. 2012**. Cerne**, v.18, n.1, p.143-151, 2012.

Shang, Y., & Zhang, D. Preparation and characterization of three-dimensional graphene network encapsulating 1-hexadecanol composite. **Applied Thermal Engineering**, v. 111, p. 353-357, 2017.

Silva, D. A. D., Almeida, V. C., Viana, L. C., Klock, U., & Muñiz, G. I. B. D. Avaliação das propriedades energéticas de resíduos de madeiras tropicais com uso da espectroscopia NIR. **Floresta e Ambiente**, v. 21, p. 561-568, 2014.

Silva, D. A., Muller, B. V., Kuiaski, E. C., Eloy, E., Behling, A., & Colaço, C. M. Propriedades da madeira de Eucalyptus benthamii para produção de energia. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 35, n. 84, p. 481-485, 2015.

Silva, C. M. S., Carneiro, A. D. C. O., Vital, B. R., Figueiró, C. G., de Freitas Fialho, L., de Magalhães, M. A., ... & Cândido, W. L. Biomass torrefaction for energy purposes–Definitions and an overview of challenges and opportunities in Brazil. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 82, p. 2426-2432, 2018.

Silva, F. T. M., & Ataíde, C. H. Valorization of Eucalyptus urograndis wood via carbonization: Product yields and characterization. **Energy**, v. 172, p. 509-516, 2019.

Silva, M. O. S., da Silva, M. G., Bufalino, L., Assis, M. R., Gonçalves, D. A., Trugilho, P. F., & Protásio, T. P. Variations in productivity and wood properties of Amazonian tachi-branco trees planted at different spacings for bioenergy purposes. **Journal of Forestry Research**, v. 32, p. 211-224, 2021.

Silva, S. A., Venturini, O. J., Leme, M. M. V., de Moura, D. C., & de Oliveira Heck, T. Enhancing sustainability in charcoal production: Integrated Life Cycle Assessment and by-product utilization to promote circular systems and minimize energy loss. **Biomass and Bioenergy**, v. 182, p. 107115, 2024.

SINDIFER, Sindicato da Indústria do Ferro no Estado de Minas Gerais. **Anuário 2021.** Disponível em: <http://sindifer.com.br/sndfr/anuario-estatistico/ >. Acesso em: 24 abr. 2023.

Skoog, D. A., Holler, F. J., & Crouch, S. R. Principles of instrumental analysis; 7. ed. – Cengage Learning, 2018, chapter 27, p. 720-745.

Stuckenbruck, P. Estudo de alcatrões vegetais por cromatografia gasosa de alta resolução e seu acoplamento á espectrometria de massas: Análise do óleo de alcatrão de E. citriodora. 1990. 270p. Tese (Mestrado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

Suzuki, K., Tsuji, N., Shirai, Y., Hassan, M. A., & Osaki, M. Evaluation of biomass energy potential towards achieving sustainability in biomass energy utilization in Sabah, Malaysia. **Biomass and Bioenergy**, v. 97, p. 149-154, 2016.

Syred, C., Griffiths, A. J., Syred, N., Beedie, D., & James, D. Clean, efficient system for producing charcoal, heat and power (CHaP). **Fuel**, London, v. 85, n. 10, p. 1566-1578, 2006.

Taherzadeh, M. J., & Karimi, K. Acid-based hydrolysis processes for ethanol from lignocellulosic materials: a review. **Bioresource**, v. 2, n. 3, p. 472-499, 2007.

Takahashi, A., Dohi, H., Egashira, Y., & Hirai, S. Erucic acid derived from rosemary regulates differentiation of mesenchymal stem cells into osteoblasts/adipocytes via suppression of peroxisome proliferator-activated receptor γ transcriptional activity. **Phytotherapy Research**, v. 34, n. 6, p. 1358-1366, 2020.

TAPPI - **Technical Association of the Pulp and Paper Industry**. TAPPI test methods T 257 cm-85: sampling and preparing wood for analysis. Atlanta: Tappi Technology Park, 1996.

TAPPI - **Technical Association of the Pulp and Paper Industry.** T280 test methods pm-99: Acetone Extractives of Wood and Pulp; Technical Association of the Pulp and Paper Industry (TAPPI): Atlanta, GA, USA, 1999.

Tamburini, D., Cartwright, C. R., Gasson, P., Łucejko, J. J., & Leme, C. L. D. Using analytical pyrolysis and scanning electron microscopy to evaluate charcoal formation of four wood taxa from the caatinga of north-east Brazil. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**, v. 151, p. 104909, 2020.

Thiffault, E., Béchard, A., Paré, D., & Allen, D. Recovery rate of harvest residues for bioenergy in boreal and temperate forests: A review. **Advances in Bioenergy: The Sustainability Challenge**, p. 293-316, 2016.

Trugilho, P. F., Vital, B. R., Regazzi, A. J., & Gomide, J. L. Aplicação da análise de correlação canônica na identificação de índices de qualidade da madeira de eucalipto para a produção de carvão vegetal. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 21, n. 2, p. 259 -267, 1997.

Trugilho, P. F., Tarcísio, J. L., Akira, F. M., & Lino, A. L. Avaliação de clones de Eucalyptus para a produção de carvão vegetal. **Revista Cerne**, Lavras, v. 7, n. 2, p. 114- 201, 2001.

Umaru, I. J., Ahmad, F. B., & Umaru, H. A. Extraction, elucidation, characterization and evaluation of antibacterial activity of four pure compound from Barringtonia racemosa leaf extract. **World Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences**, v. 8, n. 8, p. 184-223, 2019.

Unzner, T. A., Grossmann, A. S., & Magauer, T. Rapid Access to Orthogonally Functionalized Naphthalenes: Application to the Total Synthesis of the Anticancer Agent Chartarin. **Angewandte Chemie International Edition**, v. 55, n. 33, p. 9763-9767, 2016.

Velden, M. V., Baeyens, J., Brems, A., Janssens, B., & Dewil, R. Fundamentals, kinetics and endothermicity of the biomass pyrolysis reaction. **Renewable energy**, v. 35, n. 1, p. 232-242, 2010.

Vanholme, R., De Meester, B., Ralph, J., & Boerjan, W. Lignin biosynthesis and its integration into metabolism. **Current Opinion in Biotechnology**, 56, 230-239, 2019.

Vieira, R. D. S., Lima, J. T., Monteiro, T. C., Selvatti, T. D. S., Baraúna, E. E. P., & Napoli, A. Influência da temperatura no rendimento dos produtos da carbonização de Eucalyptus microcorys. **Cerne**, vol.19, p.59-64, 2013.

Vek, V., & Oven, P. Influence of different polar solvents on contents of total phenols in wood extracts. **Les (Ljubljana)**, v. 63, n. 3, p. 45-48, 2011.

Vek, V., Poljanšek, I., & Oven, P. Efficiency of three conventional methods for extraction of dihydrorobinetin and robinetin from wood of black locust. **European Journal of Wood and Wood Products**, v. 77, p. 891-901, 2019.

Vek, V., Poljanšek, I., Humar, M., Willför, S., & Oven, P. In vitro inhibition of extractives from knotwood of Scots pine (Pinus sylvestris) and black pine (Pinus nigra) on growth of Schizophyllum commune, Trametes versicolor, Gloeophyllum trabeum and Fibroporia vaillantii. **Wood Science and Technology**, v. 54, p. 1645-1662, 2020.

