



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM QUÍMICA**

MEIRE ANE PITTA DA COSTA

**CARACTERIZAÇÃO DE RESÍDUOS AGROINDUSTRIAIS PARA
PRODUÇÃO DE BIO-ÓLEO: COMPOSIÇÃO QUÍMICA E POTENCIAL
DE PIRÓLISE**

**CHARACTERIZATION OF AGRO-INDUSTRIAL RESIDUES FOR BIO-
OIL PRODUCTION: CHEMICAL COMPOSITION AND PYROLYSIS
POTENTIAL**

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Lisiane dos Santos Freitas

Coorientador: Prof. Dr. Silvânio Silvério Lopes da Costa





UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA PROGRAMA
DE PÓS-GRADUAÇÃO EM QUÍMICA

MEIRE ANE PITTA DA COSTA

CARACTERIZAÇÃO DE RESÍDUOS AGROINDUSTRIAIS PARA
PRODUÇÃO DE BIO-ÓLEO: COMPOSIÇÃO QUÍMICA E POTENCIAL
DE PIRÓLISE

CHARACTERIZATION OF AGRO-INDUSTRIAL RESIDUES FOR BIO-
OIL PRODUCTION: CHEMICAL COMPOSITION AND PYROLYSIS
POTENTIAL

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Lisiane dos Santos Freitas

Coorientador: Prof. Dr. Silvânio Silvério Lopes da Costa



RESUMO

Resíduos agroindustriais representam uma fonte promissora para a obtenção de insumos, como o bio-óleo, amplamente utilizado para diversas aplicações industriais. Este estudo investigou a caracterização físico-química e cromatográfica de bio-óleos obtidos a partir da pirólise de diferentes biomassas — fibra de coco, sementes de goiaba, de maracujá, de acerola, de uva, borra de café, sabugo e palha de milho, vagem de feijão, cascas de mandioca, de amendoim e de pinus — visando compreender a relação entre a composição da matéria-prima e o perfil químico dos bio-óleos gerados. As análises de teores de cinzas, óleo, umidade, extrativos totais, composição elementar e razões atômicas O/C e H/C revelaram variações significativas entre as amostras. As amostras apresentaram baixos teores de cinzas (0,43% a 3,96%) e umidade (1,55% a 9,25%), enquanto os teores de óleo e extrativos totais variaram de 0,15% a 23,26% e de 4,75% a 36,37%, respectivamente. A análise termogravimétrica revelou que, na faixa de temperatura de 25°C a 1000°C, 82,7% a 100% das amostras foram degradadas, indicando viabilidade para processos de pirólise a 600°C. Após o processo de micro-pirólise, os bio-óleos obtidos foram analisados por GC-MS, que identificaram diferentes classes orgânicas, com destaque para fenóis, ácidos carboxílicos, cetonas, álcoois e compostos nitrogenados, cuja predominância variou conforme a biomassa utilizada. A aplicação de técnicas de análise multivariada (PCA e HCA) foi fundamental para interpretar a complexidade dos dados obtidos. Essas abordagens possibilitaram identificar padrões e agrupar amostras com perfis químicos semelhantes, evidenciando que bio-óleos provenientes de biomassas oleaginosas apresentaram maior teor de ácidos carboxílicos, enquanto outros se caracterizaram por composições mais próximas à celulose ou à lignina. Tal estratégia analítica não apenas reforçou a robustez das interpretações, mas também ampliou a compreensão das relações entre composição química e potencial de aplicação industrial.

Palavras-chave: resíduos agroindustriais, caracterização de biomassa, bio-óleo, pirólise, análise multivariada, matéria-prima sustentável

ABSTRACT

Agro-industrial residues represent a promising source for the production of inputs such as bio-oil, which is widely used for various industrial applications. This study investigated the physicochemical and chromatographic characterization of bio-oils obtained from the pyrolysis of different biomasses — including coconut fiber, guava seeds, passion fruit seeds, acerola seeds, grape seeds, coffee grounds, corn cob and straw, bean pods, cassava, peanut, and pine shells — with the aim of understanding the relationship between feedstock composition and the chemical profile of the resulting bio-oils. Analyses of ash content, oil content, moisture, total extractives, elemental composition, and atomic O/C and H/C ratios revealed significant variations among the samples. The samples exhibited low ash (0.43% to 3.96%) and moisture (1.55% to 9.25%) contents, while oil and total extractives contents ranged from 0.15% to 23.26% and from 4.75% to 36.37%, respectively. Thermogravimetric analysis showed that, in the temperature range of 25°C to 1000°C, 82.7% to 100% of the samples were degraded, indicating the feasibility of pyrolysis processes at 600°C. Following micro-pyrolysis, the resulting bio-oils were analyzed by GC-MS, which identified different classes of organic compounds, notably phenols, carboxylic acids, ketones, alcohols, and nitrogen-containing compounds, whose predominance varied according to the biomass employed. The application of multivariate analysis techniques (PCA and HCA) was fundamental for interpreting the complexity of the obtained data. These approaches allowed the identification of patterns and the grouping of samples with similar chemical profiles, highlighting that bio-oils derived from oilseed biomasses exhibited higher carboxylic acid contents, whereas others were characterized by compositions more closely related to cellulose or lignin. This analytical strategy not only reinforced the robustness of the interpretations but also enhanced the understanding of the relationships between chemical composition and industrial application potential.

Keywords: agro-industrial residues, biomass characterization, bio-oil, pyrolysis, multivariate analysis, sustainable feedstock

Sumário

1. INTRODUÇÃO	15
1.1 RESÍDUO	17
1.2 BIOMASSA	18
1.2.1 CARACTERIZAÇÃO DA BIOMASSA.....	23
1.2.2 PIRÓLISE DA BIOMASSA	25
1.2.3 BIOMASSAS UTILIZADAS NESTE TRABALHO	28
1.3 BIO-ÓLEO	33
1.3.1 CARACTERIZAÇÃO DO BIO-ÓLEO	35
1.4 ANÁLISE MULTIVARIADA	37
2. OBJETIVO GERAL.....	39
2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	39
3. PARTE EXPERIMENTAL	40
3.1 REAGENTES E PREPARO DAS BIOMASSAS	40
3.2 CARACTERIZAÇÃO DA BIOMASSA.....	42
3.2.1 TEOR DE CINZAS	42
3.2.2 COMPOSIÇÃO ELEMENTAR (C, H, N E O)	43
3.3 MICROPIRÓLISE: ANÁLISE DE COMPOSTOS ORGÂNICOS NO BIO-ÓLEO	45
3.4 PROCESSAMENTO DOS DADOS PARA ANÁLISE MULTIVARIADA.....	47
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	47
4.1 CARACTERIZAÇÃO DA BIOMASSAS	47
7.1.4 ANÁLISE TERMOGRAVIMÉTRICA (TG)	53
8.1 ANÁLISE CROMATOGRÁFICA.....	58
8.2 ANÁLISE MULTIVARIADA (PCA E HCA)	62
9. CONCLUSÃO	69
REFERÊNCIAS.....	70
APÊNDICES.....	102

*Dedico a mainha (in memorian), a minha
avó Aidê (in memorian), e às minhas
Hadassa's, pelo incentivo amoroso.*

“Bem sei que tudo podes, e nenhum dos teus planos pode ser frustrado”.

Jó 42:2

AGRADECIMENTOS

Deus é o fundamento de tudo. Sem Ele eu nem teria iniciado, quiçá terminado esta etapa. Toda honra e toda glória ao Senhor que rege minha vida. E por intermédio d'Ele sou grata pelas vidas citadas a seguir:

Às minhas melhores amigas, minhas filhas, por me acompanharem nessa jornada, sempre me esperando com abraços apertados. Vocês me fortalecem todos os dias. Mainha ama vocês!

À minha família.

Aos irmãos e amigos da Igreja Metodista Wesleyana, em Sergipe, e da Igreja Batista Nacional Monge Gerizim, em Salvador/ BA.

À professora Lisiane Freitas, pela orientação

Ao professor Silvânio da Costa, pela co-orientação.

Aos colegas do LAC, em especial a Valter.

Aos amigos que conquistei nesse período: Cristina, Roberta, Candice, Liliane, Thiago, Natan, Leina e Jeizi.

Aos professores das disciplinas ministradas durante o curso, bem como aos colegas que tive contato dentro e fora da sala de aula.

Aos colegas da secretaria e aos técnicos.

Ao CLQM (Centro de Laboratórios de Química Multiusuários) desta universidade.

Aos colegas terceirizados.

À Universidade Federal de Sergipe e ao Programa de Pós-Graduação em Química.

Ao Instituto Federal de Sergipe.

Aos não citados e a todos que contribuíram direta e indiretamente com este trabalho.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Estrutura química proposta para a biomassa lignocelulósica e seus principais componentes	20
Figura 2: Etapas do procedimento adotado para o preparo das amostras coletadas	41
Figura 3: Esquema do forno de micropirólise utilizado	46
Figura 4: Teores de cinzas de umidade das biomassas.....	48
Figura 5: Teores de óleo e extrativos totais das biomassas	49
Figura 6: Diagrama e Van Krevelen das biomassas estudadas	50
Figura 7: Curvas de TG/DTG das biomassas estudadas	54
Figura 8: Comparação das classes químicas dos bio-óleos obtidos por pirólise, em área percentual.....	59
Figura 9: Dendrograma obtido para as variáveis através do método de ligação interpontos utilizando o método de Ward e o cálculo da distância euclidiana	62
Figura 10: Dendrograma obtido para as amostras através do método de ligação interpontos utilizando o método de Ward e o cálculo da distância euclidiana	64
Figura 11: Seleção dos componentes principais	65
Figura 12(a): Scores PC1 X PC2 X PC3 (b): Loadings PC1 X PC2 X PC3.....	68

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Composição química das biomassas	21
Tabela 2: Aplicações de diferentes tipos de pirólise	27
Tabela 3: Biomassas estudadas neste trabalho.....	41
Tabela 4: Resultados das análises de caracterização das biomassas (%).....	51
Tabela 5: Dados de ΔT , Δm obtidos a partir do TG/ DTG das biomassas	56
Tabela 6: Extração dos componentes principais.....	65
Tabela 7: Matriz de correlação.....	66

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

COC	fibra de coco
GOI	semente de goiaba
MAR	semente de maracujá
ACE	semente de acerola
UVA	sementes de uva
CAF	borra de café
Mi.S	sabugo de milho
Mi.P	palha de milho
FEI	vagem de feijão
MAN	cascas de mandioca
AMD	cascas de amendoim
PNU	casca de pinus
ONU	Organização das Nações Unidas
TG	Análise Termogravimétrica (do inglês, <i>Thermogravimetric Analysis</i>)
CHNO	Carbono, hidrogênio, nitrogênio e oxigênio
GC-MS	Cromatografia Gasosa/ Espectrometria de Massas (do inglês, <i>Gas Chromatography/ Mass Spectrometry</i>)
PCA	análise de componentes principais (do inglês, <i>principal component analysis</i>)
HCA	análise de agrupamento hierárquico (do inglês, <i>hierarchical cluster analysis</i>)
PC1	Componente Principal 1 (do inglês, <i>principal component 1</i>)
PC2	Componente Principal 2 (do inglês, <i>principal component 2</i>)

PC3 Componente Principal 3 (do inglês, *principal component 3*)

1. INTRODUÇÃO

Em setembro de 2015, chefes de governos de todo o mundo se reuniram na sede das Nações Unidas em Nova York para decidir sobre os novos objetivos de desenvolvimento sustentáveis globais, comprometendo-se a implementá-los até 2030. Um dos propósitos envolve garantir padrões de consumo e de produção sustentáveis para diminuir a geração de resíduos através da prevenção, redução, reciclagem e reuso [1]. Em dados divulgados pela própria Organização das Nações Unidas (ONU), desde 2015 foram destinados US\$ 757,4 milhões para a execução dos 17 objetivos propostos na reunião para o Brasil, contudo apenas US\$ 13,1 milhões foi destinado para diminuição de desperdício até 2024, cerca de 1,74% do total [2].

O Objetivo de Desenvolvimento Sustentável (ODS) nº 12, que visa assegurar padrões de produção e consumo sustentáveis, estabelece uma base estratégica para a concretização de outros ODS, ao promover o uso eficiente de recursos, a redução de desperdícios e a responsabilidade socioambiental nas cadeias produtivas. Sua implementação contribui diretamente para o ODS 1 (erradicação da pobreza) e o ODS 2 (fome zero e agricultura sustentável), ao otimizar sistemas produtivos, reduzir perdas alimentares e favorecer modelos econômicos inclusivos. No âmbito do ODS 7 (energia limpa e acessível) e do ODS 9 (indústria, inovação e infraestrutura), o ODS 12 impulsiona a transição para matrizes energéticas renováveis e tecnologias mais limpas, fortalecendo cadeias de valor sustentáveis. Além disso, está alinhado ao ODS 8 (trabalho decente e crescimento econômico) ao estimular mercados verdes e empregos de qualidade, e ao ODS 10 (redução das desigualdades) ao ampliar o acesso equitativo a bens, serviços e oportunidades produtivas. Por fim, ao integrar inovação, eficiência e responsabilidade ambiental, o ODS 12 também contribui para o ODS 11 (cidades e comunidades sustentáveis), promovendo sistemas urbanos mais resilientes, inclusivos e ambientalmente equilibrados [1].

Nesta perspectiva, o uso de biomassa residual para produção de biocombustíveis, bioquímicos e biopolímeros é uma boa alternativa para uma economia de baixo carbono, uma vez que reduz o desperdício, proporcionando melhor utilidade. O fornecimento indireto de biomassa é resultante do resíduo de

processamento de matérias-primas, e em países da América do Sul, a maior parte desses materiais são oriundos da agroindústria, plantações, indústrias madeireiras e alimentícias [3]; [4]. Por isso, os resíduos agroindustriais e florestais são objetos de estudo, devido ao volume gerado e para minimizar a queima recorrente, prejudicando a fauna e a flora [5]; [6].

Entre as tecnologias disponíveis para o aproveitamento de resíduos biomássicos, a pirólise tem se destacado por sua capacidade de degradar uma ampla variedade de matérias-primas, gerando diferentes produtos conforme os parâmetros operacionais adotados. Esse processo termoquímico converte a biomassa em três principais frações: bio-óleo, biocarvão e biogás (incluindo o gás de síntese), todos com potenciais aplicações econômicas relevantes [7].

A literatura científica recente tem apontado para o potencial de aproveitamento de produtos oriundos da biomassa em múltiplos segmentos industriais, especialmente no que se refere à valorização de resíduos anteriormente considerados inviáveis economicamente. Entre esses produtos, destaca-se o bio-óleo, cuja composição química é notadamente complexa e variável, dependendo da natureza da matéria-prima utilizada e das condições do processo de conversão. Tal complexidade confere ao bio-óleo um elevado potencial de uso em diferentes cadeias produtivas, incluindo as indústrias química, farmacêutica, alimentícia, energética e agropecuária. Quando submetido a processos de beneficiamento adequados, o bio-óleo pode ser empregado tanto como fonte alternativa de energia quanto como precursor de compostos químicos de interesse industrial [8]; [9].

O bio-óleo proveniente da pirólise é constituído por uma mistura complexa podendo ter mais de 300 compostos, majoritariamente oxigenados, incluindo ácidos carboxílicos, aldeídos, furfurais, álcoois, carboidratos e cetonas, além de apresentar um elevado teor de água, proveniente da biomassa original [7]. Contudo, sua produção está diretamente condicionada à disponibilidade de biomassa, a qual é influenciada por fatores sazonais, logísticos e de armazenamento. Diante disso, torna-se necessário otimizar o processo de obtenção do bio-óleo, utilizando diferentes tipos de matérias-primas. Para tanto, é essencial o conhecimento prévio das características químicas das amostras envolvidas.

Diferentemente de grande parte dos estudos existentes, que se concentram na investigação de uma ou poucas biomassas, o presente trabalho avalia doze tipos distintos de resíduos agroindustriais, incluindo materiais pouco explorados na literatura, como sementes de acerola e cascas de pinus, ampliando o escopo comparativo entre diferentes matérias-primas. A caracterização físico-química das biomassas foi conduzida de forma abrangente, contemplando análises elementar e termogravimétrica, bem como a determinação dos teores de cinzas, umidade, óleo e extrativos totais, proporcionando uma avaliação mais completa de seu potencial para conversão termoquímica. A utilização da micro-pirólise associada à cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massas (GC-MS) permitiu a identificação detalhada da composição química dos bio-óleos obtidos. Como diferencial metodológico, destaca-se a aplicação de ferramentas de análise multivariada, como Análise de Componentes Principais (PCA) e Análise Hierárquica de Agrupamento (HCA), as quais possibilitaram a identificação de padrões e a classificação dos bio-óleos com base em sua similaridade química. Ademais, os compostos majoritários foram correlacionados a potenciais aplicações industriais, conferindo ao estudo um caráter aplicado e contribuindo para o aproveitamento estratégico de resíduos agroindustriais em cadeias produtivas de maior valor agregado.

1.1 RESÍDUO

Resíduos são frações excedentes e subprodutos de processos derivados das atividades humanas e animal. Podem ser considerados neste contexto o lixo doméstico, os efluentes industriais e a emissão de gases advindos dos escapamentos dos carros e das fábricas, por exemplo. O aumento na quantidade desses rejeitos causa efeitos maléficos ao meio ambiente, aumentando os custos dos tratamentos [10].

Em 2020, o custo com a geração de resíduos no mundo foi de US\$252 bilhões, com estimativa de US\$ 640,3 bilhões em 2050 para o tratamento de 3,8 bilhões de T. Dados de 2023 mostram que foram produzidos 2,3 bilhões de T de lixo sólido urbano [11]. Considera-se que em 2016 foram gerados 231 milhões de T de lixo nos países da América Latina e Caribe [12]. Já o Brasil gerou em 2023, 81 milhões de T de resíduo

sólido, onde apenas 144,2 mil T foram utilizadas no preparo de combustível, menos de 0,2% do total [13].

Existem vários tipos de resíduos oriundos de diversas atividades, o que leva a uma preocupação com o destino que lhe serão dados. Neste contexto, de acordo com a Política Nacional de Resíduos Sólidos (2022) [14], esses materiais não podem ser descartados na rede pública de esgoto ou em corpos d'água, sendo necessário valer-se da melhor tecnologia disponível para o propósito final. Os resíduos sólidos orgânicos têm origem animal ou vegetal e ocasionam impactos ambientais relevantes, como produção de gases - em especial o metano - chorume e proliferação de vetores de doenças. Do total de lixo produzido no Brasil, 69% é resíduo sólido orgânico e o aterro sanitário é a disposição mais comum hoje em dia, já que não é tratado. Isso demonstra a subutilização deste material, que poderia ser empregado em outras vertentes, como geração de energia e produção de insumos industriais [15]. Tratando-se de resíduo sólido agrícola, os benefícios de sua utilização incluem o desenvolvimento de novos mercados verdes, criação de empregos, produção de bioenergia, bioconversão de resíduos sólidos agrícolas, entre outros [12].

1.2 BIOMASSA

O avanço tecnológico tem permitido o uso da biomassa de maneira sustentável, melhorando a eficiência e custos de processamento, permitindo o aproveitamento de efluentes municipais, industriais, bem como outros resíduos [16]. Segundo a Associação Nacional dos Serviços Municipais de Saneamento, o país produz 37 milhões de T de lixo orgânico anualmente, contudo, apenas 1% deste quantitativo é aproveitado [17].

A crescente preocupação com a poluição ambiental e a crise energética causada pelo uso excessivo de combustíveis fósseis tem fomentado o desenvolvimento de alternativas energéticas limpas e renováveis. Para reduzir as emissões de dióxido de carbono, sugere-se usar combustíveis sustentáveis ao invés de petróleo, por exemplo [18] [19] [20] [21].

Uma alternativa seria a biomassa, que é qualquer recurso renovável derivado de matéria orgânica de origem animal ou vegetal, existente na natureza ou gerada pelo homem e/ou animais, como resíduos de atividades agrícolas e industriais, e também resíduos urbanos, que possam ser aproveitados como fonte alternativa de energia [22]. Resíduos sólidos agrícolas, florestais e urbanos, como restos de alimentos, lixo, papel e lodo de esgoto são fontes importantes de resíduos de biomassa. Com o aumento pela demanda de alimentos e biocombustíveis, a atenção tem se voltado para esse tipo de matérias-primas não comestíveis, que têm como principal vantagem a não competição com o setor alimentício. Embora a biomassa represente uma parcela significativa da matriz global de energia renovável, sua principal forma de aproveitamento ainda se dá por meio da queima direta, prática que limita o pleno aproveitamento de seu potencial como fonte versátil de insumos energéticos e químicos [23]; [16].

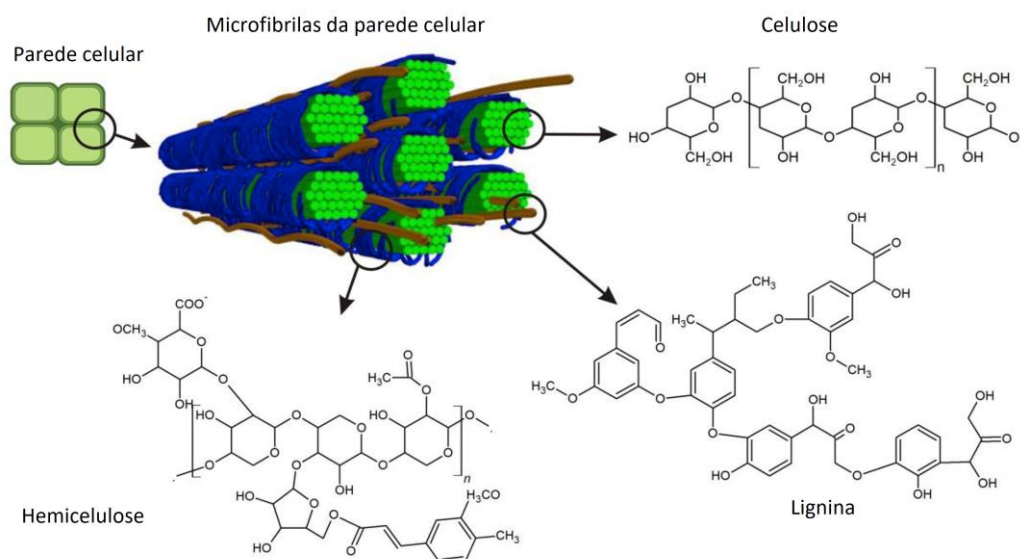
O Brasil está situado na faixa tropical e sub-tropical do planeta, região bastante propensa à produção de biomassa, devido a intensa atividade solar durante o ano. Apesar de países da África, Austrália, sul da Ásia, América Central e norte da América do Sul se encontrarem na mesma região, os dois primeiros possuem extensas áreas desérticas, e os demais não possuem as mesmas áreas agricultáveis disponíveis que o território brasileiro. Segundo o Ministério de Minas e Energia (2007), de 2005 a 2030 projeta-se um aumento de 151,25% do total de oferta mássica de biomassa em milhões de T de base seca por ano, considerando os resíduos agrícola, agroindustrial e silvicultural. Isso mostra que o setor agrícola nacional tem potencial de exploração frente aos combustíveis fósseis [24] [25].

A biomassa lignocelulósica, importante recurso de energia renovável contendo carbono, foi identificada como matéria-prima atrativa para a produção de combustíveis devido ao potencial de baixa emissão de CO₂, a disponibilidade abundante e baixo custo. O biocombustível é considerado um combustível neutro em carbono e tem atraído a atenção como uma fonte em potencial de energia renovável para substituir parte dos combustíveis fósseis e reduzir a emissão de gases do efeito estufa [26] [27] [28]. O setor energético brasileiro tem se destacado na produção de biocombustíveis com 11,9% do total de consumo, perdendo apenas para hidroeletricidade (29,3%) e petróleo (38,4%), estando à frente de países como Argentina, Canadá, França,

Alemanha, Índia, China e Estados Unidos [29]. Isso coloca o Brasil em evidência nas discussões internacionais que envolvem sustentabilidade e mudanças climáticas, inserindo a eficiência energética como condição necessária para o crescimento econômico. A geração de biocombustíveis no país é realizada especialmente a partir de culturas de milho, cana de açúcar e soja, susceptíveis a sazonalidades, levando à necessidade de diversificação das opções de insumos [30] [31].

Por conseguinte, a composição da biomassa é de extrema relevância na avaliação dos produtos, bem como de suas propriedades. Raud e colaboradores (2019) [23] descreveram a constituição e estrutura da biomassa lignocelulósica, bem como as possibilidades de produção de diferentes biocombustíveis. Sabe-se que a parede celular é constituída sobretudo de celulose, hemicelulose e lignina, conforme demonstrado na Figura 1. O percentual de cada uma dessas substâncias confere características peculiares ao produto formado, especialmente no que diz respeito à composição dos compostos orgânicos.

Figura 1: Estrutura química proposta para a biomassa lignocelulósica e seus principais componentes



Fonte: Adaptado de Raud e colaboradores (2019) [23]

Percebe-se que há diferença quanto à composição química das amostras, conforme dados apresentados na Tabela 1. As proporções dependem de fatores como tipo de biomassa, época da colheita, local da cultura e espécie. Os teores dos constituintes lignocelulósicos influenciam os processos de pirólise contribuindo para um maior rendimento do bio-óleo quando há maiores percentuais de holocelulose, enquanto que a lignina aumenta sua viscosidade, formando compostos com alta massa molecular e alto teor de fenóis [32] [33].

Tabela 1: Composição química das biomassas

Biomassa	Celulose (%)	Hemicelulose (%)	Lignina (%)	Referência
Semente de acerola	30,37	19,95	18,10	[34]
Semente de goiaba	48,71	11,52	10,12	[35]
Vagem de feijão	29,97	24,33	7,31	[33]
Semente de uva	15,68	18,71	49,23	[36]
Borra de café	12,40	39,10	23,90	[37]
Sabugo de milho	45,43	29,92	10,93	[38]
Casca de mandioca	9,53	12,00	12,29	[39]
Palha de milho	28,95	42,94	10,37	[40]
Casca de amendoim	36,39	15,64	25,01	[41]
Semente de maracujá	22,70	2,40	42,60	[42]
Fibra de coco	46,37	16,18	26,66	[43]

A celulose é um políssacarídeo constituído por moléculas de glicose, formando fibras longas e compactas, insolúveis em água, e representa de 40 a 60% da biomassa lignocelulósica. A hemicelulose, por sua vez, é um polímero amorfo ramificado de pentoses, hexoses e açúcares acetilados, com cadeias laterais curtas e compõe de

20 a 40% da massa. Por fim, a lignina é um polímero aromático constituído por unidades fenilpropano metoxiladas, originando uma rede tridimensional onde as estruturas de celulose e hemicelulose são incorporadas, perfazendo de 10 a 24% da amostra [23]; [44].

Estudar a composição das biomassas é relevante para avaliar as potencialidades de determinados produtos formados. Pocha e colaboradores (2022) [45] demonstraram que biomassas de origem lignocelulósica são fontes de geração de biocombustível em potencial, discutindo rotas biológicas e termoquímicas, bem como inovações tecnológicas, visando melhorias, e compararam com os combustíveis de origem fóssil, no qual observaram que a maioria das propriedades já satisfazem o padrão internacional.

As oleaginosas também exercem papel importante neste cenário, pois seus resíduos podem ser utilizados para produção de hidrogênio e biocombustíveis, como etanol, butanol, bio-gás e bio-óleo. A viabilidade econômica desses processos está diretamente relacionada à composição química da biomassa residual, especialmente ao teor de holocelulose, que corresponde à fração combinada de celulose e hemicelulose da parede celular vegetal [46].

O uso de oleaginosas não comestíveis é interessante, pois não compete com a indústria alimentícia. A planta *Mesua ferrea* L está presente em alguns países orientais e seu óleo é utilizado para iluminação, medicamentos e produção de polímeros. As sementes quando submetidas à pirólise, produzem um bio-óleo com compostos de valor agregado, podendo ser misturado numa proporção de 20 a 30% em combustíveis fósseis [47].

A camelina (*Camelina sativa* (L.) Crtz.) é uma oleaginosa produzida comercialmente como insumo para produção de biodiesel, pois produz um óleo não comestível até o momento. É uma planta de baixa manutenção, tolerante à seca e à geada e com alta taxa de multiplicação, características que se mostram interessantes para a produção de biocombustíveis. Por ter um alto rendimento de sementes, os restos da colheita podem ser usados para o mesmo fim, e inclusive, já são utilizados nos países europeus e americanos em combustível de aviação [48].

Os óleos vegetais são produtos agrícolas de valor agregado, e os não comestíveis são utilizados para produzir biodiesel, tintas, revestimentos e lubrificantes. Por isso há uma demanda considerável por eles nas indústrias de alimentos, cosméticas, farmacêuticas e de biorrefino. Diversas espécies de plantas possuem óleo na constituição de suas sementes na forma de ácidos graxos, lipídeos, triglicerídeos e triacilgliceróis, tornando-se uma excelente alternativa na substituição de produtos oriundos do petróleo [44].

Dessa forma, a caracterização dos atributos físico-químicos das biomassas permite avaliar sua aplicação de forma isolada ou combinada, visando a produção de uma ampla gama de produtos.

1.2.1 CARACTERIZAÇÃO DA BIOMASSA

A variedade de biomassas difere quanto à composição química, revelando a heterogeneidade destas em termos de suas propriedades físicas e químicas. Sendo assim, as análises de caracterização possibilitam compreender os atributos destes materiais, e avaliar a obtenção de produtos com valor agregado, pois norteiam quanto à definição de parâmetros de processos como a pirólise, por exemplo [49] [50] [51].

Biomassas como bagaço de cana, couro e plantas não comestíveis tiveram suas características determinadas através de análises de composição elementar, umidade, cinzas, poder calorífico superior, material volátil, carbono fixo, comprovando as peculiaridades de cada amostra para obtenção dos produtos de interesse [52] [47] [53] [32]. Essas informações são relevantes pois além de definirem o método de processamento, indicam possíveis problemas de armazenamento, manuseio e transformação da matéria-prima [51].

Considerando o teor de cinzas, o excesso pode diminuir a eficiência térmica do processo, gerando deposição no reator. Dependendo de sua composição, pode agir como catalisador, considerando o produto de interesse [54] [55]. Já o percentual de umidade quando é considerado baixo traz vantagens para a pirólise, enquanto níveis

mais altos são indesejáveis [56]. Além disso, valores elevados de umidade aumentam os custos de armazenamento, manuseio e transporte das matérias-primas [32].

Embora o conteúdo lignocelulósico seja essencial para a composição do bio-óleo derivado de biomassa, a presença de extrativos totais aumenta o poder calorífico e facilita a decomposição da lignina, resultando na formação de compostos fenólicos [57]. Considerando que uma parte significativa dos resíduos agroindustriais é composta por partes descartadas de frutas como as sementes, Silveira *et al.* (2024) [58] identificaram que as de pequi contêm um teor de extrativos variando de 40% a 50% de sua composição, possibilitando sua valorização em processos de biorrefinaria. Essa valorização pode ocorrer tanto por meio da utilização direta dos extrativos na produção de óleos comestíveis, produtos farmacêuticos e nutracêuticos, quanto pelo aproveitamento da biomassa residual após a extração, além da viabilidade de processos integrados que maximizem a utilização do material.

Entre os parâmetros de caracterização da biomassa, as análises termogravimétricas destacam-se por sua ampla aplicação na investigação do comportamento térmico do material, permitindo a definição de condições otimizadas para o processo de pirólise e a previsão da qualidade dos produtos gerados, como o bio-óleo [59]. Essa técnica consiste no monitoramento da perda de massa da amostra em função da temperatura, sob atmosfera controlada em forno específico [60].

A análise de composição elementar é fundamental para a determinação da fórmula empírica dos compostos presentes, com ênfase nos elementos carbono (C), hidrogênio (H), nitrogênio (N) e oxigênio (O). A partir desses dados, em conjunto com outras análises físico-químicas, é possível prever e, em muitos casos, confirmar a presença de determinadas classes de compostos orgânicos na amostra. Considerando que o presente trabalho tem como objetivo avaliar qualitativamente as substâncias orgânicas presentes em diferentes biomassas e nos bio-óleos delas derivados, os resultados da análise elementar fornecem subsídios importantes para a caracterização química das amostras.

Nesse contexto, destaca-se a aplicabilidade do Diagrama de Van Krevelen, uma ferramenta gráfica amplamente utilizada na investigação de materiais orgânicos de elevada complexidade, como é o caso dos bio-óleos obtidos por pirólise. Este

diagrama baseia-se na representação das razões atômicas H/C versus O/C, permitindo inferências quanto ao grau de aromaticidade e oxigenação dos compostos analisados. Sua aplicação viabiliza a identificação de padrões estruturais e a categorização dos compostos em diferentes funções orgânicas. Dessa forma, o Diagrama de Van Krevelen configura-se como uma ferramenta complementar relevante para a interpretação dos dados, além de auxiliar na definição de rotas tecnológicas voltadas à valorização de produtos obtidos a partir da biomassa [61]; [62].

Essas e outras técnicas podem ser empregadas para elucidar as proporções dos componentes da biomassa, bem como características que possam influenciar o desempenho dos processos e a qualidade dos produtos obtidos.

1.2.2 PIRÓLISE DA BIOMASSA

A biomassa lignocelulósica pode ser utilizada de forma limpa e eficiente quando submetida ao desenvolvimento e aplicação de técnicas de conversão para produção de insumos industriais, por exemplo. Dentre essas metodologias, a pirólise é um processo termoquímico de decomposição de materiais orgânicos na ausência de oxigênio, amplamente utilizado para a conversão de biomassa em produtos de valor agregado, como bio-óleo, biocarvão e gases não condensáveis, como CO, CO₂, CH₄ e H₂ [63]. A decomposição térmica associada ao processo de pirólise ocorre em ampla faixa de temperatura, variando desde valores inferiores a 400 °C até temperaturas superiores a 800 °C, sendo significativamente influenciada por parâmetros operacionais como o tempo de residência dos voláteis na zona de reação e a composição físico-química da biomassa utilizada. Em função dessas variáveis, a pirólise pode ser classificada em três principais modalidades: lenta, intermediária e rápida. Cada uma dessas categorias promove a formação de produtos — bio-óleo, biochar e gases — em proporções distintas, conforme as características do processo adotado [64]; [65]; [66].

A pirólise rápida caracteriza-se por curtos tempos de residência dos vapores (geralmente inferior a 2 segundos), com temperaturas acima de 500°C. Sob essas

condições, a formação de bio-óleo é maximizada, com rendimentos que podem atingir 60% a 75%, enquanto os teores de biochar e gases são significativamente menores. O bio-óleo gerado é uma mistura complexa de compostos orgânicos oxigenados, e seu potencial de aplicação inclui o uso como combustível líquido renovável, insumo para indústrias químicas ou como matéria-prima para *upgrade* catalítico [67].

A pirólise lenta, por outro lado, também conhecida como carbonização, é realizada por longos tempos de residência (de minutos a horas), a temperaturas moderadas, geralmente entre 300 °C e 500 °C. Essas condições favorecem a formação de carvão vegetal (biochar) como principal produto, com rendimento superior a 30%, além da produção de quantidades menores de líquidos condensáveis (bio-óleo) e gases. O biochar resultante é valorizado principalmente por seu potencial de uso como condicionador de solo, adsorvente ou material precursor para aplicações em energia e catálise [68]; [69].

A pirólise intermediária apresenta condições operacionais entre as duas anteriores, com tempos de residência intermediários (geralmente 30 minutos), operando em faixas de temperatura similares à pirólise rápida. Esse tipo de pirólise busca um equilíbrio entre a produção de líquidos, sólidos e gases, resultando em proporções mais equilibradas de bio-óleo, biochar e gases, sendo, portanto, uma alternativa versátil para aplicações integradas [70]; [71].

A escolha do tipo de pirólise a ser empregada depende diretamente do produto de interesse e das características da biomassa utilizada. O entendimento dessas rotas permite otimizar o aproveitamento de resíduos agroindustriais, direcionando o processo para a produção seletiva de combustíveis renováveis, produtos químicos ou materiais carbonáceos funcionais [72].

A pirólise rápida é interessante para a produção de bio-óleo devido a características como alta transferência de calor, taxa de aquecimento, curto tempo de residência dos vapores e rápido resfriamento destes, alta produção e controle preciso da temperatura de reação, fatores que afetam o rendimento do produto, influenciado pelo tamanho das partículas de biomassa. Partículas com menos de 2 mm aumentam a transferência de calor, resultando numa rápida decomposição da matéria-prima, além de um breve tempo de residência dentro do reator. Sendo assim, a pirólise rápida geralmente requer partículas de biomassa trituradas na faixa de tamanho aproximado

de 0,6 a 1,25 mm para fornecer as condições de produção citadas para óleos líquidos [53] [73].

A pirólise tem sido utilizada para a transformação de biomassas oriundas de animais e vegetais com eficiência na obtenção de inúmeros produtos, conforme alguns exemplos destacados na Tabela 2.

Tabela 2: Aplicações de diferentes tipos de pirólise

Tipo	Processo	Produto	Referência
Gordura animal	Pirólise catalítica	Gasolina e diesel	[74]
Couro	Pirólise assistida por micro-ondas	Frações líquida e bio-carvão	[75]
Osso	Pirólise e co-pirólise	Biocarvão	[76]
Penas de frango	Pirólise lenta	Biocarvão	[77]
Esterco bovino	Pirólise catalítica in-situ	Biogás	[78]
Folhas de árvores	Pirólises lenta, rápida e por micro-ondas	Biogás e biocarvão	[79]
Troncos e folhas de árvores	Pirólise intermediária	Bio-óleo e biocarvão	[80]
Galhos de árvores	Co-pirólise	Biocarvão	[81]
Raiz de planta	Pirólise catalítica	Biogasolina	[82]
Cascas de alimentos e madeira	Co-pirólise	Biogás	[83]
Sementes	Pirólise rápida	Bio-óleo	[84]

Stegen e Kaparaju (2020) [85] estudaram o efeito da temperatura na produção de bio-óleo obtido pela pirólise rápida de bagaço de cana-de-açúcar, variando este parâmetro entre 300°C e 600°C. Os resultados comprovam que para esta biomassa, os melhores valores de temperaturas para pirólise rápida são de 450°C e 550°C para

obtenção de bons rendimentos. Especialmente nesta última, observou-se a ausência de compostos aromáticos, o que melhora a estabilidade do produto.

Uma das vantagens em se estudar a micropirólise é a possibilidade de fazer um ajuste fino sobre as variáveis que influenciam nos produtos finais, como temperatura, por exemplo. O estudo de diferentes temperaturas em micro reator promove um aquecimento mais rápido e eficiente, proporcionando repetição de análises nas mesmas condições, o que garante a reprodutibilidade e melhor representatividade do material estudado, reduzindo o efeito da heterogeneidade da biomassa [86]; [87].

1.2.3 BIOMASSAS UTILIZADAS NESTE TRABALHO

Para o estudo disposto, foram utilizadas as amostras descritas a seguir:

1.2.3.1 Sementes de acerola:

A acerola é amplamente conhecida pelo seu elevado teor de vitamina C, além de outros compostos bioativos que lhe conferem um expressivo potencial antioxidante. O Brasil figura entre os principais produtores mundiais da fruta, sendo também um relevante exportador de acerola processada. Durante o processo de beneficiamento, estima-se que até 40% de seu volume total corresponda a resíduos, majoritariamente constituídos por sementes, que são comumente descartadas de forma inadequada [34]. De acordo com dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística [88], em 2017, a produção nacional de sementes de acerola foi estimada em 24.386 T, das quais uma parcela significativa teve como destino o descarte inadequado. Esse panorama evidencia a necessidade de estratégias voltadas ao aproveitamento sustentável desse resíduo agroindustrial, visando à agregação de valor e à diminuição de impactos ambientais.

1.2.3.2 Sementes de maracujá:

O maracujá apresenta, em sua composição, uma fração significativa de sementes, cuja massa pode variar entre 6% e 12% do peso total do fruto. Em 2023, a proporção de sementes geradas no Brasil correspondeu a aproximadamente 85.353 T, considerando a produção nacional de 711.278 T de maracujá [88]. O país destaca-se como um dos principais produtores e exportadores mundiais da fruta, tanto na forma *in natura* quanto processada, tendo o estado da Bahia como principal polo produtivo. Esta cultura é favorecida por condições climáticas tropicais e subtropicais, o que contribui para sua ampla adaptação em diversas regiões do território nacional. Dada a expressiva quantidade de resíduos gerados, sua semente apresenta elevado potencial para o aproveitamento em processos sustentáveis de valorização de resíduos agroindustriais [89] [90].

1.2.3.3 Sementes de goiaba:

A goiaba apresenta, em sua constituição, uma fração significativa de sementes, que pode chegar a 12% da massa total da fruta. Com uma produção nacional estimada em aproximadamente 582.832 T em 2023 [88], a geração de sementes no Brasil pode alcançar cerca de 70 mil T anualmente. Apesar desse expressivo volume, as sementes de goiaba são majoritariamente tratadas como resíduos, sem aplicação significativa em escala industrial. Considerando a ampla produtividade da cultura no país e o alto teor de compostos bioativos presentes nas sementes, seu aproveitamento representa uma oportunidade promissora para o desenvolvimento de processos sustentáveis e agregação de valor a subprodutos agroindustriais [91].

1.2.3.4 Milho (palha e sabugo):

O milho constitui uma das culturas agrícolas mais relevantes no Brasil, destacando-se por sua ampla adaptação a diferentes condições climáticas e por sua utilização como matéria-prima em diversos setores da economia. Trata-se da segunda maior cultura agrícola do país, com predominância nas regiões Centro-Oeste e Sul. Durante o processo de colheita, são gerados diversos resíduos lignocelulósicos, entre os quais se destacam o talo, a palha, as folhas e o sabugo. Estima-se que a palha do

milho represente aproximadamente 15% da produção total, enquanto o sabugo corresponda a cerca de 16%. Com uma produção nacional estimada em 348.904 T em 2017, os resíduos da palha e do sabugo corresponderam, respectivamente, a 52.336 T e 55.825 T, evidenciando o elevado potencial desses subprodutos para o aproveitamento em processos de valorização de biomassa [88] [92] [93].

1.2.3.5 Casca de mandioca:

Corresponde a aproximadamente 6% do peso total do tubérculo, e é composta por duas camadas distintas: uma externa, mais fina e de coloração marrom, e uma interna, de maior espessura. A mandioca (*Manihot esculenta Crantz*) destaca-se como a sexta fonte mais relevante de calorias na dieta humana global, sendo que a raiz representa cerca de 45% da massa total da planta [94]. Segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), a produção nacional de mandioca no ano de 2023 foi de aproximadamente 18.514.317 T [88]. Com base nessa produção, estima-se que o volume de resíduos gerados na forma de cascas tenha alcançado cerca de 1.110.859 T, o que evidencia o potencial desse subproduto para aplicações em processos de reaproveitamento agroindustrial e valorização de resíduos.

1.2.3.6 Borra de café:

É um resíduo gerado em grande escala durante o preparo da bebida, correspondendo a aproximadamente 90% da massa utilizada. O café é considerado o segundo produto mais comercializado mundialmente, sendo superado apenas pelo petróleo, o que reforça sua relevância econômica e social em escala global. Contudo, a biomassa residual proveniente do preparo da bebida é, em sua maioria, descartada de modo inadequado, comumente em aterros sanitários, o que contribui para impactos ambientais negativos. Isso se deve à presença de compostos orgânicos complexos, como polifenóis, cafeína e taninos, que apresentam baixa biodegradabilidade e potencial tóxico ao meio ambiente [95]. De acordo com dados de 2023, a produção nacional de café foi de aproximadamente 3.405.267 T [88], das quais cerca de 3.064.740 T correspondem a resíduos sólidos oriundos da borra, evidenciando o elevado potencial desse material para aplicação em tecnologias de valorização de resíduos agroindustriais.

1.2.3.7 Sementes de uva:

Representam entre 15% e 25% dos resíduos gerados durante o processo de vinificação, sendo um subproduto significativo desta indústria. Embora parte desse material seja utilizada como combustível em processos de queima ou em aplicações de menor escala, uma fração considerável ainda é descartada em aterros sanitários, contribuindo para a geração de resíduos sólidos de difícil decomposição [96]. Em 2023, a produção nacional de uvas alcançou 1.757.891 T [88]. Considerando a proporção de sementes nos resíduos do processamento, estima-se que a quantidade gerada desse subproduto tenha variado entre 263.684 e 351.758 T. Esses números evidenciam o potencial de valorização da semente de uva como matéria-prima para aplicações sustentáveis, como no uso em bioprocessos.

1.2.3.8 Vagem de feijão:

Representa aproximadamente 39% da massa total obtida durante a colheita do grão, configurando-se como um resíduo de grande relevância em termos quantitativos. A produção mundial de feijão alcança cerca de 19,4 milhões de T/ ano, evidenciando a magnitude do volume de resíduos gerados. O feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) é uma das culturas alimentares mais importantes em regiões tropicais, sendo amplamente consumido por seu elevado valor nutricional, por ser fonte de proteínas, carboidratos, vitaminas e compostos fenólicos. Contudo, a vagem residual representa um desafio tanto econômico quanto ambiental, devido ao seu elevado volume e aos custos associados à gestão desses rejeitos [97]. No Brasil, a produção de feijão em 2023 foi de aproximadamente 2.899.043 T [88], das quais cerca de 1.130.627 T corresponderam aos resíduos de vagem, ressaltando o potencial deste subproduto para processos de aproveitamento e valorização dentro de uma perspectiva de economia circular.

1.2.3.9 Casca de amendoim:

Representa entre 20% e 25% da massa total obtida durante a colheita dos grãos, constituindo um resíduo expressivo em volume. A Argentina destaca-se como um dos principais produtores mundiais de amendoim, e nesse país a biomassa

residual, composta majoritariamente pelas cascas, é comumente destinada à queima, prática que acarreta impactos ambientais e sociais negativos. No Brasil, a produção de amendoim em 2023 ultrapassou 875 mil T, resultando na geração estimada de 175 mil a 219 mil T de casca. Historicamente, a indústria do amendoim enfrenta limitações no que diz respeito ao aproveitamento deste resíduo, uma vez que ainda carece de aplicações com valor agregado significativo. Tal cenário evidencia a necessidade de desenvolvimento de alternativas tecnológicas e sustentáveis para a valorização dessa biomassa residual, alinhadas a princípios de sustentabilidade [98] [99] [88].

1.2.3.10 Casca de coco verde:

Corresponde a aproximadamente 15% a 19% da massa total do fruto, sendo considerada um dos principais resíduos gerados durante seu processamento. Tradicionalmente, esse subproduto tem sido utilizado na produção de carvão vegetal, além de, em menor escala, ser deixado sobre o solo agrícola ou queimado com o objetivo de controlar pragas e contribuir para a reposição de nutrientes. O Brasil figura entre os maiores produtores mundiais de coco verde, com destaque para a região Nordeste, que concentra a maior parte da produção nacional [100] [101]. Em 2023, foram colhidos mais de 1,9 milhões de frutos [88], resultando na geração de mais de 367 mil unidades correspondentes à casca. Apesar do aproveitamento parcial em sistemas agrícolas tradicionais, a casca de coco verde ainda carece de estratégias amplas de valorização, o que aponta para a necessidade de alternativas tecnológicas e sustentáveis que evitem seu descarte inadequado e promovam sua integração em cadeias produtivas de maior valor agregado.

1.2.3.11 Casca de pinus:

Correspondendo de 20 a 40% das toras, é um dos resíduos agroindustriais mais abundantes e normalmente é utilizada como combustível. Quando esse material é deixado na floresta de pinheiros, acumula-se no solo, levando a inibição da recarga de água subterrânea e incêndios florestais [102] [103].

A análise dos resíduos provenientes de diferentes culturas agrícolas evidencia o elevado potencial de aproveitamento da biomassa lignocelulósica no Brasil. A

valorização desses subprodutos por meio de tecnologias sustentáveis pode representar uma solução estratégica para minimizar impactos ambientais, promover a economia circular e agregar valor às cadeias produtivas agroindustriais. Nesse contexto, políticas públicas, investimentos em pesquisa e desenvolvimento e incentivos à inovação são fundamentais para transformar resíduos em oportunidades econômicas e ambientais.

1.3 BIO-ÓLEO

O bio-óleo, um dos produtos resultantes da pirólise da biomassa, consiste em uma mistura complexa de moléculas de diferentes tamanhos, originadas predominantemente da despolimerização e fragmentação dos três principais componentes estruturais da biomassa: celulose, hemicelulose e lignina. Diversas reações químicas, incluindo descarbonilação, descarboxilação, desoxigenação e desmetilação, desempenham um papel fundamental na definição da composição final desse produto [104]. Como consequência, é majoritariamente constituído por ácidos carboxílicos, aldeídos, cetonas, ésteres e alcoóis, derivados da celulose e hemicelulose, além de compostos fenólicos provenientes da lignina [105] [106]. Adicionalmente, sua composição pode variar significativamente em função das características intrínsecas de cada tipo de biomassa, resultando em perfis composicionais qualitativa e quantitativamente distintos, fortemente influenciados pelas condições empregadas nos processos de extração e termodegradação [8]; [107].

O aproveitamento da biomassa proveniente da pirólise de resíduos industriais, agrícolas e domésticos tem se mostrado uma alternativa promissora para a geração de energia e a obtenção de compostos químicos de interesse. Essa abordagem tem sido amplamente investigada com o objetivo de produzir combustíveis e materiais com potencial aplicação em diferentes setores. Cada tipo de biomassa apresenta características específicas, que influenciam diretamente a composição qualitativa e/ou quantitativa dos compostos presentes no bio-óleo gerado por meio de processos de extração e termo-degradação [108]; [109]. Aspectos como tamanho de partícula,

temperatura final do processo e taxa de aquecimento afetam a densidade de energia do bio-óleo, podendo conferir propriedades indesejáveis, como alta acidez, baixo poder calorífico, alta viscosidade e baixa estabilidade térmica quando comparado ao diesel, causando problemas no uso de motores em automóveis, por exemplo [110] [106].

A busca pela alta produtividade do bio-óleo está relacionada à sua versatilidade, podendo ser empregado em vários setores: combustíveis, construção civil, resinas fenólicas, polímeros, fertilizantes, aglutinante, dentre outros. A crescente limitação e instabilidade na disponibilidade das fontes de combustíveis fósseis torna o desenvolvimento desta matéria-prima inevitável, cujos objetivos se concentram principalmente em aumentar seu poder calorífico, pureza, bem como garantir a reprodutibilidade de suas propriedades e composição química. Tratadas essas situações, o bio-óleo é vantajoso perante os combustíveis convencionais no que diz respeito à facilidade de uso, transporte e produção rápida [111].

Na literatura, existem estudos mostrando a relevância do bio-óleo como matéria-prima nas mais variadas aplicações. Um comparativo entre duas espécies de cana-de-açúcar, *Saccharum officinarum* sp. e *Saccharum barberi* sp., foi realizado com o objetivo de avaliar a substituição parcial do bio-óleo frente ao diesel em automóveis. Com poucos dados sobre esta última planta, os autores compararam o produto de ambas considerando as propriedades físico-químicas, e confirmam que a cana *Saccharum barberi* sp. fornece bio-óleo com maior potencial, devido às maiores quantidades de hidrocarbonetos aromáticos, fenóis e furfurais, tornando-o adequado à finalidade proposta [52].

Nesta mesma perspectiva, um destino interessante é oferecido para o aproveitamento da planta *Prosopis juliflora*, espécie invasora abundante no meio ambiente. Seu caule foi submetido à pirólise e o bio-óleo, utilizado como aditivo, juntamente com a resina epóxi convencional na preparação de laminados de fibras de coco, apresentou uma maior resistência a tração e flexão quando comparado aos laminados puros à base apenas da resina fenólica [112].

Esses trabalhos exemplificam a versatilidade quanto ao uso do bio-óleo como matéria-prima em diferentes vertentes da indústria química e de energia.

1.3.1 CARACTERIZAÇÃO DO BIO-ÓLEO

A cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massas (GC-MS, do inglês *Gas Chromatography/Mass Spectrometry*) destaca-se como uma das principais técnicas analíticas utilizadas na caracterização de bio-óleos, em razão de sua elevada seletividade e sensibilidade, inclusive na detecção de compostos contendo heteroátomos. Essa metodologia permite a identificação qualitativa dos constituintes formados durante o processo de pirólise, contribuindo para uma melhor compreensão da composição química dos produtos obtidos. [113]; [114].

A GC-MS é uma técnica analítica amplamente utilizada na caracterização qualitativa e quantitativa de compostos orgânicos voláteis e semivoláteis. Essa técnica combina a elevada capacidade de separação da cromatografia gasosa com a sensibilidade e seletividade da espectrometria de massas (MS), resultando em um método para a análise de misturas químicas complexas [115], como os bio-óleos obtidos por pirólise de biomassa lignocelulósica.

Conforme descrito por Nascimento e colaboradores (2018) [115], a cromatografia gasosa baseia-se na separação dos componentes de uma mistura em função de suas interações com uma fase estacionária imobilizada em uma coluna capilar e de suas volatilidades relativas. À medida que os compostos migram pela coluna arrastados por um gás inerte (fase móvel), eles são eluídos em diferentes tempos de retenção. Ao final da coluna, os compostos separados são introduzidos no espectrômetro de massas, onde são ionizados, fragmentados e analisados com base na razão massa/carga (m/z) de seus íons gerados. O espectro de massas resultante é comparado com bibliotecas espectrais para identificação dos compostos.

A utilização da técnica de GC-MS na análise de bio-óleos é vantajosa devido à complexidade da matriz, que pode conter centenas de compostos orgânicos pertencentes a diferentes classes funcionais, tais como ácidos carboxílicos, fenóis, ésteres, aldeídos, cetonas, hidrocarbonetos, furanos, entre outros. Além de proporcionar a identificação desses compostos, a GC-MS permite observar perfis químicos característicos que podem ser correlacionados à composição da biomassa

original, às condições do processo de pirólise e ao potencial de aplicação dos bio-óleos em diferentes setores industriais [116]; [117]; [118].

Deste modo, a aplicação da GC-MS em estudos voltados à valorização de resíduos agroindustriais via pirólise térmica oferece contribuições importantes para o estudo dos produtos formados, possibilitando o direcionamento de estratégias de purificação, modificação ou uso direto desses bio-óleos como precursores de insumos químicos ou combustíveis renováveis. Silva e colaboradores (2021) [119] caracterizaram o bio-óleo de semente de mamona (resíduo sólido após a extração do óleo) utilizando GC-MS. Os resultados revelaram uma composição complexa, com predominância de ácidos carboxílicos, além de fenóis e outros compostos oxigenados. Os autores enfatizam a necessidade de processos com o objetivo de converter os ácidos carboxílicos em hidrocarbonetos ou em substâncias menos polares. Ácidos carboxílicos de cadeia longa, presentes em concentrações significativas, reduzem o poder calorífico do bio-óleo, aumentam sua corrosividade e viscosidade, o que compromete sua aplicabilidade como biocombustível. Contudo, esses compostos podem ser utilizados como precursores de hidrocarbonetos para aplicação em combustíveis.

Também com GC-MS, Ahmad e colaboradores (2022) [52] caracterizaram o bio-óleo oriundo de bagaço da cana (*Saccharum barberi*), para aplicação como bio-combustível, determinando que os fenóis são a segunda classe de compostos mais abundante (14,8%), perdendo apenas para os hidrocarbonetos aromáticos (26,2%). Como os fenóis têm alto valor agregado e são extraídos do petróleo, encontrar uma alternativa com custo menor é vantajoso, além de ter potencial para a finalidade proposta.

Em outro trabalho, Zubiolo *et al.* (2024) [109] exploraram a pirólise de sabugo de milho e caule de girassol, ambos sem pré-tratamento, para produção de bio-óleo, biochar e biogás. A caracterização do bio-óleo por GC-MS identificou fenóis e ácidos carboxílicos como principais classes de compostos, além de álcoois e aldeídos. Os resultados forneceram informações sobre o comportamento térmico dos componentes da biomassa e o impacto dessas biomassas no rendimento e nas propriedades dos produtos da pirólise.

A produção de bio-óleo por pirólise de cascas de mandioca, um resíduo agroindustrial abundante, foi investigada por Lucas e colaboradores (2023) [120]. A pirólise foi realizada sem pré-tratamento da biomassa, resultando em um rendimento de bio-óleo de 17,5%. A caracterização do bio-óleo por GC-MS revelou uma alta concentração de fenóis e álcoois, indicando o potencial do resíduo para aplicações industriais e redução do impacto ambiental.

Observa-se a importância da identificação das classes de compostos presentes no bio-óleo, a fim de mensurar a sua aplicabilidade nos mais diversos setores industriais.

1.4 ANÁLISE MULTIVARIADA

Como a composição do bio-óleo é sensível aos componentes da biomassa, essa relação pode ser estimada através de análise multivariada, pois é uma técnica exploratória que aprecia as variáveis em conjunto. Especialmente quando são consideradas muitas amostras, examina como elas se relacionam, se podem ou não serem trabalhadas em conjunto, com a finalidade de potencializar ou minimizar algum parâmetro químico, por exemplo.

Levando-se em consideração o número de amostras e as características pretendidas, pode-se recorrer ao estudo multivariado dos dados, e técnicas como a análise de componentes principais (PCA, do inglês *principal component analysis*), são largamente utilizadas, pois reduz a dimensionalidade do problema valendo-se do menor número de componentes possível. Adicionalmente, também indica as contribuições de cada parâmetro para uma componente principal, e as correlações e anti-correlações entre as variáveis. Outrossim, pode-se recorrer à análise de agrupamento hierárquico (HCA, do inglês *hierarchical cluster analysis*), na qual as amostras ou parâmetros são reunidos em grupos conforme suas características, avaliando semelhanças e diferenças, reunindo os dados em dendogramas [121] [122].

Na HCA, as amostras podem ser agrupadas considerando a variância da similaridade, mensurada pela distância média entre elas, através do método de Ward. Dentre suas características estão o fato de apresentar bons resultados tanto para

distância euclidiana quanto para outras distâncias, tender a combinar grupos com poucos elementos e ser sensível à presença de *outliers*, ou seja, valores que se diferenciam da maioria dos outros dados [123].

A PCA é uma técnica estatística multivariada utilizada para reduzir a dimensionalidade de um conjunto de dados, preservando ao máximo a variabilidade original. De forma simplificada, o método transforma um grande número de variáveis em um conjunto menor de novas variáveis, chamadas componentes principais, que são combinações lineares das originais. Esses componentes são ordenados de modo que o primeiro explique a maior parte da variância dos dados, seguido pelo segundo, e assim sucessivamente. Essa abordagem facilita a visualização, interpretação e identificação de padrões, tornando-se especialmente útil em estudos com grande quantidade de variáveis experimentais [124]; [125].

Dessa maneira, a análise multivariada evidencia as particularidades do conjunto de dados. Sua aplicação apresenta vantagens significativas, especialmente no que se refere à economia de tempo, uma vez que reduz o número de etapas em comparação a análise univariada [126]; [127].

A sazonalidade e o armazenamento das biomassas por longos períodos são fatores relevantes nas produções de biocombustíveis, podendo inclusive limitar a produção da planta industrial, pois a matéria-prima pode se decompor. Essa situação levou Motta e colaboradores (2022) [128] a buscarem alternativas agrícolas e florestais para a entressafra de cana-de-açúcar, tais como soja, milho, arroz, trigo e madeira para a produção do gás de síntese. A variabilidade na composição da biomassa influencia as propriedades do produto, bem como no desempenho do processo de fabricação. Para identificar os substitutos ao bagaço de cana e entender a estequiometria da operação, recorreram às ferramentas de análise multivariada PCA, HCA e PLS (mínimos quadrados parciais) a fim de preverem os resultados do processo e obterem conclusões sobre semelhança e correlação entre as variáveis. Entre os 12 produtos agrícolas brasileiros investigados, a palha de cana-de-açúcar, a cana-de-açúcar energética e a palha de milho possuem performances de gasificação simuladas semelhante ao bagaço de cana-de-açúcar, sendo possíveis substitutos. Também sugeriram plantas termoquímicas independentes de palhas de milho e soja

ou eucalipto para produção de calor e energia, considerando a diferença entre estas quanto às demais biomassas no tocante a lignina.