Xu, X., Cao, P., Wang, Y., Wu, W., Guo, J., Sun, J., ... & Ruan, H. Effects of Naphthalene Application on Soil Fungal Community Structure in a Poplar Plantation in Northern Jiangsu, China. **Applied Sciences**, v. 13, n. 9, p. 5794, 2023.

Zanuncio, A. J. V., Carvalho, A. G., Carneiro, A. D. C. O., Colodette, J. L., & Rocha, M. F. V. Chemical and energetic characterization of Eucalyptus grandis× Eucalyptus urophylla clones subject to wind damage. **Revista Árvore**, v. 43, p. e430401, 2019.

Yang, P. F., Lu, H., Wang, Q. B., Zhao, Z. W., Liu, Q., Zhao, X., ... & Mao, D. B. Chemical composition and antimicrobial activities of the essential oil from the leaves of Pterocephalus hookeri. **Natural Product Communications**, v. 15, n. 12, p. 1934578X20981239, 2020.

Yang, Y., Ma, Y., Zhang, J., & Li, C. Different solvent extract of Toona sinensis wood by FT-IR and GC-MS. **Thermal Science**, v. 24, n. 3 Part A, p. 1641-1647, 2020.

Yuan, Y., Kong, Q., Zheng, Y., Zheng, H., Liu, Y., Cheng, Y., ... & Li, Y. Co-application of biochar and pyroligneous acid improved peanut production and nutritional quality in a coastal soil. **Environmental Technology & Innovation**, *28*, 102886, 2022.

Zanuncio, A. J. V., Carvalho, A. G., Trugilho, P. F., & Monteiro, T. C. Extractives and energetic properties of wood and charcoal. **Revista Árvore**, v. 38, n. 2, p. 369-374, 2014.

Zanuncio, A. J. V., Carvalho, A. G., Carneiro, A. D. C. O., Colodette, J. L., & Rocha, M. F. V. Chemical and energetic characterization of Eucalyptus grandis× Eucalyptus urophylla clones subject to wind damage. **Revista Árvore**, v. 43, p. e430401, 2019.

Wang, F., Zhao, L., & Sun, Z. Study on simultaneous reaction and separation of vanillin prepared from isoeugenol by enzymatic conversion. **Chinese Journal of Process Engineering**, v. 5, n. 3, p. 273, 2005.

Wang, Q., Wu, X., Lu, X., He, Y., Ma, B., & Xu, Y. Efficient biosynthesis of vanillin from isoeugenol by recombinant isoeugenol monooxygenase from Pseudomonas nitroreducens Jin1. **Applied Biochemistry and Biotechnology**, v. 193, p. 1116-1128, 2021.

Wyman, C. E., Decker, S. R., Himmel, M. E., Brady, J. W., Skopec, C. E., & Viikari, L. Hydrolysis of cellulose and hemicellulose. **Polysaccharides: Structural diversity and functional versa**

APÊNDICE A

Quadro A1: Compostos identificados para as extrações em acetona para a espécie *Ecclinusa* spp.

Ecclinusa spp. (Abiurana) – Acetona		
Composto químico	Scan e minutos	Match
Octanoic acid, 7-oxo-	51, 2.692	634
Octanoic acid, 7-oxo-	51, 2.692	634
3-Trifluoroacetoxydodecane	262, 3956	641
Naphthalene	275, 4,034	820
Acetamide, N-phenyl-	476, 5,237	959
1-Tetradecene	493, 5,339	831
Octadecane, 6-methyl	502, 5,393	634
Vanillin lactoside	507, 5,423	663
3-Chloropropionic acid, 2-tetradecyl ester	520, 5,501	655
Phenol, 2,4-bis(1,1-dimethylethyl)-	622, 6,112	801
1-Hexadecanol	704, 6,603	860
-Dodecanol, 3,7,11-trimethyl-	712, 6,651	721
Acetic acid, chloro-, octadecyl ester	716, 6,675	701
1-Eicosene	729, 6,752	702
Benzaldehyde, 4-hydroxy-3,5-dimethoxy	774, 7,022	632
4-Hydroxy-2-methoxycinnamaldehyde	850, 7,477	705
9,12,15-Octadecatrienoic acid, 2-[(trimethylsilyl)oxy]-1-[[(trimethylsilyl)oxy]methyl]ethyl ester, (Z,Z,Z)-	857, 7,519	665
1-Nonadecene	894, 7,741	862
Ethanol, 2-(octadecyloxy)-	901, 7,7783	733
Erucic acid	917, 7,878	695
1,2-Benzenedicarboxylic acid, butyl octyl ester	965, 8,1666	792
n-Hexadecanoic acid	1034, 8,579	762
1-Docosene	1067, 8,777	787
Octadecanal, 2-bromo-	1073, 8,813	625
Oleic Acid	1179, 9,447	580
Octadecanoic acid	1194, 9,537	666
Behenic alcohol	1223, 9,711	666
Octatriacontyl pentafluoropropionate	1367, 10,573	621
1-Monolinoleoylglycerol trimethylsilyl ether	1489, 11,304	581
1-Monolinoleoylglycerol trimethylsilyl ether	1525, 11,519	611
Decanedioic acid, bis(2-ethylhexyl) ester	1737, 12,789	710
1-Monolinoleoylglycerol trimethylsilyl ether	1773, 13,005	624

Quadro A2: Compostos identificados para as extrações em acetona para a espécie *Pouteria cf. Oblanceolata* Pires

Pouteria cf. Oblanceolata Pires (Abiu-ucuubarana) - Acetona		
Composto químico	Scan e minutos	Match
3-Trifluoroacetoxytetradecane	263, 3962	678
Naphthalene	275, 4,034	706
Acetamide, N-phenyl- ****	476, 5,237	692
1-Tetradecene	493, 5,339	828, 4,71
Vanillin lactoside	502, 5,393	610
6,7,8,9-Tetrahydro-5H-[1,2,4]triazolo[1,5-a]azepin-2-ylamine	507, 5,423	626
Phenol, 2,4-bis(1,1-dimethylethyl)-	623, 6,118	743
1-Hexadecanol *	704, 6,603	850
2-Hexadecanol	711, 6,645	662
Octadecanal, 2-bromo-	728, 6,747	604
1-Nonadecene	894, 7,741	856
Octadecane, 1-(ethenyloxy)-	900, 7,777	645
Erucic acid	917, 7,878	597
1,2-Benzenedicarboxylic acid, butyl octyl ester *	964, 8,160	732
n-Hexadecanoic acid *	1033, 8,573	799
1-Docosene	1066, 8,771	782
Oleic Acid	1178, 9,441	696
Octadecanoic acid	1194, 9,537	677
Behenic alcohol	1222, 9,705	741
Octatriacontyl pentafluoropropionate	1367, 10,573	593
Hexasiloxane, 1,1,3,3,5,5,7,7,9,9,11,11-dodecamethyl-	1486, 11,286	621
Hexasiloxane, 1,1,3,3,5,5,7,7,9,9,11,11-dodecamethyl-	1522, 11,502	623
1-Monolinoleoylglycerol trimethylsilyl ether	1734, 12,771	563
Hexasiloxane, 1,1,3,3,5,5,7,7,9,9,11,11-dodecamethyl-	1771, 12,993	612
Octasiloxane, 1,1,3,3,5,5,7,7,9,9,11,11,13,13,15,15-hexadecamethyl-	2156, 15,298	610