2. OBJETIVO GERAL

Realizar a caracterização química de bio-óleos obtidos a partir de diferentes biomassas e desenvolver um modelo de classificação capaz de distingui-los com base em suas propriedades, utilizando técnicas de análise multivariada e redes neurais artificiais, visando a identificação de padrões que contribuam para a valorização e o aproveitamento eficiente desses produtos.

2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar as biomassas que dão origem aos bio-óleos (sementes de goiaba, maracujá, acerola, uva, borra de café, sabugo e palha de milho, vagem de feijão, cascas de mandioca, amendoim, pinus e fibra de coco) quanto aos teores de umidade, cinzas, óleo, extrativos totais, composição elementar (CHNO) e termogravimetria (TG);
- Realizar a pirólise das biomassas para obtenção dos bio-óleos;
- Realizar um estudo comparativo semi-quantitativo das classes de compostos orgânicos a partir dos dados de GC-MS;
- Analisar os resultados através de análise multivariada, para verificar similaridades e diferenças entre as amostras.

3. PARTE EXPERIMENTAL

3.1 REAGENTES E PREPARO DAS BIOMASSAS

3.1.1 Reagentes:

Para realizar os experimentos, utilizou-se como solvente o diclorometano P.A. (Synth). Os gases N₂ e He (White Martins) foram de pureza superior a 99,99%. A polpa de celulose foi fornecida pela empresa Bracell Bahia Specialty Cellulose S.A.

A lignina utilizada neste estudo foi isolada segundo a metodologia proposta por Pedrazzi *et al.* (2019) [129], a qual consiste na hidrólise ácida da holocelulose com ácido sulfúrico (H₂SO₄), a partir de casca de pinus previamente isenta de extrativos. O procedimento de remoção dos extrativos será descrito em na seção 4.6 deste trabalho.

Uma alíquota de 3,0 g da casca de pinus livre de extrativos e seca foi submetida à hidrólise ácida com H₂SO₄ 72%, durante 1 hora, a 30 °C, sob agitação constante. Em seguida, a mistura foi diluída com 840 mL de água destilada, resultando em uma concentração final de ácido próxima a 4%. A suspensão obtida foi transferida para frascos de vidro e submetida à autoclavagem por 1 hora a 121 °C.

Após o resfriamento, procedeu-se à filtração a vácuo utilizando cadinhos de Gooch com porosidade 4. O resíduo retido nos cadinhos corresponde à fração de lignina insolúvel, a qual foi seca em estufa a 80 °C por 8 horas para posterior caracterização.

3.1.2 Seleção e preparo das biomassas:

Foram utilizadas 12 biomassas diferentes, conforme descrito na Figura 2 e na Tabela 3. Todas as amostras foram limpas, separadas dos resíduos, lavadas com água destilada e secas em estufas de circulação de ar a 60°C por 24 h, para proporcionar umidade inferior a 10%, com fins de armazenamento, evitando a proliferação de micro-organismos. As biomassas foram posteriormente trituradas de maneira individual, e classificadas de acordo com a granulometria, sendo

selecionadas as frações com tamanho de partícula entre 30 e 60 mesh. Em seguida, foram acondicionadas em recipientes de vidro hermeticamente fechados e armazenadas em condições adequadas até a realização das análises.

Figura 2: Etapas do procedimento adotado para o preparo das amostras coletadas



Fonte: autor

Tabela 3: Biomassas estudadas neste trabalho

Biomassa	Sigla	Local de coleta	Preparo
Semente de acerola	ACE	Aracaju/ SE*	Moinho
Semente de goiaba	GOI	Aracaju/ SE	Moinho
Vagem de feijão	FEI	São Cristóvão/ SE	Multiprocessador
Semente de uva	UVA	Lagoa Grande/ PE	Moinho
Borra de café	CAF	Amostra comercial	Pistilo
Sabugo de milho	Mi.S	Vitória da Conquista/ BA	Ralador
Semente de maracujá	Ma.S	Aracaju/ SE	Pistilo
Casca de mandioca	AIP	N.Sr ^a . do Socorro/ SE**	Multiprocessador
Palha de milho	Mi.P	N.Sr ^a . do Socorro/ SE	Catação
Casca de amendoim	AMD	Malhador/ SE	Moinho
Casca de pinus	PNU	Amostra comercial	Moinho
Fibra de coco	COC	N.Sr ^a . do Socorro/ SE	Ralador

Fonte: autor

*Todas as amostras coletadas em Aracaju/ SE foram cedidas pela Indústria Pomar Polpas de Frutas.

** Todas as amostras de Nossa Senhora do Socorro/SE foram coletadas na feira livre do bairro Fernando Collor.

O sabugo de milho foi adquirido na Serra do Marçal em Vitória da Conquista/BA, no estabelecimento Rancho Pamonha do Marçal, especializado na produção e venda de produtos de milho, com plantio próprio.

A borra de café foi obtida após processamento da bebida, com grãos obtidos em supermercados locais.

A casca de amendoim foi adquirida do resíduo produzido na colheita realizada no Povoado Palmeiras, município de Malhador/ SE.

A semente de uva foi coletada no município de Lagoa Grande/ PE e cedida pela Vinícola Rio Sol.

3.2 CARACTERIZAÇÃO DA BIOMASSA

3.2.1 Teor de cinzas

Neste trabalho, a determinação deu-se por gravimetria em mufla, de acordo com a norma NREL/TP-510-42622 [130]. Em cadinhos de porcelana foram pesados previamente e adicionados a eles cerca de 2 g de amostra livre de umidade. As triplicatas foram levadas à mufla SPLABOR, modelo SP-1200, e esta foi aquecida até atingir a temperatura de 575 ± 25 °C por 4 horas. As amostras foram, então, retiradas e transferidas para um dessecador até atingirem a temperatura ambiente. Esse procedimento se faz necessário para evitar ignição das amostras e, conseqüentemente, perda de massa. O cálculo do teor de cinzas foi obtido conforme Equação 1:

$$\% \text{ cinzas} = \left(\frac{\text{massa}_{\text{cadinho com cinzas}} - \text{massa}_{\text{cadinho}}}{\text{massa}_{\text{amostra}}} \right) \times 100 \quad (1)$$

3.2.2 Composição Elementar (C, H, N e O)

A composição elementar das amostras foi realizada em um analisador Leco, Modelo CHN628, utilizando como gases He (99,995%) e O₂ (99,99%), com temperatura do forno a 950 °C. O equipamento foi calibrado com um padrão de EDTA (41,0% C, 5,5% H e 9,5% N) com intervalo de massas entre 10 a 150 mg para o preparo da curva. Para a análise, foi utilizado cerca de 50 mg de amostra. Em ambos os casos, utilizou-se folha de estanho como suporte das amostras e posterior análise. O percentual de oxigênio foi obtido conforme a Equação 2, descrito por Santos *et al.* (2020) [33].

$$\%O = 100 - (\%C + \%H + \%N) \quad (2)$$

Onde:

%C = teor de carbono

%H = teor de hidrogênio

%N = teor de nitrogênio

De posse dos percentuais desses átomos nas biomassas, obtém-se a relação molar H/C e O/C, onde o primeiro parâmetro compõe no Diagrama de Van Krevelen o eixo de abscissas, e o segundo, o eixo das ordenadas.

3.2.3 Análise Termogravimétrica (TG)

As análises termogravimétricas foram realizadas no analisador térmico Simultaneous DTA-TG Apparatus, modelo TGA-50, marca SHIMADZU, com a variação de temperatura de 25 a 1000°C e taxa de aquecimento de 10°C.min⁻¹, sob atmosfera inerte de N₂, com vazão de 100 mL.min⁻¹. Para realizar a análise, utilizou-se cadinho de platina contendo de 5 a 10 mg de biomassa.

Os resultados foram elucidados através das curvas DTG, que correspondem à 1ª derivada de variação da massa em relação à temperatura da curva TG (dm/ dT) [131].

3.2.4 Teor de umidade

Conforme Lutz, 2008 [132], em cadinhos de porcelana foram pesados previamente e adicionados a eles cerca de 3 g de amostra. As triplicatas foram levadas à estufa, e esta foi aquecida até atingir a temperatura de 105 ± 5 °C por 24 horas. As amostras foram, então, retiradas e transferidas para um dessecador até atingirem a temperatura ambiente. O cálculo do teor de umidade foi obtido conforme Equação 5.

$$\% \text{ umidade} = \left(\frac{\text{massa}_{\text{biomassa base úmida}} - \text{massa}_{\text{biomassa base seca}}}{\text{massa}_{\text{biomassa base úmida}}} \right) \times 100 \quad (5)$$

3.2.5 Teor de óleo

A quantificação do teor de óleo presente nas biomassas foi realizada por meio do método de extração Soxhlet, seguindo a metodologia descrita pelo Instituto Adolfo Lutz (2008) [132] para determinação de lipídios. Para isso, aproximadamente 5,0 g da amostra foram acondicionadas em cartuchos confeccionados com papel filtro qualitativo, posteriormente inseridos no extrator Soxhlet e submetidos a um processo de refluxo durante 8 horas. As extrações foram conduzidas em triplicata, utilizando-se 150 mL de hexano a 95% como solvente. Após a extração, o solvente foi removido por meio de um rota-evaporador mantido a 40 °C. O rendimento de óleo foi calculado conforme a Equação 6:

$$\% \text{ óleo} = \left(\frac{\text{massa}_{\text{balão com óleo}} - \text{massa}_{\text{balão vazio}}}{\text{massa}_{\text{biomassa}}} \right) \times 100 \quad (6)$$

3.2.6 Teor de extrativos totais

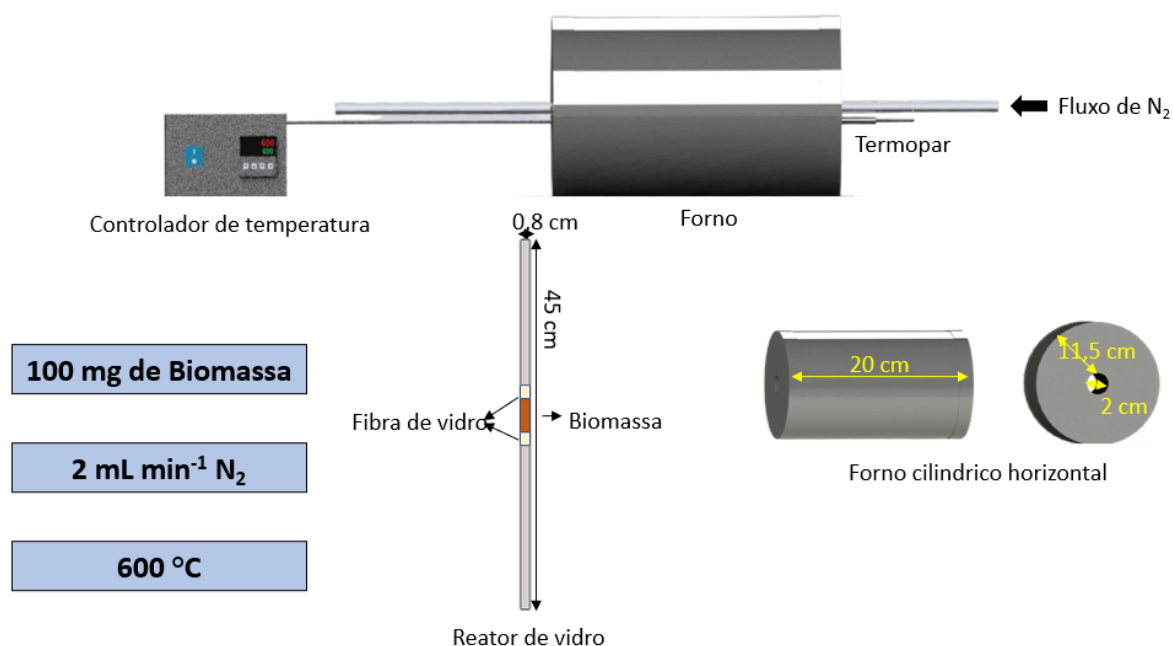
O teor de extrativo total foi determinado segundo Pedrazzi *et al.* (2019) [129]. Para a análise, aproximadamente 5,0 g de biomassa foram acondicionadas em cartuchos confeccionados com papel filtro qualitativo e, em seguida, submetidas à extração no sistema Soxhlet com 150 mL de água destilada, mantendo-se em refluxo por um período de 8 horas. Após essa etapa, o solvente foi substituído por 150 mL de etanol a 95%, prosseguindo o processo de refluxo por mais 16 horas.

Concluída a extração, a biomassa isenta de compostos extraíveis foi submetida à secagem em estufa a 80 °C por 12 horas. A remoção do solvente dos extratos obtidos foi realizada empregando um rota-evaporador a 50 °C. As extrações foram conduzidas em triplicata. O cálculo do rendimento de compostos extraíveis foi realizado conforme a Equação 7:

$$\% \text{ extrativos totais} = \left(\frac{\text{massa}_{\text{balão extrativos}} - \text{massa}_{\text{balão vazio}}}{\text{massa}_{\text{biomassa}}} \right) \times 100 \quad (7)$$

3.3 MICROPÍRÓLISE: ANÁLISE DE COMPOSTOS ORGÂNICOS NO BIO-ÓLEO

O bio-óleo foi produzido através de um sistema de micropirólise (Figura 3) descrito por Andrade *et al* (2024) [133], que consiste em um forno tubular em aço inoxidável com 20 cm de comprimento e 2,0 cm de diâmetro interno. Esse forno apresenta revestimento interno de massa refratária e é aquecido eletricamente por resistência de Kanthal, suportando temperatura máxima de 1000°C. Como reator, foi utilizado um tubo de vidro borossilicato com 45 cm de comprimento, 5 mm de diâmetro interno e 8 mm de diâmetro externo. Uma linha de N₂ com fluxo de aproximadamente 2 mL.min⁻¹ foi acoplada na extremidade inicial do tubo, a fim de proporcionar atmosfera livre de O₂ durante a pirólise. Na extremidade oposta, foi montado um cartucho contendo 200 mg de carvão ativado e lã de vidro, com o intuito de reter os compostos voláteis. Todas as biomassas foram pirolizadas em condições idênticas, com 100 mg de amostra, acondicionada no interior do tubo com lã de quartzo, de modo a ficar posicionada na secção do forno onde ocorre o monitoramento da temperatura. O reator foi inserido no forno previamente aquecido a 600 °C, temperatura esta utilizada para a realização do processo de pirólise. O tempo de residência do reator no interior do forno foi de 1 minuto, conforme as condições experimentais estabelecidas.

Figura 3: Esquema do forno de micropirólise utilizado

Fonte: Adaptado de ANDRADE *et al* (2024) [133]

Após a micropirólise, as amostras foram eluídas com 10 mL de diclorometano em recipientes de vidro âmbar e acondicionadas em freezer. A análise via GC/qMS foi realizada em um sistema Shimadzu, consistindo de um Cromatógrafo a Gás GC2010-ultra e um Espectrômetro de Massa com analisador de quadrupolo QP2010 (Shimadzu Corp., TYO, Japão). O espectrômetro de massa operou em modo SCAN a 70 eV em uma faixa de m/z entre 45 e 450 Daltons. As separações foram obtidas em uma coluna capilar SPB-5 (5%-difenil-95%-dimetilpolisiloxano) (60 m × 0,25 mm × 0,25 μm). Após um processo de otimização das condições de análise cromatográfica, o aquecimento do forno foi realizado com a seguinte programação: temperatura inicial 80 °C, permanecendo por 2 min; de 80 °C para 150 °C a uma taxa de 2 °C.min⁻¹, permanecendo por 6 min; de 150 °C para 290 °C a uma taxa de 3 °C.min⁻¹, permanecendo por 15 min, tempo total de análise 104,67 min. A temperatura do injetor foi mantida a 280°C enquanto a da fonte de íons, a 250°C. A interface foi mantida a 290°C. As amostras foram injetadas no modo split (1:10) e a vazão do gás de arraste (He) foi de 1,0 mL. min⁻¹.

Para calcular os índices de retenção programados por temperatura linear (LTPRI) [134], uma mistura linear de alcanos C₉-C₃₁ foi analisada por GC/qMS usando condições idênticas às das amostras. Além disso, os compostos foram identificados comparando seus espectros de massa com a Biblioteca NIST do equipamento e comparando seu LTPRI com os relatados na literatura (www.nistwebbook.com). Uma similaridade superior a 85% entre os espectros de massa e um LTPRI com uma janela de correspondência de ± 10 foram considerados aceitáveis para a tentativa de identificação (ou seja, sem o uso de padrões) de cada composto.

3.4 Processamento dos Dados para Análise Multivariada

A avaliação multivariada dos dados foi conduzida por meio da Análise de Componentes Principais (PCA) e da Análise de Agrupamentos Hierárquicos (HCA), empregando-se o software Statistica® versão 12.0. A utilização dessas técnicas estatísticas permitiu reduzir a dimensionalidade dos dados e identificar agrupamentos de amostras com características similares, contribuindo para uma interpretação integrada dos resultados obtidos.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 CARACTERIZAÇÃO DA BIOMASSAS

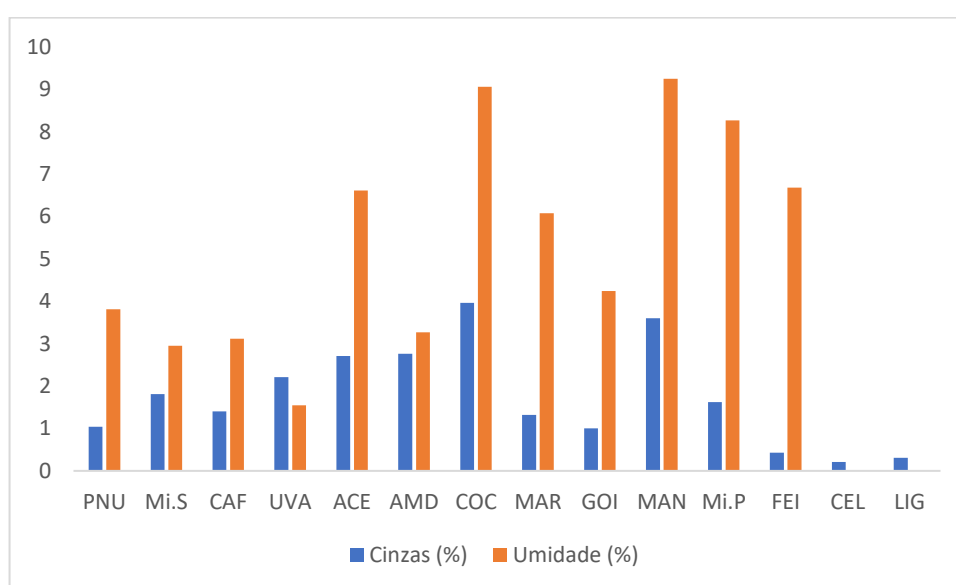
4.1.1 Teores de cinzas, umidade, óleo, extrativos totais e composição elementar

As amostras analisadas apresentaram, em geral, baixos teores de umidade e cinzas, o que resulta em maiores rendimentos dos produtos da pirólise, maior eficiência do processo e minimização de reações secundárias. A variabilidade desses parâmetros está associada à origem, ao transporte, ao armazenamento e à espécie da biomassa, considerando sua natureza biológica [32]; [135].

Os resultados indicam teores de cinzas e umidade inferiores a 10%, conforme apresentado na Figura 4. Esse percentual de umidade é considerado baixo, o que é

vantajoso para a pirólise, uma vez que níveis mais elevados são indesejáveis [56]. Além disso, altos teores de umidade aumentam os custos de armazenamento, manuseio e transporte das matérias-primas [32]. Cinzas em excesso podem diminuir a eficiência térmica do processo, gerando deposição no reator. Contudo, dependendo de sua composição, podem agir como catalisador, considerando o produto de interesse [54]; [55].

Figura 4: Teores de cinzas de umidade das biomassas



Fonte: autor

COC – fibra de coco

UVA – semente de uva

Mi.S – milho sabugo

MAN – casca de mandioca

GOI – semente de goiaba

MAR – semente de maracujá

CAF – borra de café

ACE – semente de acerola

PNU – casca de pinus

Mi.P – milho palha

AMD – casca de amendoim

FEI – vagem de feijão

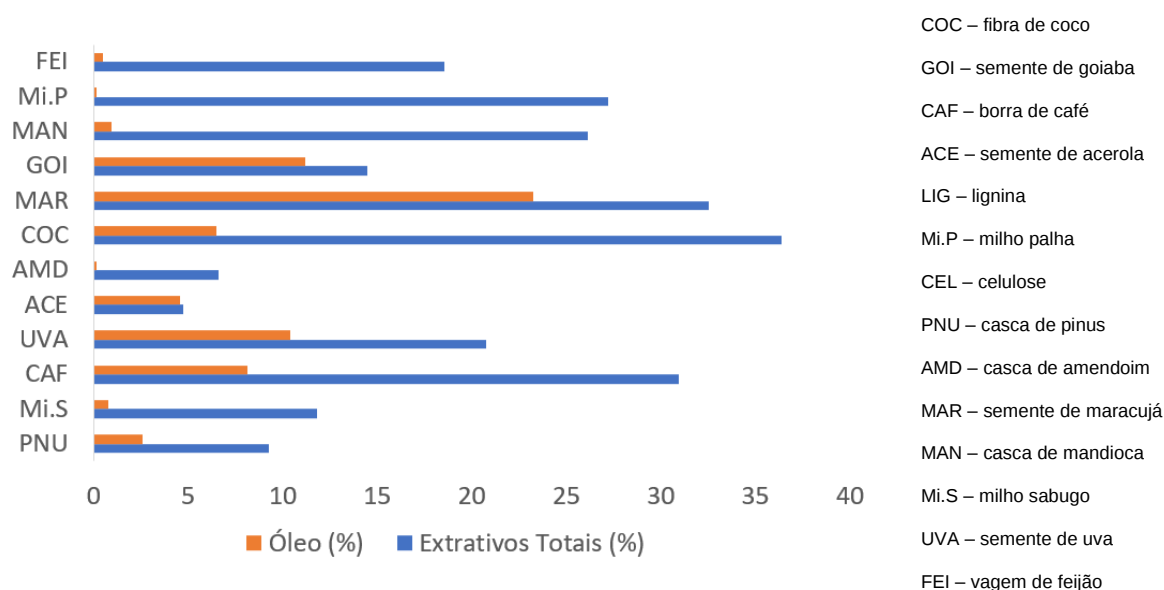
LIG – lignina

CEL – celulose

Além dos constituintes básicos da parede celular das plantas (holocelulose e lignina), a biomassa lignocelulósica contém uma pequena quantidade de componentes não estruturais, como sais inorgânicos e compostos livres, conhecidos como extrativos, que podem incluir ceras, resinas, amido, pigmentos, entre outros [136]. A análise comparativa entre os teores de óleo e os extrativos totais revelou variações significativas entre as diferentes biomassas avaliadas, conforme observado na Figura 5. De modo geral, os extrativos totais apresentaram valores superiores aos

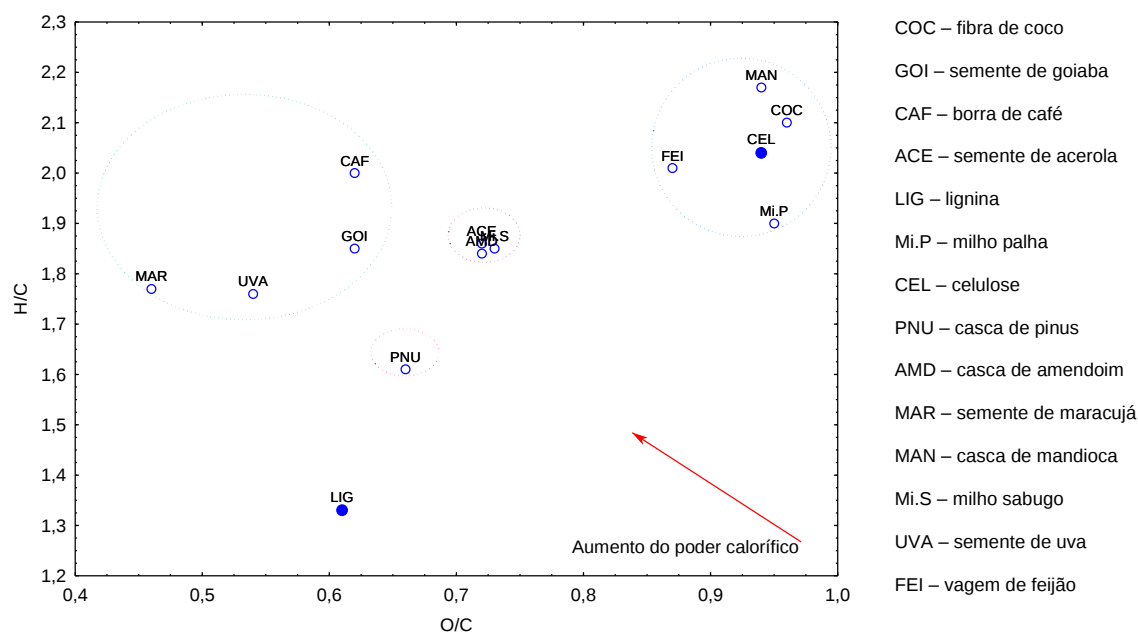
teores de óleo. Biomassas como CAF, MAR e COC destacaram-se por exibirem os maiores percentuais de extrativos totais, sendo 30,97%, 32,53% e 36,37%, respectivamente. Em contrapartida, o conteúdo de óleo foi mais expressivo em MAR, UVA, GOI e CAF, embora ainda inferior à fração total de extrativos, indicando que, apesar da relevância lipídica, outras classes de compostos constituem uma parte significativa da fração extraível. Essa diferença entre o teor de óleo e os extrativos totais reforça a importância da fração extraível, uma vez que, em amostras com alto teor desses componentes, a decomposição térmica pode gerar produtos adicionais, interferindo na composição do bio-óleo, por exemplo [136]. Em contrapartida, a remoção dos extrativos enriquece a biomassa em lignina e carboidratos, aumentando seu potencial como matéria-prima, podendo tornar os constituintes lignocelulósicos mais disponíveis. [137].

Figura 5: Teores de óleo e extrativos totais das biomassas



Fonte: autor

De posse partir dos resultados da análise elementar, gerou-se o diagrama de Van Krevelen (Figura 6), que permite prever a natureza química das amostras com base nas proporções dos elementos [138].

Figura 6: Diagrama e Van Krevelen das biomassas estudadas

A análise dos dados permitiu a identificação de quatro grupos distintos: o grupo das amostras oleaginosas, composto por MAR, UVA, GOI e CAF; um grupo formado exclusivamente por PNU; um grupo intermediário, incluindo as biomassas AMD, Mi.S e ACE; e, por fim, um grupo composto pelas demais amostras.

As amostras oleaginosas (MAR, UVA, GOI e CAF) apresentam uma quantidade significativa de triglicerídeos, caracterizando-se por uma baixa razão O/C e altas razões H/C. Biomassas com essas características possuem uma queima mais rápida, resultando em uma maior geração de material volátil. Dessa forma, a incorporação de matérias-primas com essas características em processos termoquímicos pode ser vantajosa, contribuindo para a otimização da conversão energética [32].

A Tabela 4 apresenta os resultados das análises citadas, bem como das razões atômicas O/C e H/C.

Tabela 4: Resultados das análises de caracterização das biomassas (%)

Biomassas	Cinzas	Óleo	C	H	N	O	H/C	O/C	Umidade	Extrativos
ACE	2,71±0,01	4,58±0,15	45,21	7,00	1,46	46,33	1,86	0,77	6,61±0,22	4,75±0,77
GOI	1,00±0,10	11,19±0,18	49,15	7,59	1,65	41,61	1,85	0,63	4,24±0,15	14,47±0,02
UVA	2,21±0,19	10,42±0,21	51,46	7,55	1,64	39,35	1,76	0,57	1,55±0,09	20,75±0,02
MAR	1,32±0,03	23,26±0,69	55,07	8,14	1,93	34,86	1,77	0,47	6,08±0,00	32,53±0,02
CAF	1,40±0,02	8,12±0,16	48,36	8,04	2,02	41,58	2,00	0,64	3,12±0,43	30,97±0,03
COC	3,96±0,11	6,52±0,48	38,97	6,83	0,53	53,67	2,10	1,03	9,06±0,13	36,37±0,03
FEI	0,43±0,08	0,52±0,04	40,50	6,80	1,27	51,43	2,01	0,95	6,68±0,07	18,58±0,01
MAN	3,60±0,12	0,97±0,15	39,13	7,07	0,91	52,90	2,17	1,01	9,25±0,26	26,15±0,02
AMD	2,76±0,08	0,15±0,03	45,84	7,02	0,48	46,65	1,84	0,76	3,27±0,15	6,60±0,00
Mi.S	1,81±0,07	0,79±0,17	46,01	7,08	0,94	45,98	1,85	0,75	2,95±0,33	11,84±0,01
PNU	1,04±0,13	2,58±0,09	48,92	6,55	0,20	44,34	1,61	0,68	3,81±0,39	9,28±0,03
Mi.P	1,62±0,06	0,15±0,19	39,98	6,32	1,40	52,30	1,90	0,98	8,27±0,19	27,19±0,03
LIG	0,31±0,01	x	51,44	5,71	0,46	42,39	1,33	0,62	x	x
CEL	0,21±0,00	x	41,14	7,00	0,07	51,79	2,04	0,94	x	x

Fonte: autor

Adicionalmente, as sementes oleaginosas contêm boas reservas de gorduras, açúcares, amido, vitaminas, água, minerais e proteínas, com a proporção desta última variando entre 6% e 45% [139]. Embora os percentuais de nitrogênio sejam relativamente baixos neste estudo, é importante considerar que um maior conteúdo de nitrogênio pode levar ao aumento da formação de NO_x durante a combustão [140].

No diagrama, a amostra PNU está próxima à LIG devido à sua composição, com o maior conteúdo de lignina entre o conjunto de dados. Segundo Yahya *et al.* (2023), os átomos de H e O presentes em maiores porcentagens na biomassa contribuem para um valor calorífico mais baixo. Razões menores de H/C e O/C indicam maiores concentrações de lignina na biomassa, uma vez que a estrutura da lignina contém muitos anéis aromáticos, ao contrário da celulose e da hemicelulose, o que resulta em uma razão H/C para a lignina próxima a um (quanto maior o teor de compostos aromáticos na estrutura, menor essa razão). Para cada átomo de H, há aproximadamente um átomo de C (na celulose, a razão é 2:1) [141].

A proximidade de ACE, AMD e Mi.S no diagrama de van Krevelen deve-se às suas razões H/C muito semelhantes (1,86, 1,84 e 1,85, respectivamente), assim como às suas razões O/C (0,72, 0,72 e 0,73, respectivamente).

As biomassas MAN, COC, Mi.P e FEI apresentam altas razões molares H/C e O/C, o que resulta em elevados rendimentos de voláteis e líquidos, porém com menor eficiência na conversão de energia. Isso ocorre, por exemplo, devido ao aumento das emissões de CO₂ associadas à elevada razão O/C. Essas amostras apresentam características mais semelhantes à celulose, com um maior teor de grupos oxigenados [141].

A produção de bio-óleo a partir da biomassa tende a gerar uma maior quantidade de compostos oxigenados, tornando necessária a desoxigenação catalítica [142]. Devido a essas características, embora a biomassa lignocelulósica seja abundante, renovável e de baixo custo, é fundamental avaliar sua composição, pois nem todos os tipos são adequados para a produção de bio-óleo como combustível. Por exemplo, a presença de compostos oxigenados reduz o valor calorífico superior (HHV), resultando em menor estabilidade [143]. Por outro lado, pequenas moléculas derivadas da celulose ou hemicelulose, contendo anéis furânicos

ou ácidos carboxílicos de cadeia curta, podem sofrer acoplamento C–C e promover o crescimento da cadeia carbônica por meio de diversas reações químicas. Dessa forma, intermediários estruturais ramificados e específicos são sintetizados e posteriormente utilizados na produção de biolubrificantes por meio de processos de hidrogenação/hidrodesoxigenação [144].

As amostras UVA e MAR apresentam as menores razões H/C e O/C, posicionando-se mais próximas da lignina no diagrama e podendo ser utilizadas como uma boa fonte de fenóis. Biomassas dessa natureza podem ser empregadas na produção sustentável de compostos fenólicos, produtos petroquímicos essenciais e matérias-primas importantes para diversas indústrias [145].

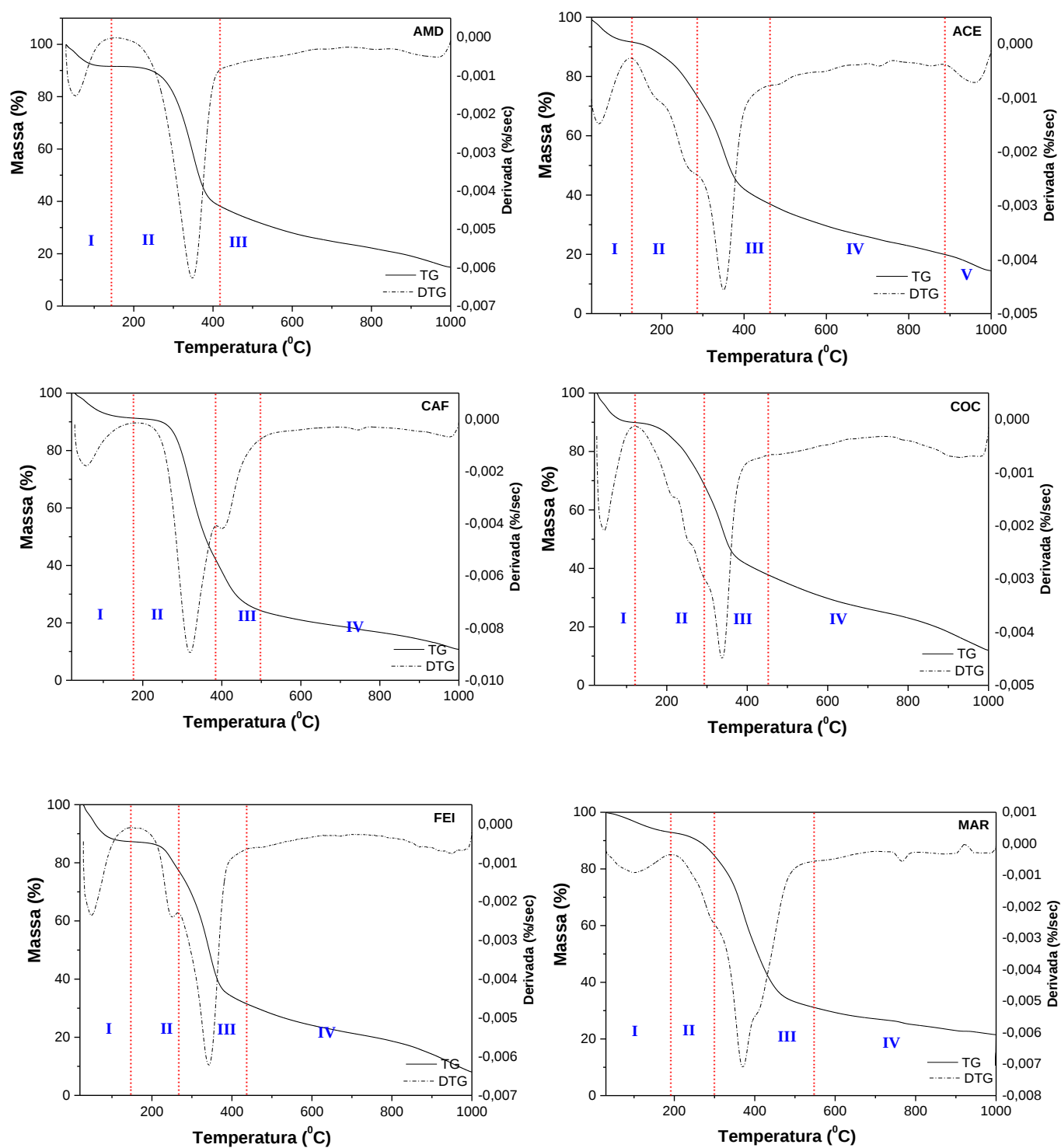
As amostras ACE, AMD e Mi,S apresentaram teores de H semelhantes aos observados na celulose e teores de O próximos aos da lignina. Essa composição elementar intermediária justifica sua posição no diagrama de Van Krevelen, indicando uma distribuição equilibrada entre os dois principais constituintes da biomassa lignocelulósica: holocelulose (celulose e hemicelulose) e lignina. A celulose, por conter elevada quantidade de grupos -OH, apresenta um teor relativamente alto de H e uma estrutura com baixa aromaticidade. Em contraste, a lignina possui menor teor de O, devido à sua estrutura rica em anéis aromáticos e menor presença de grupos oxigenados. A composição elementar da biomassa está fortemente relacionada à sua estrutura química de base, incluindo o conteúdo de holocelulose, lignina, cinzas, extrativos e óleo. A proporção desses constituintes exerce influência direta na composição final do bio-óleo obtido por pirólise, afetando tanto a qualidade quanto o rendimento do produto.

7.1.4 ANÁLISE TERMOGRAVIMÉTRICA (TG)

As análises de TG foram realizadas com a finalidade de observar as variações que ocorrem com as massas das amostras, as quais são causadas por transformações químicas e/ou físicas mediante aquecimento. A Figura 7 mostra curvas TG/DTG para as biomassas estudadas. Os dados obtidos a partir das curvas,

tais como: faixa de temperatura dos eventos (T), variação de massa por evento (m) e percentual de resíduo final estão apresentados na Tabela 5.

Figura 7: Curvas de TG/DTG das biomassas estudadas



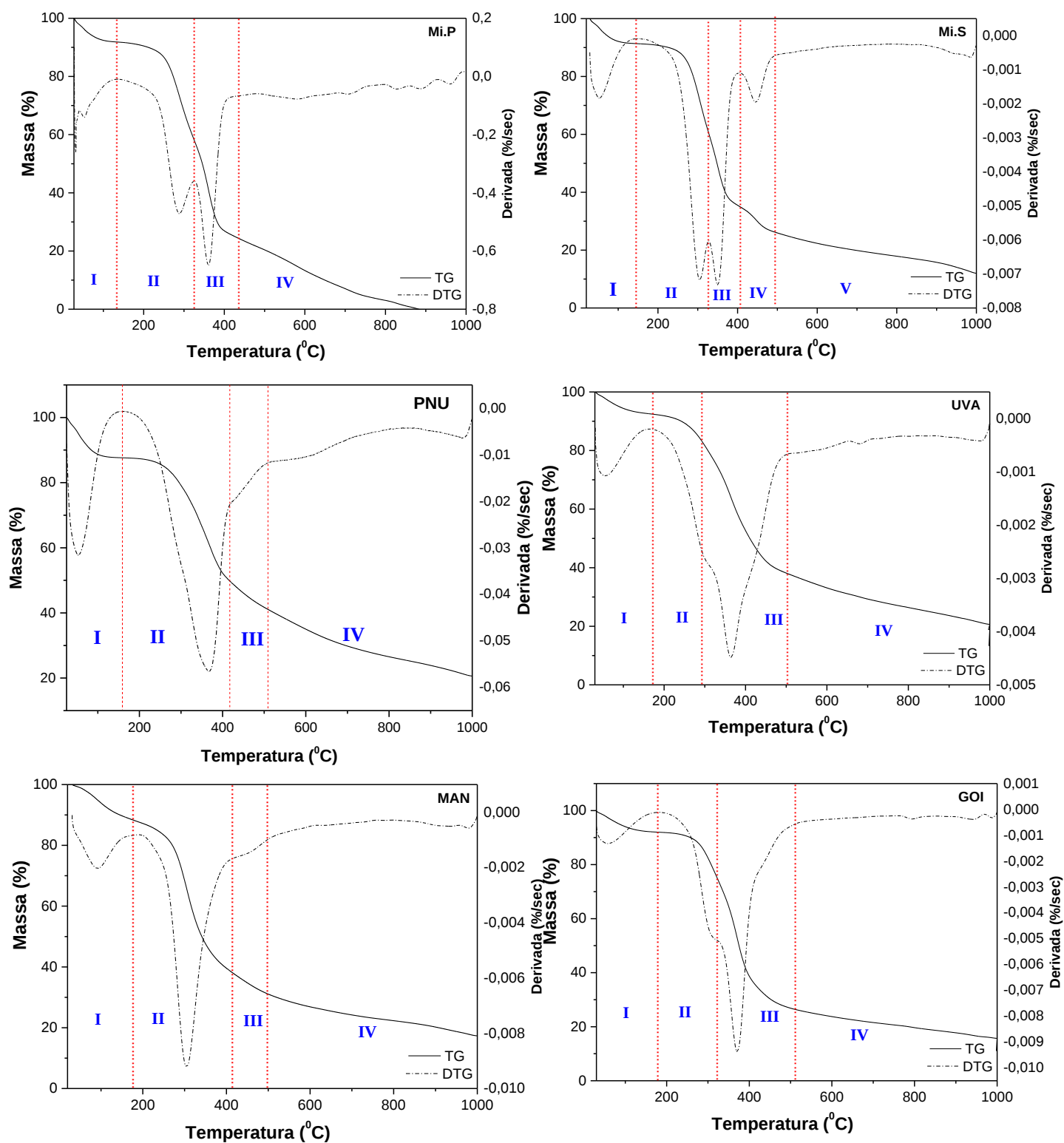


Tabela 5: Dados de ΔT , Δm obtidos a partir do TG/ DTG das biomassas

Evento		I		II		III		IV		V		Resíduo	
		$\Delta T(^{\circ}C)$	$\Delta m(\%)$	$\Delta T(^{\circ}C)$	$\Delta m(\%)$	$\Delta T(^{\circ}C)$	$\Delta m(\%)$	$\Delta T(^{\circ}C)$	$\Delta m(\%)$	$\Delta T(^{\circ}C)$	$\Delta m(\%)$	T($^{\circ}C$)	m(%)
Amostras	ACE	25-127	8,4	127-291	19,3	291-466	35,6	466-888	16,8	888-1000	5,4	1000	14,5
	GOI	25-192	8,1	192-325	17,9	325-515	47,7	515-1000	15,2	x	x	1000	11,1
	UVA	25-172	7,6	172-297	10,1	297-504	44,3	504-1000	24,6	x	x	1000	13,4
	MAR	25-194	7,1	194-302	8,6	302-550	53,3	550-1000	20,3	x	x	1000	10,7
	CAF	28-185	8,7	185-387	49,9	387-498	17	498-1000	13,6	x	x	1000	10,8
	COC	26-121	10,1	121-290	20,4	290-450	35,8	450-1000	21,7	x	x	1000	12
	FEI	28-145	12,7	145-268	10,2	268-436	45,6	436-1000	23,4	x	x	1000	8,1
	MAN	31-175	11,6	175-414	50,2	414-498	7	498-1000	13,9	x	x	1000	17,3
	AMD	29-141	8,4	141-417	53,4	417-1000	23,3	x	x	x	x	1000	14,9
	Mi.S	29-144	8,6	144-328	31	328-406	25,4	406-493	8,7	493-1000	14,3	1000	12,0
	PNU	25-158	12,4	158-415	34,3	415-510	5,0	510-1000	27,7	x	x	1000	20,6
	Mi.P	28-131	8,2	131-324	33,4	324-435	34	435-1000	24,4	x	x	1000	0

Observando as curvas de TG mostradas nas figuras acima, nota-se que as amostras exibiram padrões de perda de massa semelhantes, condizentes com um perfil termogravimétrico de biomassas lignocelulósicas [146]. Foram identificadas quatro regiões principais de perda de massa, relacionadas à liberação de água e compostos orgânicos voláteis, e à termodecomposição de hemicelulose e óleos, celulose e lignina. Notavelmente, apenas as biomassas ACE e Mi.S apresentaram uma quinta região distinta, e a amostra Mi.P possui 3 regiões.

Esses eventos estão associados à decomposição da estrutura das biomassas. A pirólise térmica destas ocorre entre três e cinco etapas (dependendo da amostra) na faixa de 25 a 1000°C e todo o material não é decomposto a 1000°C. Todas as curvas TG/DTG apresentaram perda de massa inicial na faixa de 25 e 194°C devido à perda de água e substâncias voláteis [146], com uma perda de massa média de 9,3%, variando de 7,1% (MAR) a 12,7% (FEI).

Um segundo estágio de decomposição térmica foi observado entre 121 e 417°C, com uma perda de massa média de 28,2%, associada à degradação térmica da hemicelulose. Esta possui uma estrutura com baixo grau de polimerização, composta por vários açúcares (xilose, maltose, galactose, glicose etc.), o que a torna mais propensa à decomposição em temperaturas mais baixas que a celulose [147]. Em contrapartida, a decomposição da celulose ocorre em temperaturas mais elevadas devido à maior energia necessária para romper suas ligações, já que é composta por polímeros de cadeias mais longas e não-ramificadas, conferindo-lhe maior estabilidade térmica [148]. Tratando-se de triacilglicerídeos, a temperatura de decomposição ocorre acima de 280°C [149].

Nesta segunda etapa, os resultados experimentais das curvas TG/DTG das amostras com alto teor de óleo revelaram uma menor perda de massa nas amostras MAR e UVA. Essa fase de transformação está associada à liberação de hidrocarbonetos, decorrente da decomposição dos óleos presentes nas biomassas. Para CAF e GOI, além da liberação de hidrocarbonetos, ocorre também a decomposição da hemicelulose nesse estágio.

A terceira etapa de perda de massa ocorre na faixa de temperatura entre 268 e 550°C, evidenciando majoritariamente a degradação simultânea da celulose e

hemicelulose em todas as amostras, com uma perda média de 31,2%, variando de 5,0% (PNU) a 53,3% (MAR).

Já o quarto e quinto estágios acontecem em temperaturas mais altas, acima de 405°C, e está associado à degradação da lignina e ao processo de carbonização, resultando em uma perda média de 17,7%. Assim, PNU apresentou maior teor de lignina (27,7%), enquanto CAF, apontou menor (13,6%). Isso reflete a estrutura mais rígida e estável desta molécula, com muitos anéis aromáticos e ramificações, colaborando para que a degradação ocorra mais lentamente, desde baixas temperaturas até 900°C [150] [148]. A curva DTG correspondente a este estágio não apresenta um pico bem definido, exibindo um perfil bastante alargado, característico de um processo de decomposição muito lento que ocorre em uma ampla faixa de temperatura.

Os eventos que ocorrem na faixa de temperatura de 121 a 1000°C correspondem às perdas de massa de cerca de 67% (PNU) a 91,8% (Mi.P) e são atribuídos à decomposição da matéria orgânica das biomassas. A massa residual de 0% (Mi.P) a 20,6% (PNU) e média de 12,1%, é atribuída a cinzas e compostos inorgânicos presentes nas amostras, principalmente elementos classificados como metais alcalinos e alcalinos-terrosos, tais como óxidos, carbonatos, cloretos e sulfatos [151] [152].

8. CARACTERIZAÇÃO DO BIO-ÓLEO

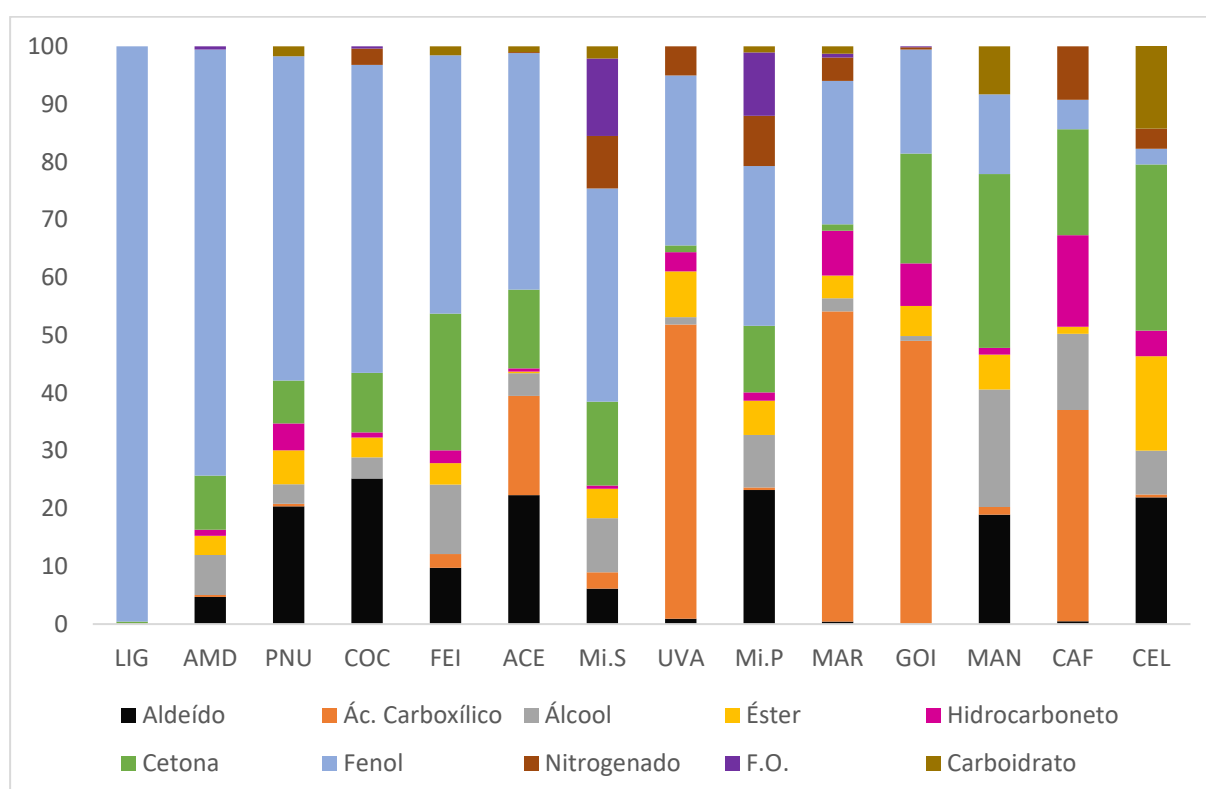
8.1 ANÁLISE CROMATOGRÁFICA

As análises cromatográficas de cada amostra de bio-óleo foram realizadas em triplicata, assegurando a confiabilidade e a reprodutibilidade dos resultados obtidos. A seleção das classes orgânicas avaliadas baseou-se em sua relevância para aplicações industriais em distintos segmentos, considerando seu potencial de utilização em processos químicos e na formulação de produtos de maior valor agregado.

Os cromatogramas obtidos por GC-MS referentes aos bio-óleos produzidos a partir das diferentes biomassas estão apresentados no Apêndice B, juntamente com

as respectivas tabelas contendo os compostos identificados e seus índices de retenção (Apêndice A). Esses dados serviram de base para a análise semi-quantitativa dos grupos orgânicos presentes, permitindo comparações entre as diferentes amostras e contribuindo para a compreensão da composição química dos bio-óleos avaliados. Para uma melhor visualização dos dados obtidos, gerou-se o gráfico da Figura 8 e a Tabela do Apêndice C.

Figura 8: Comparação das classes químicas dos bio-óleos obtidos por pirólise, em área percentual



Fonte: autor

O gráfico apresenta a distribuição relativa das principais classes orgânicas identificadas nos bio-óleos obtidos a partir das diferentes biomassas avaliadas. Observa-se que os fenóis representam a fração predominante em diversas amostras, especialmente em AMD, PNU e COC, enquanto os ácidos carboxílicos destacam-se em CAF, UVA, MAR e GOI, sugerindo possível aplicação em síntese química ou como precursores de biocombustíveis [153]. Compostos nitrogenados aparecem em proporções mais expressivas em amostras como Mi.S, UVA, Mi.P e CAF, indicando

influência da composição proteica da biomassa de origem [139]. Cetonas, álcoois e ésteres ocorrem em diferentes proporções entre as amostras, evidenciando variações significativas no perfil químico em função do tipo de biomassa e de suas características estruturais. Essas diferenças refletem o potencial de direcionamento da aplicação industrial dos bio-óleos, seja para aproveitamento energético, químico ou na produção de insumos de maior valor agregado.

As macromoléculas lignina e celulose, assim como os óleos, desempenharam um papel crucial na formação das classes de compostos presentes no bio-óleo. A biomassa Mi.P apresentou o maior teor de furanos, atingindo 42,74%, seguida pelas amostras MAN (31,25%), COC (28,56%) e Mi.S (27,03%). Por outro lado, as amostras provenientes de oleaginosas (MAR, CAF, UVA e GOI) exibiram as menores concentrações de furanos, com valores inferiores a 5,1%. A análise dos compostos orgânicos dessas amostras revelou a predominância de ácidos carboxílicos, o que está relacionado à elevada concentração de óleo presente. Considerando que se tratam de resíduos, esses bio-óleos podem ser utilizados para conversão em biocombustíveis, uma vez que contêm ácidos graxos de cadeia longa em sua composição [154], como os ácidos oleico, linoleico e palmítico.

Para investigar a possibilidade de reações entre macromoléculas, foi realizada a pirólise da lignina e da celulose puras para a obtenção de seus respectivos bio-óleos. A partir desse processo, observou-se que a pirólise da celulose resultou em 31,05% de compostos furânicos, indicando que essa classe de compostos pode ser gerada com sucesso por meio de reações pirolíticas envolvendo as macromoléculas da celulose. Em contraste, a pirólise da lignina não produziu furanos, o que pode ser atribuído à sua estrutura química, composta por três tipos de unidades estruturais fenilpropanoides (p-hidroxifenil, guaiacil e siringil), ligadas por ligações C-C e éter. Como resultado, a pirólise da lignina exige uma faixa de temperatura mais elevada do que aquela necessária para a quebra das ligações glicosídicas da celulose e hemicelulose [155].

Classes como aldeídos, cetonas, ésteres e álcoois foram identificadas como predominantes em biomassas com alto teor de holocelulose. O padrão de celulose apresentou concentrações de 21,92%, 28,78%, 15,87% e 7,60% dessas classes,

respectivamente. Além disso, foram detectados carboidratos (14,72%) que não sofreram completa despolimerização, como 2,3-anhidro-manosan e 3,4-anhidro-D-galactosan. A biomassa com o maior teor de holocelulose foi Mi.P, que apresentou 23,23% de aldeídos, dos quais 42,74% correspondem a furanos e derivados, com destaque para o furfural (14,07%). Em seguida, destaca-se a amostra MAN, com elevado teor de cetonas (30,05%), seguida por álcoois (20,35%) e aldeídos (18,96%). Com 31,25% de compostos furânicos, seu principal representante é o 2-furanmetanol (18,88%).

A elevada quantidade de furanos nessas amostras supera a observada no bio-óleo obtido a partir da celulose pura, destacando seu potencial como uma fonte promissora para essa classe de compostos. Os compostos furânicos são resultantes de reações de despolimerização devido à quebra das ligações glicosídicas na holocelulose, sendo o furfural o principal produto da pirólise não catalítica [156]. Matérias-primas ricas nesses componentes possuem potencial para aplicação na produção de produtos de biorrefinaria [157].

Ácidos carboxílicos de cadeia longa foram identificados como os componentes predominantes nos bio-óleos das biomassas MAR (53,71%), GOI (49,01%), CAF (36,59%) e UVA (50,97%). Essas quatro matérias-primas apresentaram os maiores teores de óleo entre as biomassas analisadas neste estudo, o que justifica as altas concentrações dessa classe nos bio-óleos. Os principais ácidos graxos detectados nos óleos fixos dessas biomassas foram os ácidos oleico e linoleico, que também se destacaram em seus respectivos bio-óleos, com concentrações superiores a 12% em todos os casos. Além disso, hidrocarbonetos de cadeia curta foram gerados a partir da degradação térmica dos ácidos carboxílicos presentes, com concentrações variando de 0,58% em ACE a 15,83% em CAF.

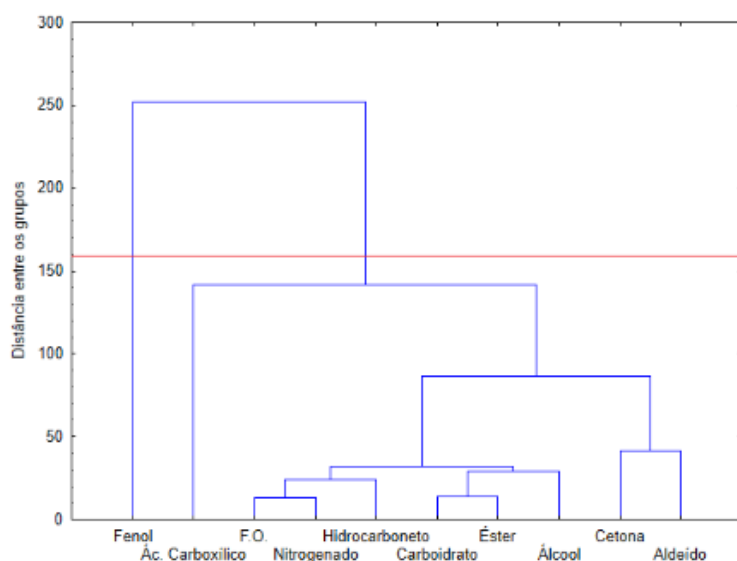
Os maiores valores de teor de fenol foram identificados nos bio-óleos das amostras AMD (73,74%), PNU (56,14%) e COC (53,29%). Embora a primeira e a terceira amostras não apresentassem os maiores teores de lignina entre as biomassas analisadas, a maior porcentagem de compostos fenólicos em seus bio-óleos pode ser atribuída a transformações secundárias, como interações de umidade/vapor com os aromáticos gerados durante o processo de pirólise. A lignina possui potencial para a geração de produtos ambientalmente amigáveis, econômicos e biodegradáveis como

substitutos para combustíveis fósseis [158]. Assim, resíduos dessas biomassas podem, por exemplo, ser processados em conjunto para a obtenção de lignina, considerando as especificidades dos processos. Em contraste, a biomassa CAF apresentou 5,13% desse conteúdo, o menor percentual do conjunto de dados.

8.2 ANÁLISE MULTIVARIADA (PCA E HCA)

Ao realizar a análise cromatográfica, os resultados foram organizados no Apêndice A com as amostras classificadas de acordo com os grupos funcionais constituintes dos bio-óleos: fenóis, ácidos carboxílicos, funções oxigenadas, nitrogenados, hidrocarbonetos, carboidratos, ésteres, álcoois, cetonas e aldeídos. As diferentes características entre as amostras, o volume de dados e o objetivo de realizar uma análise simultânea dos parâmetros destacam a viabilidade do uso de métodos estatísticos multivariados, especificamente PCA e HCA. Foi utilizada uma matriz de dados (14 x 10), com amostras e padrões formando as linhas e os grupos funcionais constituintes dos bio-óleos formando as colunas. A HCA foi aplicada para avaliar semelhanças e diferenças, resultando no dendrograma mostrado na Figura 9, o qual foi construído com base nos pares de grupos mais semelhantes.

Figura 9: Dendrograma obtido para as variáveis através do método de ligação interpontos utilizando o método de Ward e o cálculo da distância euclidiana



Fonte: autor

As semelhanças entre as amostras foram avaliadas utilizando o método de ligação de Ward, que foi aplicado para calcular as distâncias Euclidianas. Os grupos são definidos por uma linha paralela ao eixo x chamada de Linha Fenon, e é traçada na maior distância onde são formados [159].