Quadro A3: Compostos identificados para as extrações em acetona para a espécie *Protium cf. altissimum* (Aubl.) Marchand

Protium cf. altissimum (Aubl.) Marchand (Breu-barrote) - Acetona		
Composto químico	Scan e minutos	Match
3-Trifluoroacetoxydodecane	262,3,956	748
Naphthalene	275, 4,034	728
1-Tetradecene	493, 5,339	830
Octadecane, 6-methyl-	502, 5,393	679
Vanillin lactoside	507, 5,423	704
Phenol, 2,4-bis(1,1-dimethylethyl)-	623, 6,118	751
α-Calacorene	678, 6,447	628
1-Hexadecanol	704, 6,609	844
Octadecanal, 2-bromo-	729, 6,753	716
1-Nonadecene	894, 7,741	842
Erucic acid	917, 7,878	643
1,2-Benzenedicarboxylic acid, butyl octyl ester	964, 8,160	719
n-Hexadecanoic acid	1034, 8,579	815
1-Docosene	1066, 8,771	802
1,4-Benzenediamine, N-(1-methylheptyl)-	1116, 9,070	632
7,10-Octadecadienoic acid, methyl ester	1148, 9,262	746
10-Octadecenoic acid, methyl ester	1152, 9,286	713
Oleic Acid	1180, 9,454	745
Octadecanoic acid	1195, 9,543	738
Behenic alcohol	1223, 9,711	739
Octadecanal, 2-bromo-	1368, 10,579	668
Decanedioic acid, bis(2-ethylhexyl) ester	1737, 12,789	659
Decanedioic acid, bis(2-ethylhexyl) ester	1736, 12,783	623
2(3H)-Furanone, 3,4-bis(1,3-benzodioxol-5-ylmethyl)dihydro-, (3R-trans)-	2168, 15,370	816

Quadro A4: Compostos identificados para as extrações em acetona para a espécie *Goupia glabra* Aubl.

Goupia glabra Aubl.(Cupiúba) – Acetona		
Composto químico	Scan e minutos	Match
1-Cyclopentene-1-carboxylic acid	52, 2,698	892
Cyclopentylcarboxylic acid	58, 2,734	795
Benzoic acid	218, 3,692	896
Decanediamide, N,N'-di-benzoyloxy-	262, 3,956	700
Naphthalene	274, 4,028	638
Acetamide, N-phenyl-	476, 5,237	574
1-Tetradecene	493, 5,339	847
Vanillin lactoside	502, 5,393	743
Benzaldehyde, 3-hydroxy-4-methoxy-	506, 5,417	749
Phenol, 2,4-bis(1,1-dimethylethyl)-	622,66,112	802
1-Hexadecanol	704, 6,603	824
Phenol, 3,4,5-trimethoxy- ***	711, 6,645	725
4-Heptafluorobutyroxypentadecane	728, 6,747	695
Benzaldehyde, 4-hydroxy-3,5-dimethoxy- ***	773, 7,016	721
N-n-Butylphthalimide	790, 7,118	622
4-Hydroxy-2-methoxycinnamaldehyde ***	848, 7,465	650
2-Bromotetradecanoic acid2-Bromotetradecanoic acid	856, 7,513	650
1-Nonadecene	894, 7,741	874
1,2-Benzenedicarboxylic acid, butyl octyl ester ***	964, 8,160	804, 24,7
n-Hexadecanoic acid ***	1033, 8,573	818
1-Docosene	1066, 8,771	810
Oleic Acid	1178, 9,442	689
Octadecanoic acid ***	1194, 9,537	746
Behenic alcohol	1022, 9,705	755
Octatriacontyl pentafluoropropionate	1366, 10,567	649
Decanedioic acid, bis(2-ethylhexyl) ester	1735, 12,777	618

Quadro A5: Compostos identificados para as extrações em acetona para a espécie *Inga* spp.

Inga spp. (Ingá) – Acetona		
Composto químico	Scan e minutos	Match
3-Trifluoroacetoxytetradecane	261, 3,950	733
Naphthalene	473, 4,022	726
1-Tetradecene	493, 5,339	850
Octadecane, 6-methyl-	501, 5,387	698
Vanillin lactoside	506, 5,417	730
Phenol, 2,4-bis(1,1-dimethylethyl)-	622, 6,112	822
1-Hexadecanol *	704, 6,603	864
Heptacosane	711, 6,645	703
Acetic acid, chloro-, octadecyl ester	715, 6,669	656
4-Trifluoroacetoxyhexadecane	728, 6,747	797
N-n-Butylphthalimide	790, 7,118	609
4-Hydroxy-2-methoxycinnamaldehyde	849, 7,471	707
9,12,15-Octadecatrienoic acid, 2-[(trimethylsilyl)oxy]-1-[[(trimethylsilyl)oxy]methyl]ethyl ester, (Z,Z,Z)-	856, 7,7,513	654
1-Nonadecene	894, 7,741	872
1-Dodecanol, 3,7,11-trimethyl-	900, 7,777	701
1,2-Benzenedicarboxylic acid, butyl octyl ester	964, 8,160	759
n-Hexadecanoic acid *	1033, 8,573	813
1-Docosene	1066, 8,771	721
cis-10-Nonadecenoic acid	1073, 8,813	622
Octadecanal, 2-bromo-	1087, 8,896	602
7,10-Octadecadienoic acid, methyl ester	1147, 9,256	656
9-Octadecenoic acid (Z)-, 2-hydroxy-1-(hydroxymethyl)ethyl ester	1151, 9,280	633
Oleic Acid	1179, 9,447	656
Octadecanoic acid ****	1195, 9,543	720
Behenic alcohol	1222, 9,705	761
Octatriacontyl pentafluoropropionate	1367, 10,573	642
1-Monolinoleoylglycerol trimethylsilyl ether	1522, 11,502	619
Decanedioic acid, bis(2-ethylhexyl) ester	1734, 12,771	636

Quadro A6: Compostos identificados para as extrações em acetona para a espécie *Manilkara* spp.

Manilkara spp. (Maçaranduba) – Acetona		
Composto químico	Scan e minutos	Match
Hexanoic acid	5, 2,417	883
Benzene, 1-ethyl-3-methyl-	18, 2,495	694
Octadecane, 6-methyl-	47, 2,668	685
2-Pentanol, 2,4-dimethyl-	261, 3,950	685
Phenol, 2,6-dimethoxy-	447, 5,064	709
2-Cyclohexen-1-ol, 4-ethyl-1,4-dimethyl-	462, 5,154	616
Octadecane, 6-methyl-	502, 5,393	653
Vanillin lactoside	506, 5,417	778
Oleic Acid	663, 6,357	611
Acetamide, N-[3-(ethylamino)-4-methoxyphenyl]-	703, 6,597	583
Phenol, 3,4,5-trimethoxy-	710, 6,639	602
Benzaldehyde, 4-hydroxy-3,5-dimethoxy-	773, 7,016	704
4-Hydroxy-2-methoxycinnamaldehyde	848, 7,465	632
9,12,15-Octadecatrienoic acid, 2-[(trimethylsilyl)oxy]-1-[[(trimethylsilyl)oxy]methyl]ethyl ester, (Z,Z,Z)-	856, 7,513	633
1,2-Benzenedicarboxylic acid, butyl octyl ester ***	964, 8,160	733
n-Hexadecanoic acid *	1033, 8,573	812
3,5-Dimethoxy-4-hydroxycinnamaldehyde	1062, 8,747	657
Oleic Acid	1178, 9,442	693
Octadecanoic acid	1194, 9,537	631

Quadro A7: Compostos identificados para as extrações em tolueno etanol (2:1) para a espécie *Ecclinusa* spp.

Ecclinusa spp. (Abiurana) – Tolueno e etanol (2:1)		
Composto químico	Scan e minutos	Match
Benzaldehyde	18, 2,495	939
Benzene, 1-ethyl-3-methyl-	52, 2,698	910
Benzyl Alcohol	84, 2,890	977
Benzyl isopropenyl ether	214, 3,668	801
Benzene, 1,3-bis(1-methylethyl)-	224, 3,728	936
1,3-Diisopropyl cyclohexane	235, 3,794	744
Benzene, 1,4-bis(1-methylethyl)-	250, 2884	928
1,3-Diisopropyl cyclohexane	260, 3,944	867
Benzene, 1,3,5-tris(1-methylethyl)-	434, 4,986	901
4'-tert-Butyl-2',6'-dimethylacetophenone	460, 5,142	845
Bibenzyl	650, 6,279	930
1-Hexadecanol	704, 6,603	845

Quadro A8: Compostos identificados para as extrações em tolueno etanol (2:1) para a espécie *Pouteria cf. Oblanceolata* Pires

Pouteria cf. Oblanceolata Pires (Abiu-ucuubarana) – Tolueno e etanol (2:1)		
Composto químico	Scan e minutos	Match
Benzaldehyde ***	18, 2,495	937
Benzene, 1-ethyl-3-methyl- ***	52, 2,698	909
Benzyl Alcohol ***	84, 2,890	967
Benzyl isopropenyl ether	214, 3,668	801
Benzene, 1,3-bis(1-methylethyl)- ***	224, 3,728	937
1,3-Diisopropyl cyclohexane ***	235, 3,794	779
Benzene, 1,4-bis(1-methylethyl)- ***	250, 2884	935
1,3-Diisopropyl cyclohexane	260, 3,944	895
Benzene, 1,3,5-tris(1-methylethyl)-	434, 4,986	894
Benzene, 1,3,5-tris(1-methylethyl)-	460, 5,142	868
Biphenyl	496, 5,357	897
Biphenyl	650, 6,279	925

Quadro A9: Compostos identificados para as extrações em tolueno etanol (2:1) para a espécie *Protium cf. altissimum* (Aubl.) Marchand

Protium cf. altissimum (Aubl.) Marchand (Breu-barrote) – Tolueno e etanol (2:1)		
Composto químico	Scan e minutos	Match
Benzene, propyl-	10, 2,447	908
Benzene, 1-ethyl-3-methyl-	17, 2,489	936, 28,6
Benzene, 1-ethyl-3-methyl- ***	50, 2,686	882
Benzene, 1,2,3-trimethyl-	82, 2878	858
Deltacyclene	99, 2,980	768
Hydroxylamine, O-decyl-	389, 4,716	710
Hydroxylamine, O-decyl-	501, 5,387	746
1,2-Benzenedicarboxylic acid, butyl octyl ester	964, 8,160	671
2(3H)-Furanone, 3,4-bis(1,3-benzodioxol-5-ylmethyl)dihydro-, (3R-trans)-	2156, 15,298	585

Quadro A10: Compostos identificados para as extrações em tolueno etanol (2:1) para a espécie *Goupia glabra* Aubl.

Goupia glabra Aubl. (Cupiúba) – Tolueno e etanol (2:1)		
Composto químico	Scan e minutos	Match
Benzene, propyl- ***	13, 2,465	914
Benzene, 1-ethyl-3-methyl- ***	17, 2,489	919
Benzene, 1-ethyl-3-methyl-	38, 2,543	832
1-Cyclopentene-1-carboxylic acid	47,2,668	847
Benzene, 1-ethenyl-4-methyl-	100, 2,986	706
Propane, 1,1,3-triethoxy-	121, 3,111	709
Benzoic acid, methyl ester	157,3227	929
7-Methylene-9-oxa-bicyclo[3.3.1]non-2-ene	174,3,429	667
Dodecyl acrylate	262, 3,956	712
Naphthalene	275, 4,034	651
Acetamide, N-phenyl-	475,5,321	696
1-Hexadecanol	493, 5,339	858
Phenol, 2,4-bis(1,1-dimethylethyl)-	621, 6,106	826
1-Hexadecanol	704, 6,603	857
1-Nonadecene	894, 7,741	871
1,2-Benzenedicarboxylic acid, butyl octyl ester	964, 8,160	800
n-Hexadecanoic acid	1033, 8,537	663
1,2-Benzenedicarboxylic acid, butyl octyl ester	1043, 8,633	781
1-Docosene	1065, 8,765	773
1-Eicosene	1222, 9,705	661

Quadro A11: Compostos identificados para as extrações em tolueno etanol (2:1) para a espécie *Inga* spp.

Inga spp. (Ingá) – Tolueno e etanol (2:1)		
Composto químico	Scan e minutos	Match
Benzaldehyde	18, 2,495	940
Benzene, 1-ethyl-3-methyl-	52, 2,698	911
Benzyl Alcohol	85, 2896	976
Benzene, 1,3-bis(1-methylethyl)-	224, 3,728	929
1,3-Diisopropyl cyclohexane	235, 3,794	740
Benzene, 1,4-bis(1-methylethyl)-	250, 3,884	931
1,4-Diisopropyl cyclohexane	260, 3,944	883
Benzene, 1,3,5-tris(1-methylethyl)-	434, 4,986	892
Bibenzyl	650, 6,279	906

Quadro A12: Compostos identificados para as extrações em tolueno etanol (2:1) para a espécie *Manilkara* spp.

Manilkara spp. (Maçaranduba) – Tolueno e etanol (2:1)		
Composto químico	Scan e minutos	Match
Benzaldehyde ***	18, 2,495	939
Benzene, 1-ethyl-3-methyl- ***	52, 2,698	902
Benzyl Alcohol ***	85, 2896	974
Benzene, 1,3-bis(1-methylethyl)-	224, 3,728	927
1,3-Diisopropyl cyclohexane	235, 3,794	773
Benzoic acid, ethyl ester	244, 3,848	925
Benzene, 1,4-bis(1-methylethyl)-	250, 3,884	932
Ethanone, 2-ethoxy-1,2-diphenyl-	310, 4,243	786
Benzene, 1,3,5-tris(1-methylethyl)-	434, 4,986	890
Bibenzyl	650, 6,279	898
Propanal, 2-(phenylmethoxy)-	909, 7,831	700

Quadro A13: Compostos identificados para as extrações em hexano para a espécie *Ecclinusa* spp.