Ponderando que a matriz de dados possui 14 amostras e 10 variáveis, com valores de médias e desvios padrões bastante distintos, optou-se por autoescalar esses números, equilibrando os pesos de informações de cada fator independente. Este processo foi aplicado nas colunas, garantindo o mesmo grau de importância das variáveis na análise [160]

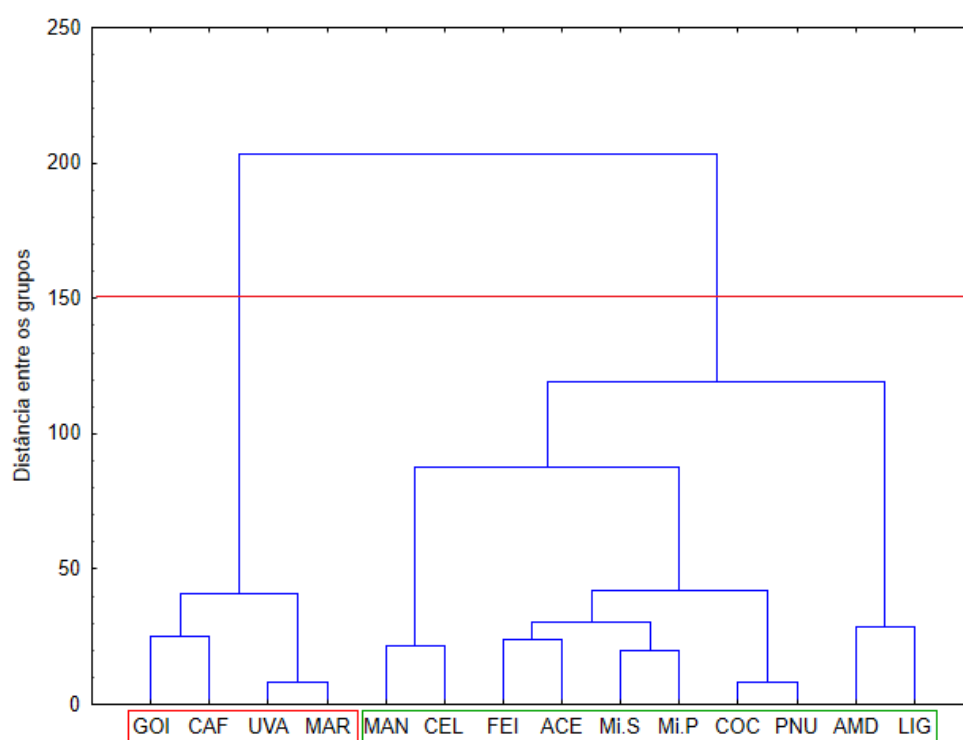
O grupo fenol está presente em todas as amostras, indicativo da elevada concentração de lignina nas matrizes. Este composto está entre as substâncias naturais mais presentes no globo terrestre, formada exclusivamente dentro da parede celular. Associada à celulose, confere rigidez, impermeabilidade a água e resistência aos tecidos vegetais [161]. Nas sementes, por exemplo, a lignina é o componente predominante, seguido da celulose e hemicelulose, e altos teores estão associados a mais compostos fenólicos nessas matrizes [162]. Desta forma, a pirólise de biomassas ricas em lignina gera bio-óleos ricos em fenóis.

O segundo grupo é formado pela variável ácido carboxílico, presente em quase todos os bio-óleos analisados, com quantidades expressivas nos grupos das sementes oleaginosas. Essas biomassas são ricas em triglicerídeos que são decompostos pelo aquecimento durante o processo de pirólise, resultando em ácidos graxos de cadeia longa [163]. Estes, por sua vez, são degradados em alcanos e alquenos devido à clivagem secundária das ligações duplas C=C [164].

Por fim, as classes aldeído, cetona, nitrogenados, função oxigenada, éster, hidrocarboneto, álcool e carboidrato, formam um 3º grupo, originado predominantemente da decomposição da celulose durante o processo de pirólise. Estão em menores quantidades nas biomassas, pois possuem menor altura em relação ao eixo y. No grupo Função Oxigenada estão agrupados os éteres e anidridos, uma vez que foram identificados em um número muito reduzido de amostras durante a análise.

Também é possível aplicar a HCA referente às amostras. Com isso, obteve-se o dendrograma representado na Figura 10. A análise deste dendrograma mostra a informação de dois grupos distintos: o das amostras oleaginosas e um maior com amostras de características ligno-celulósicas. As oleaginosas apresentam os maiores percentuais de ácidos carboxílicos em detrimento das demais amostras.

Figura 10: Dendrograma obtido para as amostras através do método de ligação interpontos utilizando o método de Ward e o cálculo da distância euclidiana



Fonte: autor

As informações geradas também foram estudadas através de PCA, e a quantidade destes é definida por alguns critérios. Um deles compreende em incluir as componentes com valores individuais superiores a 1. Há ainda a possibilidade de valer-se das componentes que sintetizam uma variância acumulada em torno de 70%

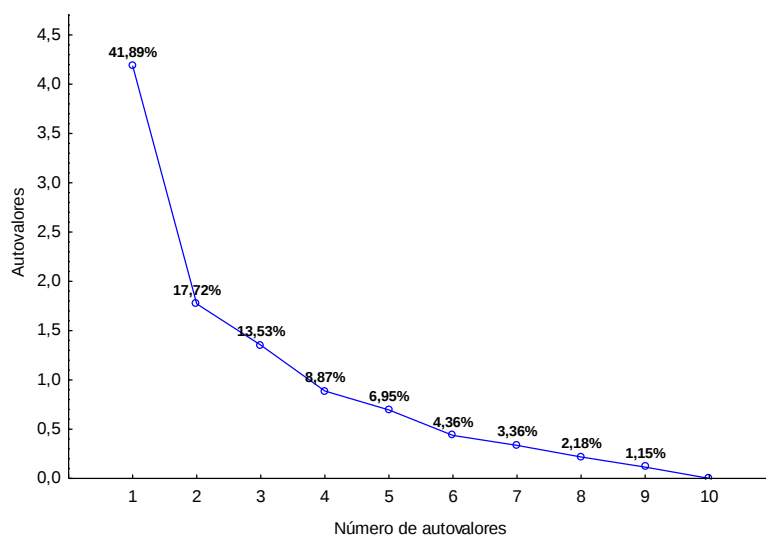
[159]. Com isso, obteve-se a Tabela 6 e o gráfico da Figura 11 através do programa Statistica® 12.0. Os dados em negrito na referida tabela denotam que ambos os critérios foram atendidos, com as três primeiras componentes principais explicando 76,60% de variações totais das medidas originais, com PC1 representando 34,04%, PC2, 25,44%, e o PC3, 17,12%. Assim, a síntese fornecida por essa redução de dimensionalidade é favorável ao estudo dos dados.

Tabela 6: Extração dos componentes principais

Nº de componentes	Autovalores	% variância explicada	Autovalores acumulados	% variância explicada acumulada
1	3,40	34,04	3,40	34,04
2	2,54	25,44	5,94	59,48
3	1,71	17,12	7,65	76,60
4	1,10	11,02	8,75	87,62
5	0,53	5,34	9,28	92,96
6	0,35	3,52	9,63	96,48
7	0,18	1,84	9,81	98,32
8	0,10	1,00	9,91	99,32
9	0,09	0,68	10,0	100,0

Fonte: autor

Figura 11: Seleção dos componentes principais



Fonte: autor

Concluída essa etapa, é necessário estimar os fatores, baseando-se nas variáveis de maior importância, bem como a contribuição destas na formação dos componentes. Para isso, é necessário fazer uma matriz de correlação (Tabela 7) entre as variáveis originais e as componentes principais. Neste trabalho, três componentes principais explicam a maior variância, por isso as demais colunas atribuídas a outros componentes não serão detalhadas. Ademais, sucedeu-se a rotação das variáveis pelo método *varimax* [165], permitindo a apresentação dos resultados com maior consistência.

Tabela 7: Matriz de correlação

Variáveis	PC1	PC2	PC3
Aldeído	0,213	-0,151	0,000
Ácido Carboxílico	-0,092	0,796	0,061
Álcool	0,073	-0,070	-0,135
Éster	0,974	0,080	-0,080
Hidrocarboneto	-0,017	0,300	0,008
Cetona	0,381	0,023	0,098
Fenol	-0,435	-0,641	0,212
Nitrogenada	0,050	0,160	-0,878
F.O.	-0,022	-0,095	-0,941
Carboidrato	0,852	-0,067	0,104

Fonte: autor

Os valores destacados são os que melhor explicam cada fator, considerando os superiores a 0,7 em valor absoluto. A PC1 é a mais importante neste estudo, pois possui uma explicação de 34,04%. As variáveis que mais a influenciam são os ésteres (0,974) e os carboidratos (0,852), os quais apresentam correlações positivas significativas. Esses compostos estão presentes em maiores proporções nas amostras cuja composição química é semelhante à da celulose. Além disso, as cargas positivas associadas aos aldeídos, álcoois, cetonas e compostos nitrogenados

indicam uma correlação entre essas variáveis nesta componente principal, o que pode ser atribuído à sua origem comum na degradação térmica da celulose durante a pirólise. Por outro lado, os fenóis derivam da degradação da lignina, justificando o sinal oposto observado.

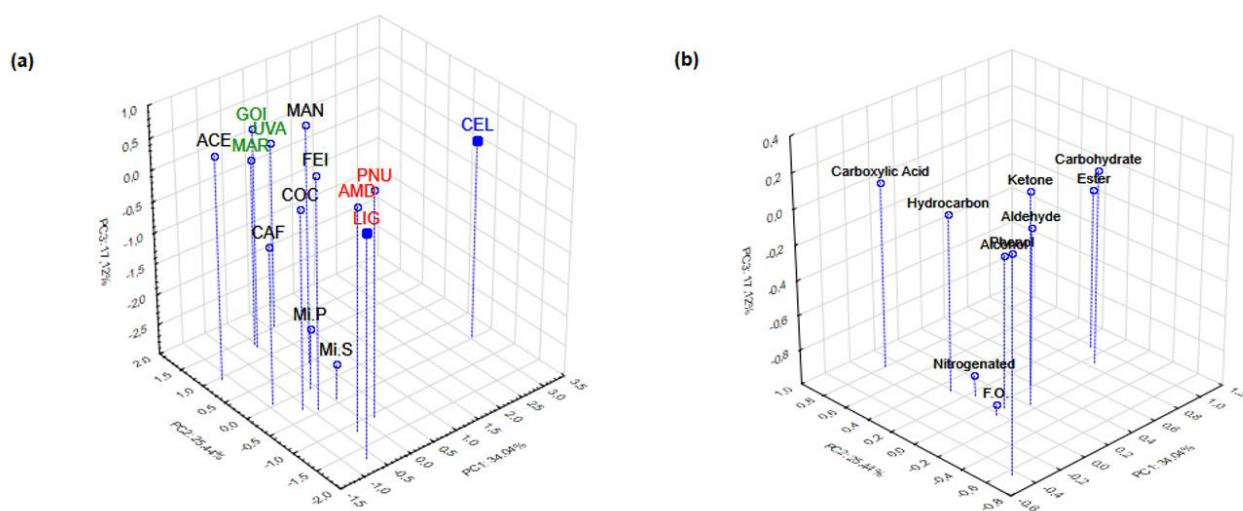
A PC2 revela que os ácidos carboxílicos exercem uma influência nesta componente, apresentando uma carga positiva de 0,796. Esse grupo está presente em concentrações significativas nas amostras oleaginosas que, quando submetidas a uma decomposição térmica como a pirólise, geram não apenas hidrocarbonetos, mas também ácidos carboxílicos, originados pela quebra da fração de glicerídeos. Por isso essas variáveis apresentam a mesma carga positiva. Segundo Zheng *et al.* (2021) [163], à medida que a temperatura de pirólise aumenta, os ácidos graxos de cadeia longa gerados sofrem clivagem das ligações C–C, resultando na formação de ácidos de cadeia curta e hidrocarbonetos.

A 3ª componente principal é explicada por uma contribuição negativa dos nitrogenados (-0,878) e de F.O. (-0,941), com percentuais inferiores a 10% e 14%, respectivamente. Segundo Chen e colaboradores (2022) [155], a decomposição térmica da celulose acima de 500°C promove reações de desoxigenação, levando à perda de grupos funcionais contendo oxigênio. Desta forma, como as pirólises das biomassas ocorreram a 600°C, há uma quantidade insignificante desses compostos nos bio-óleos estudados. Quanto aos bio-óleos com baixas concentrações de compostos nitrogenados são particularmente vantajosos para aplicações industriais, pois contribuem para a minimização da emissão de gases tóxicos, como HCN, NO_x e NH₃.

De fato, a explanação dos componentes principais é um dos aspectos mais sensíveis da análise. Por isso, recorre-se aos gráficos de dispersão em duas ou três dimensões, com fins em se obter uma percepção melhor dos fatores. Assim, considera-se relevante a correlação entre as variáveis originais e os componentes, bem como o estudo destes com o conjunto de dados, buscando características que estão interligadas. Enfatiza-se a importância do uso de técnicas univariadas e multivariadas, visto que se complementam e são convenientes para uma interpretação acertada [159].

Partindo do princípio que três componentes principais foram selecionadas, pode-se fazer análise do gráfico em três dimensões - PC1 x PC2 x PC3, de acordo com as Figuras 12, referentes aos *loadings* e *scores*, respectivamente, obtidos através do programa Statistica® 12.0.

Figura 12(a): Scores PC1 X PC2 X PC3 (b): Loadings PC1 X PC2 X PC3



Fonte: autor

Na análise dos gráficos acima, foram identificados quatro grupos distintos. Um desses grupos é composto pelas amostras GOI, MAR e UVA, que são predominantemente influenciadas pelos ácidos carboxílicos, com cargas positivas na PC2. Embora a amostra CAF também apresente concentrações significativas de ácidos carboxílicos, ela se distingue pelas altas concentrações de álcoois e compostos nitrogenados. Uma característica comum entre essas amostras é a baixa concentração de compostos fenólicos.

O segundo grupo é constituído pelo padrão CEL, influenciado pela PC1, com cargas positivas associadas a ésteres e carboidratos, sugerindo concentrações elevadas dessas classes de compostos. A presença de uma variedade de carboidratos é uma característica típica do bio-óleo proveniente da pirólise da celulose

[155].

O terceiro grupo é composto pelas amostras PNU e AMD, juntamente com o padrão LIG, influenciado pela variável fenóis. Esses bio-óleos apresentam concentrações elevadas destes compostos, refletindo características mais próximas da lignina, ao mesmo tempo em que exibem concentrações reduzidas de ésteres e carboidratos. O quarto grupo é formado pelas amostras e variáveis restantes, as quais apresentam menor representatividade, uma vez que estão mais próximas da origem em relação aos eixos.

9. CONCLUSÃO

Os resultados obtidos neste estudo demonstraram que a composição química e as propriedades dos bio-óleos estão fortemente relacionadas às características intrínsecas das biomassas utilizadas, refletindo-se diretamente em seu potencial de aplicação industrial. A caracterização físico-química e cromatográfica permitiu identificar as principais classes orgânicas presentes, evidenciando variações significativas entre as amostras e indicando caminhos distintos para aproveitamento energético, químico e como insumos de maior valor agregado.

As análises de caracterização das biomassas evidenciaram o potencial dos resíduos agrícolas para aplicações industriais, especialmente quando utilizados de forma combinada para minimizar os efeitos da sazonalidade. Parâmetros como teores de cinzas, umidade, óleos, extrativos totais e composição elementar foram determinantes na caracterização das matérias-primas, influenciando diretamente na pirólise, conforme indicado pelas análises termogravimétricas.

O Diagrama de Van Krevelen demonstrou-se uma ferramenta eficaz na previsão das propriedades dos bio-óleos obtidos, especialmente no que diz respeito aos componentes lignocelulósicos. A formação de grupos distintos, com características particulares, foi evidenciada por meio dos tratamentos estatísticos aplicados neste estudo. A abordagem cromatográfica, aliada à análise multivariada (PCA e HCA), mostrou-se eficiente na identificação de agrupamentos com base nas

similaridades e diferenças entre as composições dos bio-óleos gerados durante a micropirólise.

Este trabalho amplia as possibilidades de integração de tecnologias limpas e renováveis à matriz energética e produtiva, favorecendo o desenvolvimento sustentável e a redução da dependência de recursos fósseis.

Referências

- [1] ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS, “Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável,” 15 Setembro 2015. [Online]. Available: <https://brasil.un.org/pt-br/91863-agenda-2030-para-o-desenvolvimento-sustent%C3%A1vel>. [Acesso em 10 Dezembro 2024].
- [2] ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS, “Sobre o nosso trabalho para alcançar os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável no Brasil,” 2025. [Online]. Available: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>. [Acesso em 02 Julho 2025].
- [3] J. BARROS, J. SCHNEIDER, R. FARRAPEIRA, Y. ANDRADE, L. KRAUSE, T. BJERK e E. CARAMÃO, “Recovery of waste biomass: pyrolysis and characterization of sugarcane residues and their bio-oils,” *Biofuels*, pp. 1-11, 18 October 2021.
- [4] S. SAMPAOLESI, L. BRIAND, M. SAPARRAT e M. TOLEDO, “Potentials of Biomass Waste Valorization: Case of South America,” *Sustainability*, pp. 1-21, 21 May 2023.
- [5] H. EL-MOUSLY, M. MIDANI e E. DARWISH, “Date Palm Byproducts for Green Fuels and Bioenergy Production,” em *Date Palm Byproducts: A Springboard for Circular Bio Economy*, Singapore, Springer, 2023, pp. 271-343.

- [6] C. HARVEY e R. VISSER, "Characterisation of harvest residues on New Zealand's steep-land plantation cutovers," *New Zealand Journal of Forestry Science*, pp. 1-12, 25 March 2022.
- [7] O. FAKAYODE, H. WAHIA, L. ZHANG, C. ZHOU e H. MA, "State-of-the-art co-pyrolysis of lignocellulosic and macroalgae biomass feedstocks for improved bio-oil production- A review," *Fuel*, pp. 1-22, 2023.
- [8] D. LACHOS-PEREZ, J. MARTINS-VIEIRA, J. MISSAU, K. ANSHU, K. SIAKPEBRU, S. THENGANE, A. MORAIS, E. TANABE e D. BERTUOL, "Review on Biomass Pyrolysis with a Focus on Bio-Oil Upgrading Techniques," *Analytica*, pp. 182-205, 20 May 2023.
- [9] R. QUEVEDO-AMADOR, B. ESCALERA-VELASCO, A. ARIAS, H. REYNEL-ÁVILA, J. MORENO-PIRAJÁN, L. GIRALDO e A. BONILLA-PETRICIOLET, "Application of waste biomass for the production of biofuels and catalysts: a review," *Clean Technologies and Environmental Policy* , pp. 943-997, 2 February 2024.
- [10] SEBRAE, "O que são resíduos (e o que fazer com eles)," 04 Agosto 2022. [Online]. Available: <https://sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/artigos/o-que-sao-residuos-e-o-que->. [Acesso em 11 Junho 2023].
- [11] ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS, "ONU - Programa para o meio ambiente," 28 Fevereiro 2024. [Online]. Available: <https://www.unep.org/pt-br/noticias-e-reportagens/comunicado-de-imprensa/o-mundo-deve-superar-era-do-desperdicio-e-transformar>. [Acesso em 10 Dezembro 2024].
- [12] H. OGAN, F. AKAARKAR e B. AGBOGUNLERI, "Creating Renewable Energy from Agricultural Wastes in Nigeria and Enabling Policy and Legal Framework," *International Journal of Innovative Science and Research Technology*, pp. 1-9, May 2024.
- [13] Associação Brasileira de Resíduos e Meio Ambiente, *Panorama dos resíduos sólidos no Brasil*, Grappa Marketing Editorial, 2023.

- [14] BRASIL, “Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos,” 02 Agosto 2010. [Online]. Available: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm. [Acesso em 11 Junho 2023].
- [15] L. CARVALHO e M. CHAUDON, “Gestão de resíduos sólidos orgânicos no setor de alimentação coletiva: revisão,” *Higiene Alimentar*, pp. 27-32, Abril 2018.
- [16] M. AWASTHI, S. SARSAIYA, A. PATEL, A. JUNEJA, R. SINGH, B. YAN, S. AWASTHI, A. JAIN, T. LIU, Y. DUAN, A. PANDEY, Z. ZHANG e M. TAHERZADEH, “Refining biomass residues for sustainable energy and bio-products: An assessment of technology, its importance, and strategic applications in circular bio-economy,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, pp. 1-18, 1 May 2020.
- [17] ASSEMAE, “Apenas 1% do lixo orgânico é reaproveitado no Brasil,” 05 Fevereiro 2019. [Online]. Available: <https://assemade.org.br/noticias/item/4494- apenas-1-do-lixo-organico-e-reaproveitado-no-brasil>. [Acesso em 11 junho 2023].
- [18] S. AZEVEDO, T. SEQUEIRA, M. SANTOS e L. MENDES, “Biomass-related sustainability: A review of the literature and interpretive structural modeling,” *Energy*, pp. 1107-1125, 15 March 2019.
- [19] S. ZHANG, Y. SU, Y. XIONG e H. ZHANG, “Physicochemical structure and reactivity of char from torrefied rice husk: Effects of inorganic species and torrefaction temperature,” *Fuel*, 15 February 2020.
- [20] S. ZHANG, Y. SU, D. XU, S. ZHU, H. ZHANG e X. LIU, “Effects of torrefaction and organic-acid leaching pretreatment on the pyrolysis behavior of rice husk,” *Energy*, pp. 804-813, 15 April 2018.
- [21] B. SHANMUGARAJAH, I. CHEW, N. MUBARAK, T. CHOONG, C. YOO e K. TAN, “Valorization of palm oil agro-waste into cellulose biosorbents for highly effective textile effluent remediation,” *Journal of Cleaner Production*, pp. 697-709, 10 February 2019.

- [22] T. DEITOS, R. ARAÚJO, C. BERTUOLO, L. FREITAS, I. PEREIRA, A. LOPES, N. FREITAS, C. OLIVEIRA, H. CERQUEIRA, Y. HERNANDEZ, N. ARAÚJO e A. MEDEIROS, “Sustentabilidade e Inovação em Energias Verdes: Biomassa como Alternativa Energética Renovável,” *Revista de Gestão Social e Ambiental (RGSA)*, pp. 1-10, 30 August 2024.
- [23] M. RAUD, T. KIKAS, O. SIPPULA e N. SHURPALI, “Potentials and challenges in lignocellulosic biofuel production technology,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, pp. 44-56, 15 May 2019.
- [24] BRASIL, Plano Nacional de Energia 2030, Brasília/ DF: Ministério de Minas e Energia ; colaboração Empresa de Pesquisa Energética, 2007, p. 250.
- [25] L. PEDROSO, F. SILVA, A. MELO, M. Erthal Jr, A. SHIMOYA, I. MATIAS e C. SOUZA, “Demandas atuais e futuras da biomassa e da energia renovável no Brasil e no mundo,” *Brazilian Journal of Development*, pp. 1980-1996, 12 Junho 2018.
- [26] V. DHYANI e T. BHASKAR, “A comprehensive review on the pyrolysis of lignocellulosic biomass,” *Renewable Energy*, pp. 695-716, December 2018.
- [27] M. PARASCANU, M. GAMERO, P. SÁNCHEZ, G. SOREANU, J. VALVERDE e L. SANCHEZ-SILVA, “Life cycle assessment of olive pomace valorisation through pyrolysis,” *Renewable Energy*, pp. 589-601, July 2018.
- [28] F. VALENTI, S. PORTO, R. SELVAGGI e B. PECORINO, “Co-digestion of by-products and agricultural residues: a bioeconomy perspective for a Mediterranean feedstock mixture,” *Science of The Total Environment*, 15 January 2020.
- [29] J. VIEIRA FILHO, “Agricultura e pecuária, energia e o efeito poupa-florestas: um comparativo internacional,” Brasília/ DF, 2022.
- [30] J. BENTO e J. VIEIRA FILHO, “Biocombustíveis e economia de baixo carbono no Brasil,” Brasília/ DF, 2023.

- [31] EPE - Empresa de Pesquisa Energética, “Análise de conjuntura dos biocombustíveis - Ano 2021,” Rio de Janeiro/ RJ, 2022.
- [32] J. SANTOS, G. VIANA, R. BARBOSA, M. BORGES, M. RAMBO, D. BERTUOL e E. SCAPIN, “Effect of different pretreatments of *Passiflora edulis* peel biomass on the conversion process into bioproducts for biorefineries,” *Sustainable Chemistry for the Environment*, 23 June 2023.
- [33] R. SANTOS, D. BISPO, H. GRANJA, E. SUSSUCHI, A. RAMOS e L. FREITAS, “Pyrolysis of the Caupi Bean Pod (*Vigna unguiculata*): Characterization of Biomass and Bio-Oil,” *J. Braz. Chem. Soc.*, pp. 1125-1136, 2020.
- [34] J. SILVA, A. WISNIEWSKI JR, I. CARREGOSA, W. SILVA, A. ABUD e A. OLIVEIRA JR, “Thermovalorization of acerola industrial waste by pyrolysis in a continuous rotary kiln reactor,” *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, pp. 1-10, 2022.
- [35] J. NASCIMENTO, “Caracterização e melhoramento de bio-óleo proveniente de semente de goiaba - *Psidium guajava* L.,” São Cristóvão/ SE, 2016.
- [36] R. PARDO, L. TABOADA-RUIZ, E. FUENTE, B. RUIZ, M. DÍAZ-SOMOANO, L. CALVO e S. PANIAGUA, “Exploring the potential of conventional and flash pyrolysis methods for the valorisation of grape seed and chestnut shell biomass from agri-food industry waste,” *Biomass and Bioenergy*, pp. 1-12, 29 August 2023.
- [37] A. CHALLA, N. SAHA, P. SZEWCZYK, J. KARBOWNICZEK, U. STACHEWICZ, F. NGWABEBHOH e P. SAHA, “Graphene oxide produced from spent coffee grounds in electrospun cellulose acetate scaffolds for tissue engineering applications,” *Materials Today Communications*, pp. 1-7, 11 April 2023.
- [38] D. SARTIKA, A. FIRMANSYAH, I. JUNAIS, I. ARNATA, F. FAHMA e A. FIRMANDA, “High yield production of nanocrystalline cellulose from corn cob through a chemical-mechanical treatment under mild conditions,” *International Journal of Biological Macromolecules*, pp. 1-10, 2 April 2023.

- [39] C. ZHANG, R. LIN, J. HOU, R. KHAN, X. LI, H. WEI, J. CHEN, R. WANG, J. ZHANG e T. LIU, "The unique sugar conversion and complex CAZyme system of *Trichoderma brev* T069 during solid-state fermentation of cassava peel," *Industrial Crops & Products*, pp. 1-12, 12 January 2023.
- [40] Z. CHEN, P. LI, Q. JI, Y. XING, X. MA e Y. XIA, "All-polysaccharide composite films based on calcium alginate reinforced synergistically by multidimensional cellulose and hemicellulose fractionated from corn husks," *Materials Today Communications*, pp. 1-10, 1 December 2023.
- [41] A. LU, X. YU, Q. JI, L. CHEN, A. YAGOUB, F. OLUGBENGA e C. ZHOU, "Preparation and characterization of lignin-containing cellulose nanocrystals from peanut shells using a deep eutectic solvent containing lignin-derived phenol," *Industrial Crops & Products*, pp. 1-10, 22 February 2023.
- [42] P. SCHROEDER, V. PEREIRA, A. VENTURA, J. ANDRADE, M. FIGUEIREDO, E. CHAGAS, D. AZEVEDO, G. ROMEIRO e R. SILVA, "Chemical Evaluation via High-Resolution Techniques and Biopesticide Potential of Bio-Oil and Aqueous Phase from Slow Pyrolysis of Passion Fruit Seed Cake," *Waste and Biomass Valorization*, pp. 1-22, 7 November 2022.
- [43] F. PUTRINO, M. TEDESCO, R. BODINI e A. OLIVEIRA, "Study of supercritical carbon dioxide pretreatment processes on green coconut fiber to enhance enzymatic hydrolysis of cellulose," *Bioresource Technology*, pp. 1-7, 17 April 2020.
- [44] S. JHA, S. NANDA, B. ACHARYA e A. DALAI, "A Review of Thermochemical Conversion of Waste Biomass to Biofuels," *Energies*, pp. 1-23, 31 August 2022.
- [45] C. POCHA, S. CHIA, W. CHIA, A. KOYANDE, S. NOMANBHAY e K. CHEW, "Utilization of agricultural lignocellulosic wastes for biofuels and green diesel production," *Chemosphere*, March 2022.

- [46] K. YONG e T. WU, "Second-generation bioenergy from oilseed crop residues: Recent technologies, techno-economic assessments and policies," *Energy Conversion and Management*, pp. 1-26, 6 June 2022.
- [47] J. KOMANDUR, R. VINU e K. MOHANTY, "Pyrolysis kinetics and pyrolysate composition analysis of Mesua ferrea L: A non-edible oilseed towards the production of sustainable renewable fuel," *Bioresource Technology*, pp. 1-9, 12 March 2022.
- [48] A. AGARWAL, O. PRAKASH e M. BALA, "Camelina sativa, a short gestation oilseed crop with biofuel potential: Opportunities for Indian scenario," *Oil Crop Science*, pp. 114-121, 16 July 2021.
- [49] R. SANTOS, A. SANTOS, E. SUSSUCHI, J. NASCIMENTO, A. LIMA e L. FREITAS, "Pyrolysis of mangaba seed: Production and characterization of bio-oil," *Bioresource Technology*, pp. 43-48, 22 July 2015.
- [50] D. SIERRA-ZURITA, S. SANTANA-ESPINOZA, R. ROSALES-SERNA, J. RÍOS-SAUCEDO e A. CARRILLO-PARRA, "Productivity and Characterization of Biomass Obtained from Pruning of Walnut Orchards in México," *Energies*, pp. 1-11, 26 February 2023.
- [51] R. SANTOS e L. (. FREITAS, "Biomassa lignocelulósica: caracterização," em *Energia da biomassa - Termoconversão e seus produtos*, Curitiba/ PR, Brazil Publishing, 2020, p. 234.
- [52] S. AHMAD, U. ALI, K. ISA e S. GOPINATH, "Study on characterization of bio-oil derived from sugarcane bagasse (*Saccharum barberi*) for application as biofuel," *Clean Energy*, pp. 297-304, April 2022.
- [53] R. CHANDRAN, R. KALIAPERUMAL, S. BALAKRISHNAN, A. BRITTEN, J. MACLNNIS e M. MKANDAWIRE, "Characteristics of bio-oil from continuous fast pyrolysis of *Prosopis juliflora*," *Energy*, pp. 1-11, 2020.

- [54] A. TRUBETSKAYA, M. TIMKO e K. UMEKI, "Prediction of fast pyrolysis products yields using lignocellulosic compounds and ash contents," *Applied Energy*, p. 8, 1 Janeiro 2020.
- [55] F. AL-BALUSHI, K. BURRA, Y. CHAI e M. WANG, "Co-pyrolysis of waste tyre and pine bark: Study of reaction kinetics and mechanisms," *Biomass and Bioenergy*, January 2023.
- [56] B. YAN, L. JIAO, J. LI, X. ZHU, S. AHMED e G. CHEN, "Investigation on microwave torrefaction: Parametric influence, TG-MS-FTIR analysis, and gasification performance," *Energy*, pp. 1-12, 9 January 2021.
- [57] T. SAMPAIO, F. CUNHA, L. CAMPOS e C. PIRES, "Evaluation of the influence of hydrophilic extractives on the formation of bio-oil from the micro-pyrolysis of biomass waste," *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, March 2024.
- [58] E. SILVEIRA, R. BARCELO, G. LAMAS, P. RODRIGUES, B. CHAVES, T. PROTÁSIO, P. ROUSSET e G. GHEST, "Biofuel from agro-industrial residues as sustainable strategy for CO₂ mitigation: Statistical optimization of pequi seeds torrefaction," *Energy Conversion and Management*, 15 March 2024.
- [59] O. FISCHER, R. LEMAIRE e A. BENSAKHRIA, "Thermogravimetric analysis and kinetic modeling of the pyrolysis of different biomass types by means of model-fitting, model-free and network modeling approaches," *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, pp. 1-23, 21 March 2024.
- [60] A. ZHOU e L. MA, "Thermogravimetric Analysis on Co-Gasification Characteristics of Sludge and Straw under CO₂ Atmosphere," *Processes*, pp. 1-14, 05 May 2023.
- [61] M. HASAN, M. RAHMAN, B. NYAKUMA e M. SAID, "Alternatives for inert torrefaction to produce high-quality solid fuel: Review of available techniques, parameters, potentials and challenges," *Biomass and Bioenergy*, pp. 1-24, 14 February 2024.

- [62] S. WANG, Y. WANG, Z. SHI, K. SUN, Y. WEN, L. NIEDZWIECKI, R. PAN, Y. XU, I. ZAINI, K. JAGODZINSKA, C. ARAGON-BRICENO, C. TANG, T. ONSREE, N. TIPPAYAWONG, H. PAWLAK-KRUCZEK, P. JONSSON, W. YANG, J. JIANG, S. KAWI e C. WANG, "Van Krevelen diagrams based on machine learning visualize feedstock-product relationships in thermal conversion processes," *Communications Chemistry*, pp. 1-11, 2023.
- [63] B. CASTELLS, I. AMEZ, N. MANIC, D. STOJILJKOVIC, L. MEDIC e J. GARCIA-TORRENT, "Kinetic Study of Different Biomass Pyrolysis and oxygen-enriched combustion," *Thermal Science*, pp. 4131-4135, 2022.
- [64] L. LI, A. LONG, B. FOSSUM e M. KAISER, "Effects of pyrolysis temperature and feedstock type on biochar characteristics pertinent to soil carbon and soil health: A meta- analysis," *Soil Use and Management*, pp. 43-52, 04 October 2022.
- [65] A. AL-RABAIAI, D. MENEZES-BLACKBURN, S. AL-SMAILY, R. JANKE, B. PRACEJUS, A. AL-ALAWI, M. AL-KINDI e R. BOL, "Customized biochar for soil applications in arid land: Effect of feedstock type and pyrolysis temperature on soil microbial enumeration and respiration," *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, pp. 1-13, 3 September 2022.
- [66] A. ROSHAN, D. GHOSH e S. MAITI, "How temperature affects biochar properties for application in coal mine spoils? A meta-analysis," *Carbon Research* , pp. 1-17, 2023.
- [67] B. KARKACH, M. TAHIRI, A. HAIBI, M. BOUYA e F. KIFANI-SAHBAN, "Review on Fast Pyrolysis of Biomass for Biofuel Production from Date Palm," *Applied Science*, pp. 1-19, 19 September 2023.
- [68] A. SALIMBENI, G. LOMBARDI, A. RIZZO e D. CHIARAMONTI, "Techno-Economic feasibility of integrating biomass slow pyrolysis in an EAF steelmaking site: A case study," *Applied Energy*, pp. 1-14, 03 April 2023.
- [69] H. CONG, H. MENG, O. MASEK, Z. YAO, L. LI, B. YU, C. QIN e L. ZHAO, "Comprehensive analysis of industrial-scale heating plants based on different

biomass slow pyrolysis technologies: Product property, energy balance, and ecological impact,” *Cleaner Engineering and Technology*, pp. 1-9, 05 January 2022.

- [70] K. YRJALA, M. RAMAKRISHNAN e E. SALO, “Agricultural waste streams as resource in circular economy for biochar production towards carbon neutrality,” *Environmental Science & Health*, pp. 1-7, 2022.
- [71] L. ZHANG, S. LI, Y. HU e Q. NIE, “Economic optimization of a bioenergy-based hybrid renewable energy system under carbon policies—from the life-cycle perspective,” *Applied Energy*, pp. 1-23, 1 February 2022.
- [72] Q. YANG, H. ZHOU, P. BARTOCCI, F. FANTOZZI, O. MASEK, F. AGBLEVOR, Z. WEI, H. YANG, H. CHEN, X. LU, G. CHEN, C. ZHENG, C. NIELSEN e M. MCELROY, “Prospective contributions of biomass pyrolysis to China’s 2050 carbon reduction and renewable energy goals,” *Nature Communications*, pp. 1-12, 2021.
- [73] P. BHOI, A. OUEDRAOGO, V. SOLOIU e R. QUIRINO, “Recent advances on catalysts for improving hydrocarbon compounds in bio-oil of biomass catalytic pyrolysis,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, pp. 1-13, April 2020.
- [74] Z. HUSSAIN, H. NAZ, M. RAFIQUE, H. GULAB, M. NAZ, S. SULAIMAN e K. KHAN, “Conversion of spent fat oil into liquid and gaseous fuels through clinker catalyzed pyrolysis,” *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, pp. 949-957, June 2019.
- [75] M. GONZÁLEZ-LUCAS, M. PEINADO, J. VAQUERO, L. NOZAL, J. AGUIRRE e S. GONZÁLEZ-EGIDO, “Microwave-Assisted Pyrolysis of Leather Waste,” *Energies*, pp. 1-14, 10 February 2022.
- [76] M. AHMED, A. NIGUSSIE, S. ADDISSU, B. BELAY, J. LEHMANN e S. SATO, “Valorization of animal bone waste for agricultural use through biomass co-pyrolysis and bio-augmentation,” *Biomass Conversion and Biorefinery*, pp. 1-10, 30 November 2021.

- [77] Z. LI, C. REIMER, M. PICARD e A. MOHANTY , “Characterization of chicken feather biocarbon for use in sustainable biocomposites,” *Frontiers in materials*, pp. 1-12, 07 February 2020.
- [78] Y. ZHOU, Z. CHEN, H. GONG, X. WANG e H. YU, “A strategy of using recycled char as a co-catalyst in cyclic in-situ catalytic cattle manure pyrolysis for increasing gas production,” *Waste Management*, pp. 74-81, 8 April 2020.
- [79] B. YAO, T. XIAO, X. JIE, S. GONZALEZ-CORTES e P. EDWARDS, “H₂-rich gas production from leaves,” *Catalysis Today*, pp. 43-49, 24 February 2018.
- [80] A. AHMED, M. BAKAR, A. AZAD, R. SUKRI e N. PHUSUNTI, “Intermediate pyrolysis of *Acacia cincinnata* and *Acacia holosericea* species for bio-oil and biochar production,” *Energy Conversion and Management*, pp. 393-408, 20 September 2018.
- [81] Q. WANG, C. DUAN, C. XU e Z. GENG, “Efficient removal of Cd(II) by phosphate-modified biochars derived from apple tree branches: Processes, mechanisms, and application,” *Science of the Total Environment*, pp. 1-12, 5 January 2022.
- [82] W. SIMANJUNTAK, K. PANDIANGAN, Z. SEMBIRING e P. SIHOMBING, “Biogasoline production by zeolite-A catalyzed co-pyrolysis of torrefied cassava root and palm oil,” *Journal of Physics: Conference Series*, pp. 1-10, 2021.
- [83] C. PARK, N. LEE, J. KIM e J. LEE, “Co-pyrolysis of food waste and wood bark to produce hydrogen with minimizing pollutant emissions,” *Environmental Pollution*, pp. 1-9, 2021.
- [84] N. GOUDA, R. SINGH, A. DAS e A. PANDA, “Performance, emission, energy, and exergy analysis of CI engine using Kaner seed pyrolysis oil blended diesel,” *Environmental progress & sustainable energy*, pp. 1-10, 21 May 2019.
- [85] S. STEGEN e P. KAPARAJU, “Effect of temperature on oil quality obtained through pyrolysis of sugarcane bagasse,” *Fuel*, 15 September 2020.

- [86] L. COSTA, A. BRANDÃO e J. PINTO, "Modeling of polystyrene degradation using kinetic Monte Carlo," *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, pp. 1-11, 28 Augusty 2022.
- [87] A. ZOLGHADR, J. BIERNACKI e R. MOORE, "Biomass Fast Pyrolysis Using a Novel Microparticle Microreactor Approach: Effect of Particle Size, Biomass Type, and Temperature," *Energy & Fuels*, p. 1146–1156, 2019.
- [88] IBGE, "Produção Agropecuária," 2023. [Online]. Available: <https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria>. [Acesso em 09 Abril 2025].
- [89] O. IHA, G. MARTINS, E. EHLERT, M. MONTENEGRO, R. SUCUPIRA e P. SUAREZ, "Extraction and Characterization of Passion Fruit and Guava Oils from Industrial Residual Seeds and Their Application as Biofuels," *Journal of the Brazilian Chemical Society*, pp. 2089-2095, October 2018.
- [90] J. SILVA, S. ANDERSEN, R. MOREIRA e H. JOSÉ, "A comprehensive study on by-products of food processing industry pyrolysis using a thermobalance reactor coupled to GC-FID/TCD: Mass, atomic and energy balances, thermokinetic modeling, product distribution, and characterization," *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, pp. 1-16, 12 April 2021.
- [91] E. SILVEIRA JR., V. PEREZ, O. JUSTO, G. DAVID, E. SIMIONATTO e L. OLIVEIRA, "Valorization of guava (*Psidium guajava* L.) seeds for levoglucosan production by fast pyrolysis," *Cellulose*, pp. 71-79, 2021.
- [92] J. VIEIRA, D. PEREZ, C. DRASZEWSKI, D. CELANTE e F. CASTILHOS, "Sugar, hydrochar and bio-oil production by sequential hydrothermal processing of corn cob," *The Journal of Supercritical Fluids*, pp. 1-13, 5 January 2023.
- [93] H. PATIL e A. ATHALYE, "Valorization of Corn Husk Waste for Textile Applications," *Journal of Natural Fibers*, pp. 1-13, 11 December 2022.
- [94] S. SIVAMANI, A. CHANDRASEKARAN, M. BALAJII, M. SHANMUGAPRAKASH, A. HOSSEINI-BAMDEGHARAEI e R. BASKAR,

- “Evaluation of the potential of cassava-based residues for biofuels production,” *Rev Environ Sci Biotechnol*, p. 553–570, 31 July 2018.
- [95] C. PRIMAZ, T. SCHENA, E. LAZZARI, E. CARAMÃO e R. JACQUES, “Influence of the temperature in the yield and composition of the bio-oil from the pyrolysis of spent coffee grounds: Characterization by comprehensive two dimensional gas chromatography,” *Fuel*, pp. 572-580, 09 June 2018.
- [96] A. VESES, O. PAREJO, M. NAVARRO, J. LÓPEZ, R. MURILLO, M. CALLÉN e T. GARCÍA, “From laboratory scale to pilot plant: Evaluation of the catalytic co-pyrolysis of grape seeds and polystyrene wastes with CaO,” *Catalysis Today*, pp. 87-95, 1 May 2021.
- [97] M. MARTÍNEZ-CASTAÑO, D. DÍAZ, J. CONTRERAS-CALDERÓN e C. CABRERA, “Physicochemical properties of bean pod (*Phaseolus vulgaris*) flour and its potential as a raw material for the food industry,” *Rev. Fac. Nac. Agron. Medellín*, pp. 9179-9187, 11 March 2020.
- [98] C. FERMANELLI, A. CÓRDOBA, L. PIERELLA e C. SAUX, “Pyrolysis and copyrolysis of three lignocellulosic biomass residues from the agro-food industry: A comparative study,” *Waste Management*, pp. 362-370, 2020.
- [99] L. PIERELLA, C. SAUX e C. FERMANELLI, “Comparative study of zeolites matrices in bio-wastes pyrolytic valorization,” *Process Safety and Environmental Protection*, pp. 808-817, 7 January 2021.
- [100] M. JAHIDING, M. MASHUNI, E. HASAN, L. ABA, F. PURNAMASARI e Y. MILEN, “Decomposition and characterization of bio-oil from coconut shell waste for bio-coke hybrid application as alternative energy resources,” *Journal of physics. Conference series*, pp. 1-7, 2023.
- [101] R. FARIAS, P. LINS, R. GABRIEL, A. SILVA, L. CARVALHO, L. MEILI, A. ALBUQUERQUE, S. CARVALHO, J. SOLETTI e M. BISPO, “Pyrolysis of Coconut Inflorescence Wastes: Production, Effects of Parameters,

- Characterization and Optimization of Phenolic-Rich Bio-Oil,” *Int J Environ Res*, pp. 1-15, 11 February 2022.
- [102] A. ARIM, M. QUINA e L. GANDO-FERREIRA, “Insights into the Sorption Mechanisms of Cr(III) by Chemically Modified Pine Bark,” *Chem. Eng. Technol.*, pp. 1378-1389, 27 April 2018.
- [103] M. BASHIR, C. MOHAN e A. ANNACHHATRE, “Regeneration of copper-loaded pine bark biochar using simultaneous bio-sulfide precipitation of copper,” *AQUA — Water Infrastructure, Ecosystems and Society*, pp. 577-592, 2023.
- [104] K. ANSARI, B. KAMAL, S. BEG, M. KHAN, M. KHAN, M. AL MESFER e M. DANISH, “Recent developments in investigating reaction chemistry and transport effects in biomass fast pyrolysis: A review,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, October 2021.
- [105] D. ZHONG, K. ZENG, J. LI, Y. QIU, G. FLAMANT, A. NZIHOUE, V. VLADIMIROVICH, H. YANG e H. CHEN, “Characteristics and evolution of heavy components in bio-oil from the pyrolysis of cellulose, hemicellulose and lignin,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, pp. 1-17, 2022.
- [106] X. HU e M. GHOLIZADEH, “Progress of the applications of bio-oil,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, pp. 110-124, 2020.
- [107] F. SÁNCHEZ-BORREGO, P. ÁLVAREZ-MATEOS e J. GARCÍA-MARTÍN, “Biodiesel and Other Value-Added Products from Bio-Oil Obtained from Agrifood Waste,” *Processes*, 30 April 2021.
- [108] K. MOREIRA, T. XAVIER e T. LIRA, “Aplicação da pirólise em resíduos industriais para a produção de bio-óleo combustível: uma análise bibliométrica,” *Brazilian Journal of Production Engineering*, 2021.
- [109] C. ZUBIOLO, H. SANTANA, L. PEREIRA, D. RUZENE, D. SILVA e L. FREITAS, “Bio-Oil Production and Characterization from Corn Cob and Sunflower Stem Pyrolysis,” *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 2024.

- [110] R. M. K. MISHRA, "Pyrolysis of three waste biomass: Effect of biomass bed thickness and distance between successive beds on pyrolytic products yield and properties," *Renewable Energy*, pp. 549-558, October 2019.
- [111] S. ILYIN e V. MAKAROVA, "Bio-oil: production, modification, and application," *Chemistry and Technology of Fuels and Oils*, pp. 29-44, March 2022.
- [112] R. PRABHAHAR, N. VASIJARA e E. SHANKAR, "Application of Prosopis juliflora based bio oil in natural fibre reinforced composite laminates," *Materials Today: Proceedings*, pp. 3411-3415, 30 April 2022.
- [113] M. BECCARIA, A. SIQUEIRA, A. MANIQUET, P. GIUSTI, M. PIPARO, P. STEFANUTO e J. FOCANT, "Advanced mono- and multi-dimensional gas chromatography–mass spectrometry techniques for oxygen-containing compound characterization in biomass and biofuel samples," *Journal of Separation Science*, pp. 115-134, January 2021.
- [114] A. SANTOS, A. LUCAS, I. MOTA, J. SCHNEIDER, A. POLIDORO, A. PINHO, F. MENDES e E. CARAMÃO, "Quantitative GC-MS Analysis of Sawdust Bio-Oil," *J. Braz. Chem. Soc.*, pp. 1-11, 2023.
- [115] R. NASCIMENTO, A. LIMA, P. BARBOSA e V. SILVA, *Cromatografia Gasosa: Aspectos teóricos e práticos*, Fortaleza/ CE: Imprensa Universitária: UFC, 2018.
- [116] E. SILVEIRA JÚNIOR, V. PEREZ, S. PAULA, T. SILVEIRA, F. OLIVARES e O. JUSTO, "Coffee Husks Valorization for Levoglucosan Production and Other Pyrolytic Products through Thermochemical Conversion by Fast Pyrolysis," *Energies*, pp. 1-23, 18 March 2023.
- [117] S. EL KOURDI, A. CHAABANE, S. ABDERAFFI e M. ABBASSI, "Valorizing argan residues into biofuels and chemicals through slow pyrolysis," *Results in Engineering*, pp. 1-17, 2024.

- [118] H. FARISSI, A. TALHAOUİ e A. BACHIRI, "Influence of pyrolysis process on the production of bio-oil used as alternative green energy from *Pistacia lentiscus* L.," *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, pp. 1-10, 8 November 2022.
- [119] R. SILVA, A. GONÇALVES, J. VINHAL, R. CASSELLA, R. SANTOS, M. SASSO, B. PEIXOTO, L. BORBA-SANTOS, S. ROZENTAL, D. AZEVEDO e G. ROMEIRO, "Bioproducts from the pyrolysis of castor seed cake: basic dye adsorption capacity of biochar and antifungal activity of the aqueous phase," *Journal of Environmental Chemical Engineering*, February 2021.
- [120] A. LUCAS, I. MOTA, J. SCHNEIDER, T. BJERK e E. CARAMÃO, "Production and Characterization of Bio-Oil from Cassava Peel," *Journal of Bioengineering, Technologies and Health*, pp. 314-319, 20 November 2023.
- [121] J. CARLSON, J. GASSON, T. BARTH e I. EIDE, "Extracting homologous series from mass spectrometry data by projection on predefined vectors," *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems* , pp. 36-43, 23 February 2012.
- [122] I. MOTTA, A. MARCHESAN, H. GUIMARÃES, M. CHAGAS, A. BONOMI, M. MACIEL e R. MACIEL FILHO, "Fast pyrolysis simulation via kinetic approach and multivariate analysis to assess the effect of biomass properties on product yields, properties, and pyrolyzer performance," *Energy Conversion and Management*, pp. 1-16, 22 September 2023.
- [123] R. FERREIRA, F. PAIM, V. RODRIGUES e G. CASTRO, *Análise de cluster não supervisionado em R: agrupamento hierárquico*, Campinas: Embrapa Territorial, 2020.
- [124] G. MURARIU, L. DINCA e D. MUNTEANU, "Trends and Applications of Principal Component Analysis in Forestry Research: A Literature and Bibliometric Review," *Forests*, pp. 1-24, 13 July 2025.

- [125] O. RADIONOVA, S. KUCHERYAVSKIY e A. POMERANTSEV, "Efficient tools for principal component analysis of complex data— a tutorial," *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, 10 April 2021.
- [126] H. EL-AZIZ, M. FATHY, N. EL-ENANY, F. ALY e M. TOLBA, "Investigation of some univariate and multivariate spectrophotometric methods for concurrent estimation of Vancomycin and Ciprofloxacin in their laboratory prepared mixture and application to biological fluids," *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, pp. 119570-119578, 9 February 2021.
- [127] A. INOBEME, V. NAYAK, T. MATHEW, S. OKONKWO, L. EKWOBA, A. AJAI, E. BERNARD, J. INOBEME, M. AGBUGUI e K. SINGH, "Chemometric approach in environmental pollution analysis: A critical review," *Journal of Environmental Management*, 14 February 2022.
- [128] I. MOTTA, A. MARCHESAN, R. MACIEL FILHO e M. MACIEL, "Correlating biomass properties, gasification performance, and syngas applications of Brazilian feedstocks via simulation and multivariate analysis," *Industrial Crops & Products*, pp. 1-13, 22 March 2022.
- [129] C. PEDRAZZI, G. DICK, R. COLDEBELLA, M. GENTIL, B. GIESBRECHT e R. ROSA, *Química da madeira*, Santa Maria/ RS: Imprensa Universitária UFSM, 2019.
- [130] A. SLUITER, B. HAMES, R. RUIZ, C. SCARLATA, J. SLUITER e D. TEMPLETON, "Determination of Ash in Biomass," *National Renewable Energy Laboratory*, 17 July 2005.
- [131] S. CANEVAROLO JR, *Técnicas de caracterização de polímeros*, São Carlos/ SP: Artliber, 2004.
- [132] A. LUTZ, *Métodos físico-químicos para análise de alimentos*, São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 2008, p. 1020.
- [133] Y. ANDRADE, A. POLIDORO, J. SCHNEIDER, L. FREITAS, E. CARAMÃO e R. FARRAPEIRA, "Influence of residual biomass deposition time of green

coconut on the quality of bio-oil generated by pyrolysis,” *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 2 March 2024.

- [134] H. DOOL e P. KRATZ, “A generalization of the retention index system including linear temperature programmed gas—liquid partition chromatography,” *Journal of Chromatography A*, pp. 463-471, 1963.
- [135] L. PURI, Y. HU e G. NATERER, “Critical review of the role of ashcontent and composition inbiomass pyrolysis,” *Frontiers in fuel*, 8 March 2024.
- [136] Y. PENG, X. TANG, R. XUAN, L. WANG, L. DAI, L. ZHANG, F. LIAO, H. LI, X. LI, Y. SHEN, Y. SU e H. WANG, “Analysis of pyrolysis behaviors of biomass extractives via non-linear stepwise heating program based on Gaussian multi-peak fitting of differential thermogravimetric curve,” *Thermochimica Acta*, 25 June 2021.
- [137] M. PALS, M. LAUBERTS, D. ZIJLSTRA, J. PONOMARENKO, A. ARSHANITSA e P. DEUSS, “Delignification of Residual Aspen Bark after Extractives Isolation as a Step in Biorefinery Processing Schemes,” *Molecules*, pp. 1-15, 17 May 2022.
- [138] W. KEW, J. BLACKBURN, D. CLARKE e D. UHRÍN, “Interactive van Krevelen diagrams - Advanced visualisation of mass spectrometry data of complex mixtures,” *Rapid Commun Mass Spectrom.*, pp. 658-662, 15 abril 2017.
- [139] M. ZANG, O. WANG, S. CAI, L. ZHAO e L. ZHAO, “Composition, functional properties, health benefits and applications of oilseed proteins: A systematic review,” *Food Research International*, 24 May 2023.
- [140] J. XIONG, S. ZHANG, L. KE, Q. WU, Q. ZHANG, X. CUI, A. DAI, C. XU, K. COOB, Y. LIU, R. RUAN e Y. WANG, “Research progress on pyrolysis of nitrogen-containing biomass for fuels, materials, and chemicals production,” *Science of The Total Environment*, 10 May 2023.
- [141] A. YAHYA, A. ADELEKE, P. NZEREM, P. IKUBANNI, S. AYUBA, H. RASHEED, A. GIMBA, I. OKAFOR, J. OKOLIE e P. PARAMASIVAM, “Comprehensive

Characterization of Some Selected Biomass for Bioenergy Production,” *ACS Omega*, pp. 43771-73791, 8 November 2023.

- [142] B. CUI, Z. CHEN, D. GUO e Y. LIU, “Investigations on the pyrolysis of microalgal-bacterial granular sludge: Products, kinetics, and potential mechanisms,” *Bioresource Technology*, April 2022.
- [143] R. BEIMS, C. SIMONATO e V. WIGGERS, “Technology readiness level assessment of pyrolysis of trygliceride biomass to fuels and chemicals,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, pp. 521-529, September 2019.
- [144] S. CHEN e C. ZHAO, “Production of Highly Symmetrical and Branched Biolubricants from Lignocellulose-Derived Furan Compounds,” *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, pp. 10818-10826, 2021.
- [145] X. ZHU, Z. LUO e X. ZHU, “Novel insights into the enrichment of phenols from walnut shell pyrolysis loop: Torrefaction coupled fractional condensation,” *Waste Management*, pp. 462-470, 15 July 2021.
- [146] C. FELIX, W. CHEIN, A. UBANDO, Y. PARK, K. LIN, A. PUGAZHENDHI, T. NGUYEN e C. DONG, “A comprehensive review of thermogravimetric analysis in lignocellulosic and algal biomass gasification,” *Chemical Engineering Journal*, pp. 1-23, 02 May 2022.
- [147] B. LIN, J. ZHOU, Q. QUIN, C. XIE e Z. LUO, “Isoconversional kinetic analysis of overlapped pyrolysis reactions: The case of lignocellulosic biomass and blends with anthracite,” *Journal of the Energy Institute*, pp. 143-153, 23 January 2021.
- [148] G. ZANG, Q. FENG, J. HU, G. SUN, F. EVRENDILEK, H. LIU e J. LIU, “Performance and mechanism of bamboo residues pyrolysis: Gas emissions, by-products, and reaction kinetics,” *Science of the Total Environment*, pp. 1-14, 8 June 2022.
- [149] W. SILVA, J. CARREGOSA, J. ALMEIDA-COUTO, L. CARDOZO-FILHO e A. WISNIEWSKI JR, “Management of de-oiled coffee beans biomass through

pyrolysis process: Towards a circular bioeconomy,” *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, pp. 1-9, 29 October 2022.

- [150] H. YANG, R. YAN, H. CHEN, D. H. LEE e C. ZHENG, “Characteristics of hemicellulose, cellulose and lignin pyrolysis,” *Fuel*, pp. 1781-1788, 2007.
- [151] A. BHATNAGAR, R. BARTHEN, H. TOLVANEN e J. KONTTINEN, “Bio-oil stability through stepwise pyrolysis of groundnut shells: Role of chemical composition, alkali and alkaline earth metals, and storage conditions,” *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, pp. 1-10, 28 May 2021.
- [152] T. ECKHARD, C. PFLIEGER, J. BÖTTGER, P. TELAAR, F. CERCIELLO e M. MUHLER, “The Catalytic Effect of Iron and Alkali and Alkaline Earth Metal Sulfates Loading Series on the Conversion of Cellulose-Derived Hydrochars and Chars,” *ACS Omega*, pp. 10629-10639, 10 March 2023.
- [153] Q. WU, X. BAO, W. GUO, B. WANG, Y. LI, H. LUO, H. WANG e N. REN, “Medium chain carboxylic acids production from waste biomass: Current advances and perspectives,” *Biotechnology Advances*, pp. 599-615, 5 March 2019.
- [154] Z. REDDA, A. LAÛ-SEYOUM, A. YIMAM, M. BARZ e S. JABASINGH, “Solvent extraction and characterization of Brassica carinata oils as promising alternative feedstock for bio-jet fuel production,” *Biomass Conversion and Biorefinery*, pp. 12207-12226, 2024.
- [155] D. CHEN, K. CEN, X. ZHUANG, Z. GAN, J. ZHOU, Y. ZHANG e H. ZHANG, “Insight into biomass pyrolysis mechanism based on cellulose, hemicellulose, and lignin: Evolution of volatiles and kinetics, elucidation of reaction pathways, and characterization of gas, biochar and bio-oil,” *Combustion and Flame*, pp. 1-17, 27 April 2022.
- [156] H. PRABHAKARA, E. BRAMER e G. BREM, “Hydrotalcite as a deoxygenation catalyst in fast pyrolysis of biomass for the production of high quality bio-oil,” *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, January 2022.

- [157] J. MARTINS, C. SETTER, C. ATAÍDE, T. OLIVEIRA e Z. MAGRIOTIS, "Study of pequi peel pyrolysis: Thermal decomposition analysis and product characterization," *Biomass and Bioenergy*, June 2021.
- [158] X. LIU, W. MENG, S. CHENG, B. XING, Y. ZHENG, X. REN, M. XUE, C. ZHANG e H. XIA, "Utilization of camellia oleifera shell for production of valuable products by pyrolysis," *Arabian Journal of Chemistry*, December 2022.
- [159] L. VICINI, A. SOUZA, F. MORALES e F. SOUZA, *Técnicas Multivariadas Exploratórias: teorias e Aplicações no Software Statistica*, Santa Maria: Editora UFSM, 2018.
- [160] M. FERREIRA, "Quimiometria III – Revisitando a análise exploratória dos dados multivariados," *Química Nova*, pp. 1251-1264, 06 Junho 2022.
- [161] H. GUIMARÃES e K. TANNOUS, "Lignina: origem e aproveitamento," em *Bioplásticos: biodegradáveis & biobased - definições, fontes e aplicações*, Campinas/ SP, Editora da Unicamp, 2016, p. 255.
- [162] K. HOLZENKAMP, W. LINK e C. MÖLLERS, "Effect of a low seed lignin content on seed yield and quality in winter oilseed rape (*Brassica napus*)," *Plant breeding*, pp. 801-806, 28 September 2022.
- [163] H. ZHENG, Z. WANG, T. YANG, W. YAO, S. CAI, X. LI, C. LIU e E. YANG, "Investigation on pyrolysis mechanism of palm olein and the effect of moisture on its pyrolysis," *Journal of Molecular Liquids*, pp. 116824-116833, 26 June 2021.
- [164] H. ZHENG, X. LI, Y. FENG, H. YANG e W. LV, "Investigation on micro-mechanism of palm oil as natural ester insulating oil for overheating thermal fault analysis of transformers," *Higt Voltage*, 17 December 2021.
- [165] H. KAISER, "The varimax criterion for analytic rotation in factor analysis," *Psychometrika*, pp. 187-200, September 1958.