Ecclinusa spp. (Abiurana) – Hexano		
Composto químico	Scan e minutos	Match
Benzene, propyl-	11, 2,453	904
Benzene, 1-ethyl-2-methyl-	17, 2,489	936
Benzene, 1-ethyl-3-methyl-	36, 2.602	899
Benzene, 1,3,5-trimethyl-	49, 2,680	911
Benzene, 1,2,3-trimethyl-	82, 2.878	878
Hydroxylamine, O-decyl-	272, 4,016	623
Hydroxylamine, O-decyl-	388, 4,710	765
Dodecane, 2,6,10-trimethyl-	502, 5,393	772
Cyclohexane, 1-ethenyl-1-methyl-2,4-bis(1-methylethenyl)-, [1S-(1α,2β,4β)]-	512, 5,453	875
Caryophyllene	553, 5,699	903
α-Caryophyllene	589, 5,914	845
α-Caryophyllene	590, 5,920	836
Aromadendrene	598, 5,968	733
Cedrene	606, 6,016	816
Naphthalene, 1,2,4a,5,6,8a-hexahydro-4,7-dimethyl-1-(1-methylethyl)-, (1α,4aα,8aα)-	624, 6,040	881
Naphthalene, 1,2,3,4,4a,5,6,8a-octahydro-7-methyl-4-methylene-1-(1-methylethyl)-, (1α,4aβ,8aα)-	630, 6,160	890
Naphthalene, 1,2,3,4,4a,5,6,8a-octahydro-7-methyl-4-methylene-1-(1-methylethyl)-, (1α,4aβ,8aα)-	647, 6,262	835
Naphthalene, 1,2,4a,5,6,8a-hexahydro-4,7-dimethyl-1-(1-methylethyl)-, (1α,4aα,8aα)-	670, 6,399	729
α-Calacorene	677, 6,441	823
tau.-Cadinol	782, 7,070	696
tau.-Cadinol	790, 7,118	737
tau.-Cadinol	828, 7,346	720

Quadro A14: Compostos identificados para as extrações em hexano para a espécie *Pouteria cf. Oblanceolata* Pires

Pouteria cf. Oblanceolata Pires (Abiu-ucuubarana) – Hexano		
Composto químico	Scan e minutos	Match
1,5-Heptadien-4-one, 3,3,6-trimethyl-	15, 2,476	802
2-Pentene, 4,4-dimethyl-, (E)-	36, 2.602	782
Bicyclo[2.1.0]pentane, 1,4-dimethyl-	47, 2,668	853
Bicyclo[2.1.0]pentane, 1,4-dimethyl-	68, 2,794	872
(1-Allylcyclopropyl)methanol	91, 2,932	791
Caryophyllene	553, 5,698	914
1-Hydroxy-1,7-dimethyl-4-isopropyl-2,7-cyclodecadiene	713, 6,657	881
.tau.-Muurolol	775, 7,028	914
α-Cadinol	778, 7,106	938
5β,7βH,10α-Eudesm-11-en-1α-ol	828, 7,345	744
2(3H)-Furanone, 5-dodecyldihydro-	1159, 9,328	839
Geranylgeraniol	1227, 9,735	748
Oxiraneoctanoic acid, 3-octyl-, cis-	1297, 10,154	734
Octadecanoic acid, 4-hydroxy-, methyl ester	1318, 10,280	810
1-Naphthalenepropanol, α-ethenyldecahydro-2-hydroxy-α,2,5,5,8a-pentamethyl-, [1R-[1α(R*),2β,4aβ,8aα]]-	1349, 10,4660	756
5,7,9(11)-Androstatriene, 3-hydroxy-17-oxo-	1356, 10,507	669
1-Heptatriacotanol	1401, 10,777	782
9,12,15-Octadecatrienoic acid, 2,3-dihydroxypropyl ester, (Z,Z,Z)-	1422, 10,903	680
1,2-Benzenedicarboxylic acid, diisooctyl ester	1487, 11,292	815
Pregn-4-ene-3,20-dione, 16,17-epoxy-, (16α)-	1782, 13,059	721
5H-Cyclopropa(3,4)benz(1,2-e)azulen-5-one, 1,1a-α,1b-β,4,4a,7a-α,7b,8,9,9a-decahydro-4a-β,7b-α,9a-α-trihydroxy-3-(hydroxymethyl	1882, 13,658	711
2,4,6-Decatrienoic acid, 1a,2,5,5a,6,9,10,10a-octahydro-5,5a-dihydroxy-4-(hydroxymethyl)-1,1,7,9-tetramethyl-11-oxo-1H-2,8a-methanocyclopenta[a]cyclopropa[e]cyclodecen-6-yl ester, [1aR-(1aα,2α,5β,5aβ,6β,8aα,9α,10aα)]-	1927, 13,927	699

Quadro A15: Compostos identificados para as extrações em hexano para a espécie *Protium cf. altissimum* (Aubl.) Marchand

Protium cf. altissimum (Aubl.) Marchand (Breu-barrote) – Hexano		
Composto químico	Scan e minutos	Match
Benzene, propyl-	10, 2,447	908
Benzene, 1-ethyl-3-methyl-	17, 2,465	936
Benzene, 1-ethyl-3-methyl-	36, 2.602	882
Benzene, 1,2,3-trimethyl-	82, 2,878	858
Hydroxylamine, O-decyl-	398, 4,716	678
Tetradecane	502, 5,393	762
Octadecane, 6-methyl-	610, 6,040	718
1,2-Benzenedicarboxylic acid, butyl octyl ester	964, 8,160	671
2(3H)-Furanone, 3,4-bis(1,3-benzodioxol-5-ylmethyl)dihydro-, (3R-trans)-	2154, 15,286	651

Quadro A16: Compostos identificados para as extrações em hexano para a espécie *Goupia glabra* Aubl.

Goupia glabra Aubl. (Cupiúba) – Hexano		
Composto químico	Scan e minutos	Match
1,5-Heptadien-4-one, 3,3,6-trimethyl- ***	13, 2,465	795
2-Pentene, 4,4-dimethyl-, (E)- ***	37, 2.609	768
Bicyclo[2.1.0]pentane, 1,4-dimethyl- ***	45, 2,656	855
Bicyclo[2.1.0]pentane, 1,4-dimethyl- ***	66, 2,782	863
(1-Allylcyclopropyl)metanol***	90, 2,926	779
1,2-Benzenedicarboxylic acid, diisooctyl ester ***	1487, 11,292	677

Quadro A17: Compostos identificados para as extrações em hexano para a espécie *Inga* spp.

Inga spp. (Ingá) – Hexano		
Composto químico	Scan e minutos	Match
Benzene, propyl-	10, 2,447	898
Benzene, 1-ethyl-3-methyl-	17, 2,489	936
Benzene, 1-ethyl-4-methyl-	36, 2,603	897
Benzene, 1,2,4-trimethyl-	50, 2,686	910
Benzene, 1,2,4-trimethyl-	82, 2,878	830
Hydroxylamine, O-decyl-	389, 4,716	660
Dodecane, 2,6,10-trimethyl-	501, 5,387	775
Octadecane, 6-methyl-	609, 6,034	686
1,2-Benzenedicarboxylic acid, butyl octyl ester	964, 8,160	717

Quadro A18: Compostos identificados para as extrações em hexano para a espécie *Manilkara spp*.