- [166] J. PALHARES, "Uso da cama de frango na produção de biogás," *EMBRAPA*, p. 12, Dezembro 2004.
- [167] A. BRIDGWATER, "Biomass fast pyrolysis," *Thermal Science*, pp. 21-49, 2004.
- [168] O. PEZOTI, A. CAZETTA, K. BEDIN, L. SOUZA, A. MARTINS, S. T. S. J. O. J. VISENTAINER e V. ALMEIDA, "NaOH-activated carbon of high surface area produced from guava seeds as a high-efficiency adsorbent for amoxicillin removal: Kinetic, isotherm and thermodynamic studies," *Chemical Engineering Journal*, pp. 778-788, 15 march 2016.
- [169] P. MELO, M. SELANI, R. GONÇALVES, J. PAULINO, A. MASSARIOLI e S. ALENCAR, "Açaí seeds: An unexplored agro-industrial residue as a potential source of lipids, fibers, and antioxidant phenolic compounds," *Industrial Crops & Products*, 24 march 2021.
- [170] Q. LIU, N. LABBÉ, S. ADHIKARI, S. CHMELY e N. ABDOULMOUMINE, "Hot water extraction as a pretreatment for reducing syngas inorganics impurities – A parametric investigation on switchgrass and loblolly pine bark," *Fuel*, pp. 177-184, 15 may 2018.
- [171] K. COHEN e M. JACKIX, Características químicas e física da gordura de cupuaçu e da manteiga de cacau, Planaltina/ DF: Embrapa Cerrado, 2009.
- [172] J. BARBIERI e F. LEIMANN, "Extração de Óleo da Semente do Maracujá e Microencapsulação em Poli(ϵ -Caprolactona)," *Revista Brasileira de Pesquisa em Alimentos*, pp. 1-9, 18 Novembro 2014.
- [173] S. WANG, Z. GUO, Q. CAI e L. GUO, "Catalytic conversion of carboxylic acids in bio-oil for liquid hydrocarbons production," *Biomass and Bioenergy*, pp. 138-143, 19 june 2012.
- [174] A. SRIVASTAVA e R. PRASAD, "Tryglicerides-based diesel fuels," *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, pp. 111-133, 2000.

- [175] T. SUN, L. ZAIFENG, Z. ZHANG, Z. WANG, S. YANG, Y. YANG, X. WANG, S. LIU, Q. ZHANG e T. LEI, "Fast corn stalk pyrolysis and the influence of catalysts on product distribution," *Bioresource Technology*, pp. 1-9, April 2020.
- [176] P. MÄKI-ARVELA, M. MATÍNEZ-KLIMOV e D. MURZIN, "Hydroconversion of fatty acids and vegetable oils for production of jet fuels," *Fuel*, 15 December 2021.
- [177] I. TORRI, V. PAASIKALLIO, C. FACCINI, R. HUFF, E. CARAMÃO, V. SACON, A. OASMAA e C. ZINI, "Bio-oil production of softwood and hardwood forest industry residues through fast and intermediate pyrolysis and its chromatographic characterization," *Bioresource Technology*, pp. 680-690, 2016.
- [178] C. GUEDES, D. ADÃO, T. QUESSADA, D. BORSATO, O. GALÃO, E. MAURO, J. PÉREZ e J. ROCHA, "Avaliação de biocombustível derivado do bio-óleo obtido por pirólise rápida de biomassa lignocelulósica como aditivo para gasolina," *Química Nova*, pp. 781-786, 26 março 2010.
- [179] M. AL-MAARI, M. AHMAD, A. DIN, H. HASSAN e A. ALSOBAAI, "Co-pyrolysis of oil palm empty fruit bunch and oil palm frond with low-density polyethylene and polypropylene for bio-oil production," *Arabian Journal of Chemistry*, 20 June 2021.
- [180] J. CAO, X. XIAO, S. ZHANG, X. ZHAO, K. SATO, Y. OGAWA, X. WEI e T. TAKARADA, "Preparation and characterization of bio-oils from internally circulating fluidized-bed pyrolyses of municipal, livestock, and wood waste," *Bioresource Technology*, pp. 2009-2015, January 2011.
- [181] T. OLIVEIRA, C. CARDOSO e C. ATAÍDE, "Fast pyrolysis of soybean hulls: analysis of bio-oil produced in a fluidized bed reactor and of vapor obtained in analytical pyrolysis," *J. Therm. Anal. Calorim*, pp. 427-438, 17 March 2015.

- [182] F. ATES, H. BÜYÜKTUNCER, B. YASAR, A. ISIK, G. BIRICIK e A. KOPARAL, "Comparison of non-catalytic and catalytic fast pyrolysis of pomegranate and grape marcs under vacuum and inert atmospheres," *Fuel*, November 2019.
- [183] K. THINES, E. ABDULLAH, N. MUBARAK e M. RUTHIRAAN, "Synthesis of magnetic biochar from agricultural waste biomass to enhancing route for waste water and polymer application: A review," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, pp. 257-276, January 2017.
- [184] L. FERREIRA, R. OTTO, F. SILVA, S. SOUZA, S. SOUZA e O. ANDO JÚNIOR, "Review of the energy potential of the residual biomass for the distributed generation in Brazil," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, pp. 440-455, October 2018.
- [185] H. WHITY, K. LOUBAR, S. AWAD e M. TAZEROUT, "Pyrolytic oil production by catalytic pyrolysis of refuse-derived fuels: Investigation of low cost catalysts," *Fuel Processing Technology*, pp. 32-38, 2015.
- [186] N. LERKKASEMSAN, "Fuzzy logic-based predictive model for biomass pyrolysis," *Applied Energy*, pp. 1019-30, 1 January 2017.
- [187] J. PETERS, S. BANKS, A. BRIDGWATER e J. DUFOUR, "A kinetic reaction model for biomass pyrolysis processes in Aspen Plus," *Applied Energy*, pp. 595-603, February 2017.
- [188] G. YILDIZ, F. RONSEE, R. VENDERBOSCH, R. DUREN, S. KERSTEN e W. PRINS, "Effect of biomass ash in catalytic fast pyrolysis of pine wood," *Applied Catalysis B: Environmental*, pp. 203-211, June 2015.
- [189] Q. ZHANG, J. CHANG, T. WHANG e Y. XU, "Review of biomass pyrolysis oil properties and upgrading research," *Energy Conversion and Management*, pp. 87-92, January 2007.
- [190] J. M. RUSSELL, U. R. GRACIDA-ALVAREZ, O. WINJOB e D. R. SHONNARD, "Effect of Temperature and Vapor Residence Time on the Micropyrolysis

- Products of Waste High Density Polyethylene,” *Industrial & Engineering Chemistry Research*, pp. 10716-10719, 2020.
- [191] PERKINELMER, “<https://resources.perkinelmer.com>,” perkinelmer, 2010. [Online]. Available: https://resources.perkinelmer.com/corporate/cmsresources/images/44-74556gde_tgabeginnersguide.pdf. [Acesso em 18 janeiro 2023].
- [192] G. S. M. C. C. d. .. M. L. M. M. P. L. F. V. MATTAR, “Accumulation and exportation of nutrients by yellow Passion fruit cv,” *Revista Brasileira De Fruticultura*, pp. 1-10, 2018.
- [193] I. VIÉGAS, M. BATISTAS, D. FRAZÃO, J. CARVALHO e J. SILVA, “Avaliação dos teores de N, P, K, Ca, Mg e S em plantas de graviola cultivadas em solução nutritiva com omissão de macronutrientes,” *Revista de Ciências Agrárias*, pp. 17-28, 2002.
- [194] M. MELZER, J. BLIN, A. BENSACKHRIA, J. VALETTE e F. BROUST, “Pyrolysis of extractive rich agroindustrial residues,” *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, pp. 448-460, 2013.
- [195] BRASIL, “Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos,” 2 Agosto 2010. [Online]. Available: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm. [Acesso em 11 Junho 2023].
- [196] SEBRAE, “O que são resíduos (e o que fazer com eles),” 04 Agosto 2022. [Online]. Available: <https://sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/artigos/o-que-sao-residuos-e-o-que-fazer-com-eles,ca5a438af1c92410VgnVCM100000b272010aRCRD>. [Acesso em 11 Junho 2023].
- [197] S. MOUSAVI-AVVAL e A. SHAH, “Techno-economic analysis of hydroprocessed renewable jet fuel production from pennycress oilseed,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, pp. 1-12, 23 June 2021.

- [198] B. WEI, J. JIANG, C. GAO, L. ZHANG, Y. ZHAN, S. JIANG, Y. LI, S. SUN, J. XIE e X. FAN, "Revealing channel controlled nutrient release mechanism of bio-oil polymer coated controlled-release fertilizer," *Industrial Crops & Products*, pp. 1-9, 3 October 2021.
- [199] A. JESUS, "Resíduos de açaí, seus efeitos na emergência de plântulas e produção de mudas em meio aquapônico," Belém/ PA, 2022.
- [200] I. SANTOS, A. RODRIGUES, E. AMANTE e L. SILVA, "Soursop (Annona muricata) properties and perspectives for integral valorization," *Foods*, pp. 1-20, 29 March 2023.
- [201] L. STAUB, T. SOUZA e A. TON, "Manejos para reutilização da cama aviária," *Scientific Electronic Archives*, pp. 163-176, October 2017.
- [202] G. BARBALHO, B. MATOS, G. BRITO, T. MIRANDA, T. SILVA, F. SODRÉ, G. GELFUSO, M. FILHO, J. CARVALHO, J. SILVA e T. GRATIERI, "Skin Regenerative Potential of Cupuaçu Seed Extract (Theobroma grandiflorum), a Native Fruit from the Amazon: Development of a Topical Formulation Based on Chitosan-Coated Nanocapsules," *Pharmaceutics*, pp. 1-16, 16 January 2022.
- [203] M. VIEIRA, E. SOUZA, M. PAULA, R. NAVES e G. SILVA, "Mangabeira (Hancornia speciosa Gomes): uma frutífera promissora do Brasil," *Scientific Electronic Archives*, pp. 45-55, April 2017.
- [204] G. PROTZEK, W. MAGALHÃES, P. BITTENCOURT, S. CLARO NETO, R. VILLANOVA e E. AZEVEDO, "The influence of fiber size on the behavior of the araucaria pine nut shell/PU composite," *Polímeros*, pp. 1-9, 2019.
- [205] L. FONSECA, F. SILVA, N. BONA, F. STEFANELLO, C. BORGES, A. DIAS e E. ZAVARESE, "Aerogels from Native and Anionic Corn Starches Loaded with Pinhão (Araucaria angustifolia) Coat Extract: Anti-Tumor Activity in C6 Rat Glioma Cells and In Vitro Digestibility," *Starch - Stärke*, pp. 1-8, 3 July 2020.

- [206] V. ALVES, “Caracterização física, química, antinutricional e tecnológica de coprodutos de frutos da Amazônia Legal,” Palmas/ TO, 2020.
- [207] H. MERDUN, I. SEZGİN e B. GÜZELÇİFTÇİ, “Evaluation of bio-oil compounds of catalytic fast pyrolysis by multivariate analysis,” *Pamukkale Univ Muh Bilim Derg*, pp. 297-303, 2019.
- [208] C. R. CARDOSO e C. H. ATAÍDE, “Micropyrolysis of Tobacco Powder at 500°C: Influence of ZnCl₂ and MgCl₂ Contents on the Generation of Products,” *Chemical Engineering Communications*, pp. 484-492, 2015.
- [209] A. AMALIA, F. FIBRIANA, T. WIDIATNINGRUM e R. HARDIANTI, “Bioconversion and valorization of cassava-based industrial wastes to bioethanol gel and its potential application as a clean cooking fuel,” *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, pp. 1-8, 8 July 2021.
- [210] C. FLÓREZ-MONTES, A. ROJAS-GONZÁLEZ e S. RODRÍGUEZ- BARONA,, “Bromatological characterization of fruit waste,” *Revista Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, pp. 84-96, 2022.
- [211] M. PEREIRA, L. VARANDA, G. NAKASHIMA, A. HANSTED, D. SILVA, J. TOMELERI, G. BELINI e F. YAMAJI, “Caracterização da Biomassa de Cama de Frango para Fabricação de Biochar,” *Rev. Virtual Quim.*, pp. 1-14, 2 Setembro 2019.
- [212] O. SANAHUJA-PAREJO, A. VESES, M. NAVARRO, J. LÓPEZ, R. MURILLO, M. CALLÉN e T. GARCÍA, “Drop-in biofuels from the co-pyrolysis of grape seeds and polystyrene,” *Chemical Engineering Journal*, pp. 1-12, 2019.
- [213] L. QIN, Y. WU, Z. HOU e E. JIANG, “Influence of biomass components, temperature and pressure on the pyrolysis behavior and biochar properties of pine nut shells,” *Bioresource Technology*, pp. 1-9, 17 June 2020.
- [214] J. COSTA, A. BARBOSA, M. MELO, D. MELO, R. MEDEIROS e R. BRAGA, “Renewable aromatics through catalytic pyrolysis of coconut fiber (Cocos

- nucífera Linn.) using low cost HZSM-5,” *Renewable Energy*, pp. 439-446, 28 March 2022.
- [215] J. SOUZA, J. ROCHA, C. CARTAXO, M. VASCONCELOS, V. ÁLVARES, M. NASCIMENTO, R. YOMURA e S. KAEFER, “Monitoring and Optimization of Cupuaçu Seed Fermentation, Drying and Storage Processes,” *Microorganisms*, pp. 1-33, 28 August 2020.
- [216] L. REIS, E. FACCO, M. SALVADOR, S. FLÔRES e A. RIOS, “Antioxidant potential and physicochemical characterization of yellow, purple and orange passion fruit,” *J Food Sci Technol*, p. 2679–2691, July 2018.
- [217] R. SINGH, U. JENA, J. PATEL e A. SHARMA, “Feasibility study of cashew nut shells as an open core gasifier feedstock,” *Renewable Energy*, p. 481–487, 2006.
- [218] D. SANTOS, E. FURLANI JR, M. RAMOS, E. CARDOSO e A. REIS, “Parâmetros bioquímicos da semente de café (*Coffea arabica*, L.) em função da adubação nitrogenada,” em *Inovação em ciência e tecnologia de alimentos 2*, Ponta Grossa/ PR, Atenas, 2019, p. 322.
- [219] R. HILTEN e K. DAS, “Comparison of three accelerated aging procedures to assess bio-oil stability,” *Fuel*, p. 2741–2749, 26 March 2010.
- [220] S. PAWAR, J. HOLE, M. BANKAR, S. KHAN e S. WANKHADE, “Use of fatty acid chemical composition for predicting higher calorific value of biodiesel,” *Materials Today: Proceedings*, pp. 1-10, 13 February 2023.
- [221] B. HAMES, C. SCARLATA e A. SLUITER, Determination of Protein Content in Biomass Laboratory Analytical Procedure (LAP), Colorado/ USA: Golden, 2008.
- [222] L. LENG, L. YANG, J. CHEN, S. LENG, H. LI, H. LI, X. YUAN, W. ZHOU e H. HUANG, “A review on pyrolysis of protein-rich biomass: Nitrogen transformation,” *Bioresource Technology*, pp. 1-16, 9 July 2020.

- [223] P. NEIVA, “Capacidade térmica e poder calorífico de biomassa,” Universidade de Uberaba, Uberaba/ MG, 2018.
- [224] X. HU, C. MING, Q. LI, L. ZHANG e C. LI, “Polymerization of sugars/furan model compounds and bio-oil during the acid-catalyzed conversion – A review,” *Fuel Processing Technology*, pp. 1-24, 27 July 2021.
- [225] R. OLIVEIRA, “Avaliação da cama de frango na suplementação de novilhos e determinação do seu valor nutritivo em ovinos,” Universidade Federal de Viçosa, Viçosa/ MG, 2001.
- [226] P. RUIZ, W. NIJS, D. TARVYDAS, A. SGOBBI, A. ZUCKER, R. PILLI, R. JONSSON, A. CAMIA, C. THIEL, C. HOYER-KLICK, F. DALLA LONGA, T. KOBER, J. BADGER, P. VOLKER, B. ELBERSEN, A. BROROWSKI e D. THRAN, “ENSPRESO - an open, EU-28 wide, transparent and coherent database of wind, solar and biomass energy potentials,” *Energy Strategy Reviews*, pp. 1-12, 13 September 2019.
- [227] G. SLUSARZ, B. GOLEBIEWSKA, M. CIERPIAL-WOLAN, J. GOLEBIEWSKI, D. TWARÓG e S. WÓJCIK, “Regional Diversification of Potential, Production and Efficiency of Use of Biogas and Biomass in Poland,” *Energies*, pp. 1-20, 31 January 2021.
- [228] L. CARDOSO, M. BITTENCOURT, W. LITT e E. IRWIN, “Biofuels policies and fuel demand elasticities in Brazil,” *Energy Policy*, pp. 296-305, 15 January 2019.
- [229] P. KANAUIA, Y. SHARMA, M. GARG, D. TRIPATHI e R. SINGH, “Review of analytical strategies in the production and upgrading of bio-oils derived from lignocellulosic biomass,” *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, pp. 55-74, 2014.
- [230] D. BISPO, “Avaliação dos pré-tratamentos por ultrassom e micro-ondas na obtenção de bio-óleo rico em fenóis,” São Cristóvão/ SE, 2023.
- [231] X. ZHAO, H. ZHOU, V. SIKARWAR, M. ZHAO, A. PARK, .. FENNELL, L. SHEN e L. FAN, “Biomass-based chemical looping technologies: the good, the bad

- and the future,” *Energy and Environmental Science*, pp. 1885-1910, 19 May 2017.
- [232] S. KAWAKAMI, M. MORINAGA, S. TSUKAMOTO-SEN, S. MORI, Y. MATSUI e T. KAWAMA, “Constituent Characteristics and Functional Properties of Passion Fruit Seed Extract,” *Life*, pp. 1-15, 2022.
- [233] D. PERONDI, P. POLLETO, D. RESTELATTO, C. MANERA, J. SILVA, J. JUNGES, G. COLLAZO, A. DETTMER, M. GODINHO e A. VILELA, “Steam gasification of poultry litter biochar for bio-syngas production,” *Process Safety and Environmental Protection*, pp. 478-488, 4 May 2017.
- [234] X. YU, Y. SHAO e L. QIN, “Pyrolysis and ex-situ vapor upgrading of pine nut shells over Ni- and Co-modified HZSM-5 catalysts to high-quality bio-oil and syngas,” *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, pp. 1-9, 7 August 2023.
- [235] A. BIENIEK, W. JERZAK, M. GAJEK e A. MAGDZIRZ, “Numerical investigations of biomass pyrolysis with partial oxidation in a drop tube reactor,” *Journal of Cleaner Production*, pp. 1-14, 14 March 2023.
- [236] P. ALAMAR, “Caracterização do perfil de fibras em resíduos agroindustriais amazônicos e de sua capacidade de adsorção seletiva,” Belém/ PA, 2012.
- [237] L. QUEIROZ, L. SOUZA, K. THOMAZ, E. LIMA, G. ROCHA FILHO, L. NASCIMENTO, L. PIRES, K. FAIAL e C. COSTA, “Activated carbon obtained from amazonian biomass tailings (acai seed): Modification, characterization, and use for removal of metal ions from water,” *Journal of Environmental Management*, pp. 1-8, 16 June 2020.
- [238] S. VERAS, I. RIBEIRO e J. PACHECO FILHO, “Micropirólise rápida do lodo de esgoto anaeróbio da ETE Mangueira (Recife - PE),” *Braz. Ap. Sci. Rev.*, pp. 789-804, 04 Maio 2020.

- [239] E. UDEMBA e M. TOSUN, "Energy transition and diversification: A pathway to achieve sustainable development goals (SDGs) in Brazil," *Energy*, pp. 1-9, 2022.
- [240] CÂMARA DOS DEPUTADOS, "Meio ambiente e energia," 12 julho 2021. [Online]. Available: <https://www.camara.leg.br/noticias/784354-relatorio-aponta-que-o-brasil-nao-avancou-em-nenhuma-das-169-metas-de-desenvolvimento-sustentavel-da-onu/>. [Acesso em 30 Setembro 2023].
- [241] M. JÁCOME, J. JÁCOME, C. PADILHA, M. ARRAIS, F. SOUSA JR, C. PEREIRA e E. SANTOS, "Mangaba Residue (*Hancorniaspeciosa* GOMES) Potentially used for Producing Antioxidants and Lignocellulosic Enzymes," *Biosciences Biotechnology Research Asia*, pp. 41-53, March 2019.
- [242] C. COLLINS, G. BRAGA e P. BONATO, "Fundamentos de Cromatografia," em *Cromatografia Gasosa*, Campinas/ SP, UNICAMP, 2014, p. 204.
- [243] T. BROW, H. LEMAY Jr, B. BURSTEN e J. BURDGE, *Química, a ciência central*, São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2005.
- [244] R. OLIVEIRA, *Rede neurais artificiais na solução de problemas inversos em engenharia - estudo de caso*, Iguatu/ CE: Quipá Editora, 2024.
- [245] D. MILJKOVIĆ, "Brief Review of Self-Organizing Maps," *MIPRO*, pp. 1252-1257, 13 July 2017.
- [246] A. AHMED, N. HARUN, S. WAQAS, U. ARSHAD e S. GHALIB, "Optimization of Operational Parameters Using Artificial Neural Network and Support Vector Machine for Bio-oil Extracted from Rice Husk," *ACS Omega*, pp. 26540-26548, 3 June 2024.
- [247] H. NGUYEN, Y. WANG, D. MOGLIA, J. FU, W. ZHENG, M. ORAZOV e D. VLACHOS, "Production of renewable oleo-furan surfactants by cross-ketonization of biomass-derived furoic acid and fatty acids," *Catal. Sci. Technol.*, pp. 2762-2769, 2021.

- [248] X. YUE e Y. QUENEAU, "5-Hydroxymethylfurfural and Furfural Chemistry Toward Biobased Surfactants," *ChemSusChem*, pp. 1-13, 2022.
- [249] R. DUTRA, E. REIS, C. REIS, P. FIDÊNCIO, C. REIS e O. DAMASCENO, "Análise espacial e temporal de dados físicos e químicos de águas superficiais, por mapas auto organizáveis (SOM)," *Brazilian Journal of Development*, 13 Junho 2021.
- [250] A. NOWAK-BRZEZINSKA e C. HORYN, "Self-Organizing Map algorithm as a tool for outlier detection," *Procedia Computer Science*, pp. 2162-2171, 2022.
- [251] S. HAYKIN, *Neural Networks and Learning Machines*, Prentice Hall/Pearson, 2009.

Apêndices

Apêndice A: Tabelas de compostos identificados qualitativamente por GC-MS nas amostras de bio-óleo

Tabela A1: Compostos identificados no bio-óleo de lignina

COMPOSTO	RI*	ÁREA (u,a,**)	ÁREA (%)	CLASSE
FENOL	975	730860	9,83	FENOL
FENOL, 2-METIL-	1052	206839	2,78	FENOL
FENOL, 4-METIL-	1072	649884	8,74	FENOL
FENOL, 2-METOXI-	1094	1180555	15,88	FENOL
FENOL, 2,5-DIMETIL-	1148	106889	1,44	FENOL
GUAIACOL, 6-METIL-	1183	34180	0,46	FENOL
2-CICLOPENTEN-1-ONA, 2-ETIL-3,5-DIMETIL-	1191	30750	0,41	CETONA
1,2-BENZENODIOL	1198	3833093	51,55	FENOL
1,2-BENZENODIOL, 4-METIL-	1291	662664	8,91	FENOL

*RI: Índice de retenção; **u,a,: unidade de área

Tabela A2: Compostos identificados no bio-óleo de celulose

COMPOSTO	RI	ÁREA (u,a,)	ÁREA (%)	CLASSE
FURFURAL	863	5203142	10,40	ALDEÍDO
2-FURILMETANOL	874	3800305	7,60	ÁLCOOL
2-HEXANONA, 3-METIL-	876	1075555	2,15	CETONA
1,2-ETANODIOL, DIACETATO	880	810003	1,62	ÉSTER
2(5H)-FURANONA, 5-METIL-	888	349734	0,70	ÉSTER
2-CICLOPENTEN-1-ONA, 2-METIL-	920	671193	1,34	CETONA

2(5H)-FURANONA	924	2902201	5,80	ÉSTER
1,2-CICLOOCTANEDIONA	933	6002804	12,00	CETONA
2-BUTANONA, 3,3-DIMETIL-	964	565581	1,13	CETONA
2-FURANCARBOXALDEÍDO, 5-METIL-	974	1283897	2,57	ALDEÍDO
2-CICLOPENTEN-1-ONA, 3-METIL-	978	718810	1,44	CETONA
FENOL	985	323086	0,65	FENOL
2(5H)-FURANONA, 3-METIL-5-METILENO-	988	498196	1,00	ÉSTER
2(5H)-FURANONA, 3-METIL-	991	578384	1,16	ÉSTER
2-CICLOPENTEN-1-ONA, 2-HIDROXI-3-METIL-	1037	3984910	7,97	CETONA
4-METIL-5H-FURAN-2-ONA	1055	857147	1,71	ÉSTER
3,5-DIMETIL CICLOPENTENOLONA	1065	722054	1,44	CETONA
FENOL, 2-METIL-	1082	455670	0,91	FENOL
2-FURALDEÍDO, 4,5-DIMETIL-	1087	700690	1,40	ALDEÍDO
3-ETILCICLOPENT-2-EN-1-ONA	1089	149482	0,30	CETONA
2-ÁCIDO FURANCARBOXÍLICO, METIL ÉSTER	1097	245541	0,49	ÉSTER
2,5-ANIDRO-1,6-DIDEOXYHEXO-3,4-DIULOSE	1099	500112	1,00	CETONA
PROPANE, 2-ISOCIANATO-	1106	1741536	3,48	NITROGENADO
(S)-(+)-2',3'-DIDEOXYRIBONOLACTONA	1136	163646	0,33	ÉSTER
1,4-DIOXASPIRO[2,4]HEPTAN-5-ONA, 7-METIL-	1160	1779556	3,56	ÉSTER
1,2-BENZENODIOL	1208	593314	1,19	FENOL
1,4:3,6-DIANIDRO-,ALFA,-D-GLUCOPIRANOSE	1221	1405000	2,81	CARBOIDRATO
3,4-ANIDRO-D-GALACTOSANO	1233	841119	1,68	CARBOIDRATO
2-FURANCARBOXALDEÍDO, 5-(HIDROXIMETIL)-	1236	3775506	7,55	ALDEÍDO
2,3-ANIDRO-D-MANNOSANO	1240	2296758	4,59	CARBOIDRATO
1,6-ANIDRO-,BETA,-D-GLUCOPIRANOSE (LEVOGLUCOSANO)	1489	2818476	5,64	CARBOIDRATO

C25	2525	351264	0,70	HIDROCARBONETO
C26	2626	779748	1,56	HIDROCARBONETO
C27	2726	1070544	2,14	HIDROCARBONETO

Tabela A3: Compostos identificados no bio-óleo da biomassa semente de acerola

COMPOSTO	RI	ÁREA (u.a.)	ÁREA (%)	CLASSE
FURFURAL	866	4140427	18,07	ALDEÍDO
2-FURILMETANOL	877	900668	3,93	ÁLCOOL
2-PROPANONA, 1-(ACETILOXILA)-	883	510764	2,23	CETONA
4-CICLOPENTENO-1,3-DIONA	903	220654	0,96	CETONA
2-CICLOPENTEN-1-ONA, 2-METIL-	923	113920	0,50	CETONA
1,2-CICLOOCTANEDIONA	936	770317	3,36	CETONA
2-BUTANONA, 3,3-DIMETIL-	967	63418	0,28	CETONA
2-FURANCARBOXALDEÍDO, 5-METIL-	977	907332	3,96	ALDEÍDO
2-CICLOPENTEN-1-ONA, 3-METIL-	981	389559	1,70	CETONA
FENOL	989	2339494	10,21	FENOL
2-CICLOPENTEN-1-ONA, 2-HIDROXI-3-METIL-	1039	993329	4,34	CETONA
FENOL, 2-METIL-	1064	726368	3,17	FENOL
2-HIDROXI-3,5-DIMETIL-2-CICLOPENTEN-1-ONA	1067	62729	0,27	CETONA
2-PIRROLIDINONA	1081	34360	0,15	NITROGENADO
FENOL, 3-METIL-	1084	2082997	9,09	FENOL
2-METILCICLOPENTENO-1-CARBOXALDEÍDO	1091	68327	0,30	ALDEÍDO
FENOL, 2-METOXI-	1106	1337384	5,84	FENOL
FENOL, 2,3-DIMETIL-	1159	353150	1,54	FENOL
FENOL, 2-ETIL-	1177	132194	0,58	FENOL