Manilkara spp. (Maçaranduba) – Hexano		
Composto químico	Scan e minutos	Match
Nonane, 4-methyl-	11, 2453	743
Benzene, 1-ethyl-3-methyl-	20, 2,507	825
Benzene, 1-ethyl-2-methyl-	37, 2,608	709
Decane	47, 2,668	824
Benzene, 1,2,3-trimethyl-	50,2,686	899
1-Decanol, 2-hexyl-	72, 2,818	789
Benzene, 1,2,3-trimethyl-	82, 2,884	821
Cyclohexane, butyl-	91, 2,932	812
Indane	99, 2,980	730
Benzene, 1-methyl-2-propyl-	108, 3,034	713
1,3,8-p-Menthatriene	115, 3,075	727
Decane, 3-methyl-	124, 3,129	721
Naphthalene, decahydro-, trans-	129, 3,159	735
Benzene, 1-ethyl-2,4-dimethyl-	140, 3,225	846
Benzene, 1-methyl-4-(1-methylethyl)-	148, 3,273	822
Undecane	156, 3,321	785
2-Cyclohexen-1-ol, 2-methyl-5-(1-methylethenyl)-	191, 3,351	770
2,4-Dimethylstyrene	230, 3,764	770
Naphthalene, 1,2,3,4-tetrahydro-	246, 3,860	866
1H-Indene, 1-ethyl-2,3-dihydro-1-methyl-	272, 4,016	723

Quadro A19: Compostos identificados para as extrações em etanol para a espécie *Ecclinusa* spp.

Ecclinusa spp. (Abiurana) – Etanol		
Composto químico	Scan e minutos	Match
Tetraethyl silicate	19, 2,501	710
Propane, 1,1,3-triethoxy-	120, 3,106	828
3-Dodecene, (Z)- ***	261, 3950	802
1-Hexadecanol	493, 5,339	887
4-Tetradecene, (Z)-	508, 5,429	582
Phenol, 2,4-bis(1,1-dimethylethyl)- *	622, 6,112	868
1-Hexadecanol *	704, 6,603	904
1-Hexadecanol	894, 7,741	892
1,2-Benzenedicarboxylic acid, butyl octyl ester *	964, 8,1660	661
1-Nonadecene	1065, 8,765	844, 4,39
1-Docosene	1222, 9,705	768
Octatriacontyl pentafluoropropionate *	1367, 10,573	654

Quadro A20: Compostos identificados para as extrações em etanol para a espécie *Pouteria cf. Oblanceolata* Pires

Pouteria cf. Oblanceolata Pires (Abiu-ucuubarana) – Etanol		
Composto químico	Scan e minutos	Match
1,2-Benzenediol	255, 3,914	614
3-Dodecene, (Z)-	261, 3950	796
1-Hexadecanol	493, 5,339	886
Phenol, 2,5-bis(1,1-dimethylethyl)- ***	621, 6,106	875
1-Hexadecanol ***	704, 6,603	903
1-Nonadecene	894, 7,735	875
1,2-Benzenedicarboxylic acid, butyl octyl ester *	965, 8,1666	504
1-Docosene	1065, 8,765	828
1,2-Octadecanediol	1222, 9,705	518

Quadro A21: Compostos identificados para as extrações em etanol para a espécie *Protium cf. altissimum* (Aubl.) Marchand

Protium cf. altissimum (Aubl.) Marchand (Breu-barrote) - Etanol		
Composto químico	Scan e minutos	Match
Propane, 1,1,3-triethoxy-	121, 3112	726
3-Dodecene, (Z)-	262,3,956	797
1-Tetradecene ***	493, 5,339	880
Copaene	500, 5,393	799
Cyclohexane, 1-ethenyl-1-methyl-2,4-bis(1-methylethenyl)-, [1S-(1α,2β,4β)]-	512, 5,453	908
Caryophyllene	553, 5,699	914
α-Caryophyllene	590, 5,920	855
Aromadendrene	598, 5,968	761
4,7-Methanoazulene, 1,2,3,4,5,6,7,8-octahydro-1,4,9,9-tetramethyl-, [1S-(1α,4α,7α)]-	607, 6,022	817
Phenol, 2,4-bis(1,1-dimethylethyl)- ***	623, 6,118	864
Naphthalene, 1,2,4a,5,6,8a-hexahydro-4,7-dimethyl-1-(1-methylethyl)-, (1α,4aα,8aα)-	630, 6,160	864
Naphthalene, 1,2,3,4,4a,5,6,8a-octahydro-7-methyl-4-methylene-1-(1-methylethyl)-, (1α,4aβ,8aα)-	647, 6,261	867
Naphthalene, 1,2,4a,5,8,8a-hexahydro-4,7-dimethyl-1-(1-methylethyl)-, [1S-(1α,4aβ,8aα)]-	652, 6,291	885
α-Calacorene	677, 6,441	767
1-Hexadecanol ***	704, 6,609	912
1-Nonadecene ***	894, 7,741	883
1,2-Benzenedicarboxylic acid, butyl octyl ester ***	964, 8,160	727
1-Nonadecene	1034, 8,765	849
Behenic alcohol ***	1223, 9,711	756
Octatriacontyl pentafluoropropionate	1368, 10,579	666
1-Monolinoleoylglycerol trimethylsilyl ether	1521, 12,789	599

Quadro A22: Compostos identificados para as extrações em etanol para a espécie *Inga* spp.

Inga spp. (Ingá) – Etanol		
Composto químico	Scan e minutos	Match
1-Hexadecanol ***	493, 5,339	882
2-Propanone, phenylhydrazone	502, 71,2	743
Phenol, 2,5-bis(1,1-dimethylethyl)- *	622, 6,112	798
1-Hexadecanol *	704, 6,603	833
1-Nonadecene	894, 7,776	831
1,2-Benzenedicarboxylic acid, butyl octyl ester ***	964, 8,1660	638
Estra-1,3,5(10)-trien-17β-ol	1034, 8,579	620
1-Docosene	1066, 8,771	749
Behenic alcohol	1222, 9,705	676
1-Monolinoleoylglycerol trimethylsilyl ether	1367,10,573	617

Quadro A23: Compostos identificados para as extrações em etanol para a espécie *Goupia glabra* Aubl.

Goupia glabra Aubl. (Cupiúba) – Etanol		
Composto químico	Scan e minutos	Match
1,2-Benzenediol	254, 3,908	535
1-Tetradecene ***	492, 5,333	874
Phenol, 2,5-bis(1,1-dimethylethyl)- ***	622,66,112	830
1-Hexadecanol ***	704, 6,603	897
1-Nonadecene	894, 7,741	873
1-Docosene	1065, 8,765	760
1-Docosene ***	1023, 9,711	895

Quadro A24: Compostos identificados para as extrações em etanol para a espécie *Manilkara* spp.

Manilkara spp. (Maçaranduba) – Etanol		
Composto químico	Scan e minutos	Match
Hexanoic acid	7, 2,429	657
1,2-Benzenediol-	254, 3,908	584
3-Dodecene, (Z)-	261, 3950	646
2,4-Dimethoxyphenol *	449, 5,076	599
Acetamide, N-phenyl-	476, 5,238	849
1-Tetradecene	493, 5,339	826
Phenol, 2,4-bis(1,1-dimethylethyl)-	622, 6,112	818
1-Hexadecanol	703, 6,597	861
Phenol, 3,4,5-trimethoxy-	709, 6,633	662
Inositol, 1-deoxy-	789, 7,112	827
4-Hydroxy-2-methoxycinnamaldehyde	849, 7,471	616
1-Docosene ***	894, 7,741	856
1,2-Benzenedicarboxylic acid, butyl octyl ester ***	964, 8,160	637
n-Hexadecanoic acid *	1033, 8,573	627
1,2-Benzenedicarboxylic acid, butyl octyl ester	1043,8,633	684
1-Nonadecene	1065, 8,765	768
Octatriacontyl pentafluoropropionate	1222, 9,705	624

APÊNDICE B

Quadro B1: Compostos identificados para o licor pirolenhoso da espécie *Ecclinusa* spp.

Ecclinusa spp. (Abiurana) – Licor Pirolenhoso		
Composto químico	Scan e minutos	Match
1,2-Epoxy-3-propyl acetate	54, 2.706	718
Butanedial	74, 2,824	745
Propanoic acid, 2-oxo-, methyl ester	87, 2,900	751
Furfural	197, 3,550	899
2-Cyclopenten-1-one	203, 3,585	746
2-Furanmethanol	253, 3880	829
2-Propanone, 1-(acetyloxy)-	282, 4,052	607
p-Xylene	308, 4,205	707
2-Cyclopenten-1-one, 2-methyl-		830
Cyclohexane, 1,4-dimethyl-2-octadecyl-	602, 5,941	689
2-Furancarboxaldehyde, 5-methyl-	616, 6,023	756
Phenol	679, 6,395	901
1,2-Cyclopentanedione, 3-methyl-	875, 7,552	822
Phenol, 3-methyl-	994, 8,255	859
Phenol, 3-methyl-	1087, 8,804	917
Phenol, 2-methoxy-	1155, 9,205	929
Phenol, 2,3-dimethyl-	1422, 10,781	807
Phenol, 2-methoxy-4-methyl-	1634, 12,033	939
Phenol, 4-ethyl-2-methoxy-	1997,14,176	887
2-Methoxy-4-vinylphenol	2103,1 4,802	864
Phenol, 2,6-dimethoxy-	2198, 15,362	916
3-Allyl-6-methoxyphenol	2223, 15,510	788
Phenol, 2-methoxy-4-propyl-	2249, 15,663	843
Benzaldehyde, 3-hydroxy-4-methoxy-	2313, 16,041	769
Phenol, 2-methoxy-4-(1-propenyl)-	2341, 16,207	783
1,2,4-Trimethoxybenzene	2416, 16,649	788
Phenol, 2-methoxy-4-(1-propenyl)-	2427, 16,714	892
Benzenemethanol, α-ethyl-4-methoxy-	2440, 16,791	621
Ethanone, 1-(4-hydroxy-3-methoxyphenyl)-	2494, 17,110	725
5-tert-Butylpyrogallol	2565, 17,529	776
2-Propanone, 1-(4-hydroxy-3-methoxyphenyl)-	2573, 17,576	787
3-tert-Butyl-4-hydroxyanisole	2629, 17,907	739
Phenol, 2,6-dimethoxy-4-(2-propenyl)-	2689, 18,261	800
2,4-Hexadienedioic acid, 3,4-diethyl-, dimethyl ester, (Z,Z)-	2701, 18,332	640
Phenol, 2,6-dimethoxy-4-(2-propenyl)-	2763, 18,698	757
Phenol, 2,6-dimethoxy-4-(2-propenyl)-	2833, 19,111	882
3,5-Dimethoxy-4-hydroxyphenylacetic acid	2924, 19,648	680

Quadro B2: Compostos identificados para o licor pirolenhoso da espécie *Pouteria cf. Oblanceolata* Pires

Pouteria cf. Oblanceolata Pires (Abiu-ucuubarana) - Licor Pirolenhoso		
Composto químico	Scan e minutos	Match e probabilidade
1,2-Epoxy-3-propyl acetate	54, 2.706	744
Butanedial	74, 2,824	761
Propanoic acid, 2-oxo-, methyl ester	87, 2,900	767
Furfural	197, 3,550	893
2-Cyclopenten-1-one	203, 3,585	748
2-Furanmethanol	253, 3880	866
2-Propanone, 1-(acetyloxy)-	282, 4,052	695
p-Xylene	308, 4,205	693
2-Cyclopenten-1-one, 2-methyl-	417, 4,849	875
Cyclohexane, 1,4-dimethyl-2-octadecyl-	602, 5,941	640
2-Furancarboxaldehyde, 5-methyl-	616, 6,023	785
Phenol	679, 6,395	947
1,2-Cyclopentanedione, 3-methyl-	875, 7,552	873
Phenol, 3-methyl-	994, 8,255	883
Phenol, 3-methyl-	1087, 8,804	920
Phenol, 2-methoxy-	1155, 9,205	935
Phenol, 2,3-dimethyl-	1422, 10,781	855
Phenol, 2-methoxy-4-methyl-	1634, 12,033	951
Phenol, 4-ethyl-2-methoxy-	1997,14,176	889
2-Methoxy-4-vinylphenol	2103,1 4,802	885
Phenol, 2,6-dimethoxy-	2198, 15,362	921
3-Allyl-6-methoxyphenol	2223, 15,510	805
Phenol, 2-methoxy-4-propyl-	2249, 15,663	836
Benzaldehyde, 3-hydroxy-4-methoxy-	2313, 16,041	790
Phenol, 2-methoxy-4-(1-propenyl)-	2341, 16,207	822
1,2,4-Trimethoxybenzene	2416, 16,649	788
Phenol, 2-methoxy-4-(1-propenyl)-	2427, 16,714	906
Ethanone, 1-(4-hydroxy-3-methoxyphenyl)-	2494, 17,110	743
3-tert-Butyl-4-hydroxyanisole	2629, 17,907	739
Phenol, 2,6-dimethoxy-4-(2-propenyl)-	2689, 18,261	837
2,4-Hexadienedioic acid, 3,4-diethyl-, dimethyl ester, (Z,Z)-	2701, 18,332	667
Phenol, 2,6-dimethoxy-4-(2-propenyl)-	2763, 18,698	791
Phenol, 2,6-dimethoxy-4-(2-propenyl)-	2833, 19,111	885
3,5-Dimethoxy-4-hydroxyphenylacetic acid	2924, 19,648	690

Quadro B3: Compostos identificados para o licor pirolenhoso da espécie *Protium cf. altissimum* (Aubl.) Marchand

Composto químico	Scan e minutos	Match e probabilidade
1-Phenyl-2-butanone	60, 2,741	612
Furfural	197, 3,562	864
2-Cyclopenten-1-one	204, 3,591	807
2-Furanmethanol	254, 3,886	847
2-Propanone, 1-(acetyloxy)-	283, 4,058	656
2-Cyclopenten-1-one, 2-methyl-	418, 4,855	852
1,2-Cyclopentanedione	468, 5,150	764
2-Cyclopenten-1-one, 3-methyl-	635, 6,136	793
Phenol	679, 6,395	922
1,2-Cyclopentanedione, 3-methyl-	877, 7,564	856
Phenol, 3-methyl-	995, 8,261	885
Phenol, 4-methyl-	1087, 8,804	900
Phenol, 2-methoxy-	1155, 9,205	918
Phenol, 2-methoxy-4-methyl-	1634, 12,033	910
1,2-Benzenediol	1648, 12,115	890
1,2-Benzenediol, 3-methoxy-	1924, 13,745	744
Phenol, 4-ethyl-2-methoxy-	1997,14,176	860
1,2-Benzenediol, 4-methyl-	2022, 14,323	906
2-Methoxy-4-vinylphenol	2103,14,802	796
Phenol, 2,6-dimethoxy-	2199, 15,368	918
1,2,4-Trimethoxybenzene	2416, 16,649	790
Phenol, 2-methoxy-4-(1-propenyl)-	2427, 16,714	743
5-tert-Butylpyrogallol	2565, 17,529	781
Phenol, 2,6-dimethoxy-4-(2-propenyl)-	2690, 18,261	770
2,4-Hexadienedioic acid, 3,4-diethyl-, dimethyl ester, (Z,Z)-	2701, 18,332	662
Phenol, 2,6-dimethoxy-4-(2-propenyl)-	2763, 18,698	754
Phenol, 2,6-dimethoxy-4-(2-propenyl)-	2833, 19,111	876
Desaspidinol	2924, 19,648	689

Quadro B4: Compostos identificados para o licor pirolenhoso da espécie *Inga* spp.

Composto químico	Scan e minutos	Match e probabilidade
Propanoic acid, 2-oxo-, methyl ester	86, 2,895	735
Furfural	197, 3,562	875
2-Cyclopenten-1-one	204, 3,591	708
2-Furanmethanol	253, 3,881	822
2-Propanone, 1-(acetyloxy)-	283, 4,058	651
2-Cyclopenten-1-one, 2-methyl-	418, 4,855	807
2-Cyclopenten-1-one, 2-hydroxy-	468, 5,150	675
Phenol	679, 6,395	844
1-Cyclopentene-1-carboxylic acid	821, 7,234	833
1,2-Cyclopentanedione, 3-methyl-	877, 7,564	803
Phenol, 3-methyl-	995, 8,261	809
Phenol, 4-methyl-	1087, 8,804	799
Phenol, 2-methoxy-	1156, 9,211	862
Phenol, 2-methoxy-4-methyl-	1634, 12,033	903
1,2-Benzenediol, 3-methoxy-	1924, 13,745	811
Phenol, 4-ethyl-2-methoxy-	1997,14,176	844
1,2-Benzenediol, 4-methyl-	2022, 14,323	739
2-Methoxy-4-vinylphenol ***	2103, 14,802	826
Phenol, 2,6-dimethoxy- ***	2199, 15,368	924
1,2,4-Trimethoxybenzene ***	2416, 16,649	804
Phenol, 2-methoxy-4-(1-propenyl)-	2427, 16,714	805
5-tert-Butylpyrogallol ***	2565, 17,529	787
Phenol, 2,6-dimethoxy-4-(2-propenyl)-	2690, 18,261	839
2,4-Hexadienedioic acid, 3,4-diethyl-, dimethyl ester, (Z,Z)-	2701, 18,332	673
Phenol, 2,6-dimethoxy-4-(2-propenyl)-	2763, 18,698	791
Phenol, 2,6-dimethoxy-4-(2-propenyl)-	2833, 19,111	900
Desaspidinol	2924, 19,648	673

Quadro B5: Compostos identificados para o licor pirolenhoso da espécie *Goupia glabra* Aubl.

Composto químico	Scan e minuto	Match e probabilidade
Propanoic acid, 2-oxo-, methyl ester	86, 2,895	852
Furfural	197, 3,562	862
2-Furanmethanol ***	253, 3,881	907
2-Propanone, 1-(acetyloxy)- ***	283, 4,058	836
2H-Pyran, 3,4-dihydro-	422, 4,855	717
2-Cyclopenten-1-one, 2-hydroxy-	471, 5,150	901
Phenol ***	679, 6,395	924
1,2-Cyclopentanedione, 3-methyl- ***	877, 7,564	913
Phenol, 3-methyl- *** XXX	995, 8,261	870
Phenol, 4-methyl- XXX XXX	1087, 8,804	891, 28,2
Phenol, 2-methoxy- *** 2 maior	1156, 9,211	889
Phenol, 2-methoxy-4-methyl- *** XXX XXX	1634, 12,033	960
1,2-Benzenediol, 3-methoxy-	1924, 13,745	749
Phenol, 4-ethyl-2-methoxy- *** XXX XXX	1997,14,176	914
1,2-Benzenediol, 4-methyl-	2022, 14,323	894
2-Methoxy-4-vinylphenol ***	2103, 14,802	926
Phenol, 2,6-dimethoxy- *** XXX XXX	2199, 15,368	927
1,2,4-Trimethoxybenzene *** XXX REFERENCIA NO AZUL	2416, 16,649	793, 18,9
Phenol, 2-methoxy-4-(1-propenyl)- *** ###	2427, 16,714	915
5-tert-Butylpyrogallol *** XXX	2565, 17,529	794
3-tert-Butyl-4-hydroxyanisole	2630, 17,913	763
Phenol, 2,6-dimethoxy-4-(2-propenyl)- *** XXX	2690, 18,261	856
2,4-Hexadienedioic acid, 3,4-diethyl-, dimethyl ester, (Z,Z)- ***	2701, 18,332	677
Phenol, 2,6-dimethoxy-4-(2-propenyl)- *** XXX	2763, 18,698	784
Phenol, 2,6-dimethoxy-4-(2-propenyl)- *** XXX	2833, 19,111	894
2-Propenal, 3-(4-hydroxy-3-methoxyphenyl)-	2880, 19,380	839
Desaspidinol	2924, 19,648	689

Quadro B6: Compostos identificados para o licor pirolenhoso da espécie *Manilkara* spp.

Composto químico	Scan e minutos	Match
Propanoic acid, 2-oxo-, methyl ester	86, 2,895	777
Furfural	197, 3,562	907
2-Furanmethanol	253, 3,881	885
2-Propanone, 1-(acetyloxy)-	283, 4,058	752
2H-Pyran, 3,4-dihydro-	422, 4,855	673
2-Cyclopenten-1-one, 2-hydroxy-	471, 5,150	853
2-Furanethanol, β-methoxy-(S)-	602, 5,941	704
2-Furancarboxaldehyde, 5-methyl-	615, 6,018	790
Phenol ***	679, 6,395	936
1,2-Cyclopentanedione, 3-methyl- ***	877, 7,564	874
Phenol, 3-methyl- ***	995, 8,261	855
Phenol, 4-methyl-	1087, 8,804	921
Phenol, 2-methoxy- ***	1156, 9,211	894
Phenol, 2-methoxy-4-methyl- ***	1634, 12,033	930
1,2-Benzenediol	1647, 12,110	883
1,2-Benzenediol, 3-methoxy-	1924, 13,745	830
Phenol, 4-ethyl-2-methoxy- ***	1997,14,176	865
1,2-Benzenediol, 4-methyl-	2022, 14,323	897
2-Methoxy-4-vinylphenol ***	2103, 14,802	838
Phenol, 2,6-dimethoxy- *** ###	2199, 15,368	929
Phenol, 3,4-dimethoxy-	2224, 15,516	758
1,2,4-Trimethoxybenzene ***	2416, 16,649	806
Phenol, 2-methoxy-4-(1-propenyl)-	2427, 16,714	785
D-Allose	2480, 17,027	680
5-tert-Butylpyrogallol ***	2565, 17,529	791
3-tert-Butyl-4-hydroxyanisole	2630, 17,913	750
Phenol, 2,6-dimethoxy-4-(2-propenyl)- ***	2690, 18,261	871
2,4-Hexadienedioic acid, 3,4-diethyl-, dimethyl ester, (Z,Z)- ***	2701, 18,332	680
Phenol, 2,6-dimethoxy-4-(2-propenyl)- ***	2763, 18,698	818
Benzaldehyde, 4-hydroxy-3,5-dimethoxy-	2772, 18,751	758
Phenol, 2,6-dimethoxy-4-(2-propenyl)- ***	2833, 19,111	905
Ethanone, 1-(4-hydroxy-3,5-dimethoxyphenyl)-	2876, 19,365	815
Desaspidinol	2924, 19,648	718