FENOL, 2-METOXI-4-METIL-	1209	720129	3,14	FENOL
1,4:3,6-DIANIDRO-,ALFA,-D-GLUCOPIRANOSE	1223	228540	1,00	CARBOIDRATO
2-METOXI-4-VINILFENOL	1331	982040	4,29	FENOL
FENOL, 2,6-DIMETOXI-	1366	710552	3,10	FENOL
TETRADECENO	1411	41860	0,18	HIDROCARBONETO
PENTADECANO	1514	54753	0,24	HIDROCARBONETO
HEPTADECANO	1716	36038	0,16	HIDROCARBONETO
ÁCIDO HEXADECANÓICO, 15-METIL-, METIL ÉSTER	1945	62765	0,27	ÉSTER
N-ÁCIDO HEXADECANÓICO	1979	1858430	8,11	ÁCIDO CARBOXÍLICO
ÁCIDO CIS-9-OCTADECENÓICO	2161	2071493	9,04	ÁCIDO CARBOXÍLICO

Tabela A4: Compostos identificados no bio-óleo da biomassa semente de maracujá

COMPOSTO	RI	ÁREA (u,a.)	ÁREA (%)	CLASSE
FURFURAL	867	1026178	0,42	ALDEÍDO
2-FURILMETANOL	877	1046212	0,43	ÁLCOOL
FENOL	991	2341495	0,95	FENOL
2-CICLOPENTEN-1-ONA, 2-HIDROXI-3-METIL-	1040	1579289	0,64	CETONA
FENOL, 2-METIL-	1066	1174627	0,48	FENOL
ÁCIDO HEPTANÓICO	1080	1643972	0,67	ÁCIDO CARBOXÍLICO
FENOL, 4-METIL-	1087	3251386	1,32	FENOL
FENOL, 2-METOXI-	1107	14461898	5,88	FENOL
CICLOPENTENO, 1-PENTIL-	1142	840982	0,34	HIDROCARBONETO
1,4-CICLOHEXADIENO, 1-METIL-	1167	461434	0,19	HIDROCARBONETO
BENZENO, PENTIL-	1175	526803	0,21	HIDROCARBONETO
ÁCIDO OCTANÓICO	1179	1328446	0,54	ÁCIDO CARBOXÍLICO

1-DODECENO	1205	808172	0,33	HIDROCARBONETO
FENOL, 2-METOXI-4-METIL-	1210	13450235	5,46	FENOL
1,2-BENZENODIOL	1215	4763656	1,94	FENOL
2,3-ANIDRO-D-MANNOSANO	1244	704335	0,29	CARBOIDRATO
FENOL, 4-ETIL-2-METOXI-	1297	7376812	3,00	FENOL
1,2-BENZENODIOL, 3-METIL-	1307	1738601	0,71	FENOL
2-METOXI-4-VINILFENOL	1332	2509192	1,02	FENOL
FENOL, 2-METOXI-4-PROPIL-	1386	1558503	0,63	FENOL
TETRADECENO	1406	900577	0,37	HIDROCARBONETO
FENOL, 2-METOXI-4-(2-PROPENIL)-	1426	1356239	0,55	FENOL
FENOL, 2-METOXI-4-(2-PROPENIL)- ACETATO	1470	7183737	2,92	ÉSTER
,BETA,-D-GLUCOPIRANOSE, 1,6-ANIDRO-	1493	2391976	0,97	CARBOIDRATO
7-TETRADECINO	1501	942631	0,38	HIDROCARBONETO
PENTADECANO	1516	2273069	0,92	HIDROCARBONETO
2-PROPANONA, (4-HIDROXI-3-METOXIFENIL)-	1554	1065193	0,43	FENOL
1-HEXADECENO	1609	568413	0,23	HIDROCARBONETO
8-HEXADECINO	1690	3195465	1,30	HIDROCARBONETO
1-HEPTADECENO	1696	1987358	0,81	HIDROCARBONETO
(R)-(-)-(Z)-14-METIL-8-HEXADECEN-1-OL	1701	1882046	0,76	ÁLCOOL
HEPTADECANO	1718	1010690	0,41	HIDROCARBONETO
(Z)6,(Z)9-PENTADECADIEN-1-OL	1784	447345	0,18	ÁLCOOL
OXIRANO, HEXADECILA-	1924	1128644	0,46	F.O.
METIL 14-METILPENTADECANOATO	1948	504544	0,21	ÉSTER
N-ÁCIDO HEXADECANÓICO	1985	41818124	16,99	ÁCIDO CARBOXÍLICO
9,12-ÁCIDO OCTADECADIENÓICO, METIL ÉSTER	2122	1692158	0,69	ÉSTER
9-ÁCIDO OCTADECENÓICO (Z)-, METIL ÉSTER	2128	1261177	0,51	ÉSTER

ÁCIDO HEPTADECANÓICO, 16-METIL-, METIL ÉSTER	2152	1319703	0,54	ÉSTER
9,12-ÁCIDO OCTADECADIENÓICO (Z,Z)-	2165	31730962	12,89	ÁCIDO CARBOXÍLICO
ÁCIDO CIS-9-OCTADECENÓICO	2169	42554250	17,29	ÁCIDO CARBOXÍLICO
ÁCIDO OCTADECANÓICO	2189	13116178	5,33	ÁCIDO CARBOXÍLICO
OCTADECANAMIDA	2211	7976012	3,24	NITROGENADO
14-METIL-8-HEXADECIN-1-OL	2285	2152621	0,87	ÁLCOOL
CIS-11,14-ÁCIDO EICOSADIENÓICO, METIL ÉSTER	2289	2402621	0,98	ÉSTER
ÁCIDO OCTADECANÓICO, 2-PROPENIL ÉSTER	2303	2501655	1,02	ÉSTER
9-OCTADECENAMIDA	2396	1932605	0,79	NITROGENADO
BICICLO[10,1,0]TRIDEC-1-ENO	2508	3096557	1,26	HIDROCARBONETO
ETANOL, 2-(9,12-OCTADECADIENILOXI)-, (Z,Z)	2582	580400	0,24	F.O.
SQUALENO	2869	2552601	1,04	HIDROCARBONETO

Tabela A5: Compostos identificados no bio-óleo da biomassa semente de goiaba

COMPOSTO	RI	ÁREA (u,a.)	ÁREA (%)	CLASSE
2-FURILMETANOL	876	877359	0,85	ÁLCOOL
2-PROPANONA, 1-(ACETILOXILA)-	883	726349	0,70	ÉSTER
BENZENO, ETIL-	888	201389	0,19	HIDROCARBONETO
2-CICLOPENTEN-1-ONA, 3-METIL-	981	198314	0,19	CETONA
FENOL	989	1906229	1,84	FENOL
NONANO, 3,7-DIMETIL-	1011	402296	0,39	HIDROCARBONETO
2-CICLOPENTEN-1-ONA, 2-HIDROXI-3-METIL-	1039	1298396	1,25	CETONA
FENOL, 2-METIL-	1063	749391	0,72	FENOL
BENZENO, BUTIL-	1072	448559	0,43	HIDROCARBONETO
ÁCIDO HEPTANÓICO	1077	720267	0,69	ÁCIDO CARBOXÍLICO

FENOL, 4-METIL-	1084	3326722	3,21	FENOL
2-METOXIFENOL	1105	3779417	3,64	FENOL
DECANO, 3,4-DIMETIL-	1111	374827	0,36	HIDROCARBONETO
CICLOPENTENO, 1-PENTIL-	1140	486323	0,47	HIDROCARBONETO
FENOL, 2,3-DIMETIL-	1159	324110	0,31	FENOL
1,4-CICLOHEXADIENO, 1-METIL-	1165	472554	0,46	HIDROCARBONETO
BENZENO, PENTIL-	1173	814357	0,78	HIDROCARBONETO
FENOL, 2-METOXI-4-METIL-	1208	3090388	2,98	FENOL
FENOL, 4-ETIL-2-METOXI-	1295	1567219	1,51	FENOL
2-METOXI-4-VINILFENOL	1330	2131813	2,05	FENOL
FENOL, 2,6-DIMETOXI-	1365	1824690	1,76	FENOL
3-METIL-2,4-DIOXASPIRO[5,5]UNDECA-8,10-DIENO	1378	200275	0,19	F.O.
TETRADECENO	1404	350092	0,34	HIDROCARBONETO
FENOL, 2-METOXI-4-(2-PROPENIL)- ACETATO	1467	1609422	1,55	ÉSTER
7-TETRADECINO	1499	370272	0,36	HIDROCARBONETO
PENTADECANO	1514	780835	0,75	HIDROCARBONETO
2-PROPANONA, (4-HIDROXI-3-METOXIFENIL)-	1552	246033	0,24	CETONA
8-HEXADECINO	1687	1656511	1,60	HIDROCARBONETO
1-HEPTADECENO	1695	675051	0,65	HIDROCARBONETO
HEPTADECANO	1715	631509	0,61	HIDROCARBONETO
ÁCIDO HEXADECANÓICO, 15-METIL-, METIL ÉSTER	1945	335218	0,32	ÉSTER
ÁCIDO HEXADECANÓICO	1980	10990070	10,59	ÁCIDO CARBOXÍLICO
9,12-ÁCIDO OCTADECADIENÓICO (Z,Z)-, METIL ÉSTER	2118	959989	0,93	ÉSTER
ÁCIDO HEPTADECANÓICO, 16-METIL-, METIL ÉSTER	2148	599532	0,58	ÉSTER
9,12-ÁCIDO OCTADECADIENÓICO (Z,Z)-	2159	18096783	17,44	ÁCIDO CARBOXÍLICO
CYCLOPENTADECANONA, 2-HIDROXI-	2163	17939267	17,29	CETONA

ÁCIDO CIS-9-OCTADECENÓICO	2170	13356641	12,87	ÁCIDO CARBOXÍLICO
ÁCIDO OCTADECANÓICO	2184	7681928	7,40	ÁCIDO CARBOXÍLICO
9-OCTADECENAMIDA	2392	385686	0,37	NITROGENADO
6,9-ÁCIDO OCTADECADIENÓICO, METIL ÉSTER	2453	1163935	1,12	ÉSTER

Tabela A6: Compostos identificados no bio-óleo da biomassa semente de uva

COMPOSTO	RI	ÁREA (u,a,)	ÁREA (%)	CLASSE
FURFURAL	867	2607477	0,91	ALDEÍDO
2-FURILMETANOL	878	1533830	0,54	ÁLCOOL
2-PROPANONA, 1-(ACETILOXILA)-	884	1001296	0,35	CETONA
2-CICLOPENTEN-1-ONA, 3-METIL-	982	591310	0,21	CETONA
FENOL	992	4210587	1,47	FENOL
2-CICLOPENTEN-1-ONA, 2-HIDROXI-3-METIL-	1040	1705283	0,60	CETONA
FENOL, 2-METIL-	1066	1836200	0,64	FENOL
ÁCIDO HEPTANÓICO	1081	1582059	0,55	ÁCIDO CARBOXÍLICO
FENOL, 4-METIL-	1087	5341207	1,87	FENOL
FENOL, 2-METOXI-	1107	22078094	7,73	FENOL
3-PIRIDINOL	1113	594267	0,21	NITROGENADO
ÁCIDO OCTANÓICO	1179	943135	0,33	ÁCIDO CARBOXÍLICO
FENOL, 2,4-DIMETIL-	1182	798753	0,28	FENOL
FENOL, 2-METOXI-4-METIL-	1210	13481137	4,72	FENOL
1,2-BENZENODIOL	1215	14427603	5,05	FENOL
FENOL, 4-ETIL-2-METOXI-	1297	9017404	3,16	FENOL
1,2-BENZENODIOL, 4-METIL-	1307	3872173	1,36	FENOL
2-METOXI-4-VINILFENOL	1332	4620553	1,62	FENOL

FENOL, 2-METOXI-4-PROPIL-	1386	2497978	0,87	FENOL
FENOL, 2-METOXI-4-(2-PROPENIL)- ACETATO	1470	7555217	2,65	ÉSTER
PENTADECANO	1516	1305430	0,46	HIDROCARBONETO
2-PROPANONA, 1-(4-HIDROXI-3-METOXIFENIL)-	1554	1736122	0,61	FENOL
8-HEXADECINO	1690	3520462	1,23	HIDROCARBONETO
1-HEPTADECENO	1696	2407434	0,84	HIDROCARBONETO
(R)-(-)-(Z)-14-METIL-8-HEXADECEN-1-OL	1701	2038566	0,71	ÁLCOOL
HEPTADECANO	1718	1275332	0,45	HIDROCARBONETO
METIL 14-METILPENTADECANOATO	1948	1745410	0,61	ÉSTER
N-ÁCIDO HEXADECANÓICO	1985	31140492	10,91	ÁCIDO CARBOXÍLICO
ÁCIDO HEXADECANÓICO, ETIL ÉSTER	2016	1417510	0,50	ÉSTER
9,12-ÁCIDO OCTADECADIENÓICO (Z,Z)-, METIL ÉSTER	2122	3535472	1,24	ÉSTER
9-ÁCIDO OCTADECENÓICO (Z)-, METIL ÉSTER	2128	3824534	1,34	ÉSTER
ÁCIDO HEPTADECANÓICO, METIL ÉSTER	2152	1546025	0,54	ÉSTER
9,12-ÁCIDO OCTADECADIENÓICO (Z,Z)-	2167	58723036	20,57	ÁCIDO CARBOXÍLICO
ÁCIDO CIS-9-OCTADECENÓICO	2171	48007765	16,81	ÁCIDO CARBOXÍLICO
ÁCIDO OCTADECANÓICO	2188	5116207	1,79	ÁCIDO CARBOXÍLICO
OCTADECAMIDA	2211	11732162	4,11	NITROGENADO
ÁCIDO OCTADECANÓICO, 2-PROPENIL ÉSTER	2303	2991265	1,05	ÉSTER
9-OCTADECENAMIDA	2397	2155655	0,75	NITROGENADO
SQUALENO	2869	1016495	0,36	HIDROCARBONETO

Tabela A7: Compostos identificados no bio-óleo da biomassa casca de amendoim

COMPOSTO	RI	ÁREA (u,a,)	ÁREA (%)	CLASSE
2-FURANOCARBOXALDEÍDO	863	539829	4,49	ALDEÍDO
2-FURILMETANOL	874	226080	1,88	ÁLCOOL

1-BUTEN-1-OL, ACETATO	876	152133	1,27	ÉSTER
2-PROPANONA, 1-(ACETILOXILA)-	880	155303	1,29	ÉSTER
1,3-CICLOPENTADIENO, 5-ETENIL-5-METIL-	891	58601	0,49	HIDROCARBONETO
VINIL (2E)-2-BUTENOATO #	915	23376	0,19	ÉSTER
ÁCIDO BENZENOPROPANÓICO, 4-METIL-	919	42650	0,35	ÁCIDO CARBOXÍLICO
CICLOPENTANONA	924	275427	2,29	CETONA
2-CICLOPENTEN-1-ONA, 2-HIDROXI-	932	363289	3,02	CETONA
ACETONIL DECIL ÉTER	967	25761	0,21	F.O.
2-FURANOCARBOXALDEÍDO, 5-METIL-	974	22394	0,19	ALDEÍDO
1H-CICLOPROPA[B]NAFTALENO-2,7-DIONA,	978	47656	0,40	HIDROCARBONETO
FENOL	985	283328	2,36	FENOL
5-(3-METIL-2-BUTENIL)-4-METIL-2(5H)-FURANOONA	990	26986	0,22	ÉSTER
2-PROPEN-1-OL	999	25827	0,21	ÁLCOOL
2-CICLOPENTEN-1-ONA, 2-HIDROXI-3-METIL-	1036	387429	3,22	CETONA
FENOL, 2-METIL-	1061	142820	1,19	FENOL
FENOL, 3-METIL-	1082	326386	2,72	FENOL
2-METOXIFENOL	1103	2626009	21,85	FENOL
CICLOPROPILMETANOL	1106	577382	4,80	ÁLCOOL
2-CICLOPENTEN-1-ONA, 2-HIDROXI-3-ETIL	1130	52279	0,43	CETONA
FENOL, 3,4-DIMETIL-	1157	46625	0,39	FENOL
FENOL, 2,5-DIMETIL-	1158	47757	0,40	FENOL
6-OXABICICLO[3,2,1]OCT-2-ENO, 2,8,8-TRIMETIL-7-	1175	20309	0,17	HIDROCARBONETO
FENOL, 2,4-DIMETIL-	1177	57319	0,48	FENOL
GUAIACOL, 6-METIL-	1192	78203	0,65	FENOL
2(3H)-FURANOONA, 5-BUTILDIHIDRO-	1197	45679	0,38	ÉSTER
2-CICLOPENTEN-1-ONA, 2-ETIL-3,5-DIMETIL-	1200	30421	0,25	CETONA

2-METOXI-5-METILFENOL	1206	1492909	12,42	FENOL
1,2-BENZENODIOL	1208	33465	0,28	FENOL
2,3-DIHDRO-3,2'-BIS-FURANO	1221	43591	0,36	F.O.
1,5-HEPTADIEN-4-ONA, 3-HIDROXI-3-METIL-, (E)-	1240	13534	0,11	CETONA
FENOL, 4-ETIL-2-METOXI-	1293	743888	6,19	FENOL
2-METOXI-4-VINILFENOL	1328	1664536	13,85	FENOL
GUAIACOL, 4-PROPIL-	1381	97698	0,81	FENOL
FENOL, 2-METOXI-4-(1-PROPENIL)-, (E)-	1422	110978	0,92	FENOL
FENOL, 2-METOXI-4-(2-PROPENIL)-	1465	1078036	8,97	FENOL
FENOL, 5-[2-(3-HIDROXI-5-METOXIFENIL)ETIL]-2-METOXI-	2379	32595	0,27	FENOL

Tabela A8: Compostos identificados no bio-óleo da biomassa borra de café

COMPOSTO	RI	ÁREA (u,a.)	ÁREA (%)	CLASSE
1,4-DIMETILPIRAZOL	866	1685747	1,67	NITROGENADO
2-FURANOMETANOL	876	4617023	4,57	ÁLCOOL
1,2-ETANODIOL, DIACETATO	883	920962	0,91	ÉSTER
BENZENO, ETIL-	889	435822	0,43	HIDROCARBONETO
XILENO	894	400913	0,40	HIDROCARBONETO
2-CICLOPENTEN-1-ONA, 2-METIL-	922	323959	0,32	CETONA
1,2-CICLOOCTANEDIONA	936	2240579	2,22	CETONA
2-BUTANONA, 3,3-DIMETIL-	967	346454	0,34	CETONA
2-FURANOCARBOXALDEÍDO, 5-METIL-	977	494776	0,49	ALDEÍDO
2-CICLOPENTEN-1-ONA, 3-METIL-	981	502131	0,50	CETONA
FENOL	989	2438316	2,41	FENOL

1-DECENO	1003	737537	0,73	HIDROCARBONETO
DECANO	1011	754708	0,75	HIDROCARBONETO
2-CICLOPENTEN-1-ONA, 2-HIDROXI-3-METIL-	1039	2290174	2,27	CETONA
FENOL, 2-METIL-	1063	759469	0,75	FENOL
ÁCIDO HEPTANÓICO	1076	431921	0,43	ÁCIDO CARBOXÍLICO
FENOL, 4-METIL-	1084	1119716	1,11	FENOL
1-UNDECENO	1103	880281	0,87	HIDROCARBONETO
FENOL, 2-METOXI-	1105	361835	0,36	FENOL
CICLOPROPILMETANOL	1108	2018573	2,00	ÁLCOOL
UNDECANO	1110	1332293	1,32	HIDROCARBONETO
2-CICLOPENTEN-1-ONA, 3-ETIL-2-HIDROXI-	1132	714328	0,71	CETONA
BENZENO, PENTIL-	1173	380385	0,38	HIDROCARBONETO
ÁCIDO OCTANÓICO	1175	434217	0,43	ÁCIDO CARBOXÍLICO
1-DODECENO	1203	432879	0,43	HIDROCARBONETO
DODECANO	1211	584506	0,58	HIDROCARBONETO
1-TRIDECENO	1303	410941	0,41	HIDROCARBONETO
2-METOXI-4-VINILFENOL	1330	507896	0,50	FENOL
1-TETRADECENO	1404	803091	0,79	HIDROCARBONETO
TETRADECANO	1411	765203	0,76	HIDROCARBONETO
1-PENTADECENO	1505	632880	0,63	HIDROCARBONETO
PENTADECANO	1514	2422830	2,40	HIDROCARBONETO
HEXADECANO	1614	377427	0,37	HIDROCARBONETO
8-HEXADECINO	1687	645623	0,64	HIDROCARBONETO
1-HEPTADECENO	1695	443305	0,44	HIDROCARBONETO
HEPTADECANO	1715	777800	0,77	HIDROCARBONETO
CAFEÍNA	1876	2737845	2,71	NITROGENADO

NONADECANO	1918	1568830	1,55	HIDROCARBONETO
9-ÁCIDO OCTADECENÓICO, 12-(ACETILOXILA)-, METIL	1945	346181	0,34	ÉSTER
N-ÁCIDO HEXADECANÓICO	1982	24767817	24,50	ÁCIDO CARBOXÍLICO
2-NONADECANONA	2128	12116249	11,99	CETONA
9,12-ÁCIDO OCTADECADIENÓICO (Z,Z)-	2157	4825613	4,77	ÁCIDO CARBOXÍLICO
Z-9-PENTADECENOL	2161	6646561	6,58	ÁLCOOL
ÁCIDO OCTADECANÓICO	2183	6529054	6,46	ÁCIDO CARBOXÍLICO
9-OCTADECENAMIDA, (Z)-	2205	4905239	4,85	NITROGENADO
HEXACOSANO	2625	1210968	1,20	HIDROCARBONETO

Tabela A9: Compostos identificados no bio-óleo da biomassa casca de pinus

COMPOSTO	RI	ÁREA (u,a,)	ÁREA (%)	CLASSE
FURFURAL	866	9239103	18,22	ALDEÍDO
2-HEXANONA, 3,4-DIMETIL-	879	237332	0,47	CETONA
2-PROPANONA, 1-(ACETILOXILA)-	883	633949	1,25	CETONA
BENZENO, 1,2-DIMETIL-	894	503816	0,99	HIDROCARBONETO
2-CICLOPENTEN-1-ONA, 2-METIL-	923	182085	0,36	CETONA
1,2-CICLOPENTANEDIONA	936	1123463	2,22	CETONA
2-BUTANONA, 3,3-DIMETIL-	968	504154	0,99	CETONA
2-OXOBUTIL ACETATO	972	764153	1,51	ÉSTER
2-FURANOCARBOXALDEÍDO, 5-METIL-	978	764153	1,51	ALDEÍDO
2-CICLOPENTEN-1-ONA, 3-METIL-	981	309627	0,61	CETONA
FENOL	990	4334823	8,55	FENOL
2-CICLOPENTEN-1-ONA, 2-HIDROXI-3-METIL-	1040	1403911	2,77	CETONA
FENOL, 2-METIL-	1065	1285591	2,53	FENOL

FENOL, 3-METIL-	1086	4221092	8,32	FENOL
FENOL, 2-METOXI-	1107	5667457	11,18	FENOL
2-METILBUTANÓICO ANIDRIDO	1140	220572	0,43	F.O.
FENOL, 2,3-DIMETIL-	1161	226912	0,45	FENOL
1,4-DIOXASPIRO[2,4]HEPTAN-5-ONA, 7-METIL-	1163	445320	0,88	ÉSTER
FENOL, 2-ETIL-	1179	264536	0,52	FENOL
FENOL, 2,4-DIMETIL-	1181	388834	0,77	FENOL
FENOL, 2-METOXI-4-METIL-	1210	6723991	13,26	FENOL
BENZALDEÍDO, 2-METIL-	1231	343724	0,68	ALDEÍDO
2,3-ANIDRO-D-MANNOSANO	1244	867227	1,71	CARBOIDRATO
FENOL, 4-ETIL-2-METOXI-	1297	2102029	4,14	FENOL
2-METOXI-4-VINILFENOL	1332	3255424	6,42	FENOL
BICICLO[7,2,0]UNDEC-4-ENO, 4,11,11-TRIMETIL-8-METIL	1446	1329032	2,62	HIDROCARBONETO
FENOL, 2-METOXI-4-(2-PROPENIL)- ACETATO	1470	1135276	2,24	ÉSTER
1,4,8-CYCLOUNDECATRIENE, 2,6,6,9-TETRAMETIL-, (E,E,	1481	528086	1,04	HIDROCARBONETO
BEÊNICO ÁLCOOL	2424	528959	1,04	ÁLCOOL
1-HEXACOSANOL	2844	1180382	2,33	ÁLCOOL

Tabela A10: Compostos identificados no bio-óleo da biomassa palha de milho

COMPOSTO	RI	ÁREA (u,a,)	ÁREA (%)	CLASSE
FURFURAL	865	6624544	14,07	ALDEÍDO
2-FURILMETANOL	876	2462497	5,23	ÁLCOOL
1,2-ETANODIOL, DIACETATO	882	1049360	2,23	ÉSTER

BENZENO, 1,2-DIMETIL-	893	224431	0,48	HIDROCARBONETO
4-CICLOPENTENO-1,3-DIONA	902	277363	0,59	CETONA
2-CICLOPENTEN-1-ONA, 2-METIL-	922	273748	0,58	CETONA
2(5H)-FURANOONA	926	1287024	2,73	ÉSTER
1,2-CICLOPENTANEDIONA	935	2596361	5,51	CETONA
2-BUTANONA, 3,3-DIMETIL-	967	163192	0,35	CETONA
2-FURANOCARBOXALDEÍDO, 5-METIL-	976	1003286	2,13	ALDEÍDO
2-CICLOPENTEN-1-ONA, 3-METIL-	980	373142	0,79	CETONA
FENOL	988	1449333	3,08	FENOL
1-DECENO	1001	321940	0,68	HIDROCARBONETO
2,4-IMIDAZOLIDINEDIONA, 3-METIL-	1012	4090999	8,69	NITROGENADO
2-CICLOPENTEN-1-ONA, 2-HIDROXI-3-METIL-	1038	1417822	3,01	CETONA
FENOL, 2-METIL-	1062	906908	1,93	FENOL
ÁCIDO BUTANÓICO, ANIDRIDO	1072	108366	0,23	F.O.
FENOL, 3-METIL-	1083	1177418	2,50	FENOL
3-HEPTINO, 5-METIL-	1091	117199	0,25	HIDROCARBONETO
1-(2-FURANOIL)-2-HIDROXIETANONA	1098	119512	0,25	CETONA
2,3-DIHIDRO-5-HIDROXI-6-METIL-4H-PIRAN-4-ONA	1100	216600	0,46	CETONA
2-METOXIFENOL	1105	1439748	3,06	FENOL
CICLOPENTANOL	1108	1811517	3,85	ÁLCOOL
2-METILBUTANÓICO ANIDRIDO	1137	179943	0,38	F.O.
1,4-DIOXASPIRO[2,4]HEPTAN-5-ONA, 7-METIL-	1161	460189	0,98	ÉSTER
FENOL, 4-ETIL-	1176	544558	1,16	FENOL
FENOL, 2-METOXI-4-METIL-	1208	1024948	2,18	FENOL
1,4:3,6-DIANIDRO-,ALFA,-D-GLUCOPIRANOSE	1222	506669	1,08	CARBOIDRATO
BENZOFURANO, 2,3-DIHIDRO-	1228	4860171	10,32	F.O.

5-(HIDROXIMETIL)-2-FURALDEÍDO	1237	3311205	7,03	ALDEÍDO
FENOL, 4-ETIL-2-METOXI-	1294	784056	1,66	FENOL
2-METOXI-4-VINILFENOL	1330	4990876	10,60	FENOL
FENOL, 2,6-DIMETOXI-	1365	709728	1,51	FENOL
ÁCIDO HEXADECANÓICO	1977	206482	0,44	ÁCIDO CARBOXÍLICO

Tabela A11: Compostos identificados no bio-óleo da biomassa sabugo de milho

COMPOSTO	RI	ÁREA (u,a,)	ÁREA (%)	CLASSE
FURFURAL	867	8137566	6,14	ALDEÍDO
2-FURILMETANOL	878	6820435	5,15	ÁLCOOL
1,2-ETANODIOL, DIACETATO	884	3581538	2,70	ÉSTER
XILENO	895	724563	0,55	HIDROCARBONETO
2-CICLOPENTEN-1-ONA, 2-METIL-	924	661868	0,50	CETONA
CICLOPENTANONA	928	3472537	2,62	CETONA
1,2-CICLOOCTANEDIONA	937	7257025	5,48	CETONA
2-BUTANONA, 3,3-DIMETIL-	969	374823	0,28	CETONA
2-CICLOPENTEN-1-ONA, 3-METIL-	982	1077862	0,81	CETONA
FENOL	991	5220606	3,94	FENOL
2-PROPEN-1-OL	1003	973299	0,73	ÁLCOOL
2,4-IMIDAZOLIDINEDIONA, 3-METIL-	1014	3164385	2,39	NITROGENADO
2-CICLOPENTEN-1-ONA, 2-HIDROXI-3-METIL-	1040	4358561	3,29	CETONA
FENOL, 2-METIL-	1066	2397385	1,81	FENOL
FENOL, 4-METIL-	1087	3504154	2,64	FENOL
1-(2-FURANOIL)-2-HIDROXIETANONA	1101	436211	0,33	CETONA
2-METOXIFENOL	1107	5591394	4,22	FENOL

PROPANO, 2-ISOCIANATO-	1110	7977297	6,02	NITROGENADO
2-CICLOPENTEN-1-ONA, 3-ETIL-2-HIDROXI-	1134	1595377	1,20	CETONA
2(3H)-FURANOONA, 5-ACETILDIHIDRO-	1140	396226	0,30	ÉSTER
FENOL, 2,3-DIMETIL-	1162	578720	0,44	FENOL
1,4-DIOXASPIRO[2,4]HEPTAN-5-ONA, 7-METIL-	1163	914091	0,69	ÉSTER
GUANOSINE	1177	849602	0,64	NITROGENADO
FENOL, 4-ETIL-	1180	1740968	1,31	FENOL
FENOL, 2,3-DIMETIL-	1182	520138	0,39	FENOL
(S)-(+)-2',3'-DIDEOXIRIBONOLACTONA	1202	1295409	0,98	ÉSTER
FENOL, 2-METOXI-4-METIL-	1210	1589141	1,20	FENOL
1,2-BENZENODIOL	1215	3029769	2,29	FENOL
1,4:3,6-DIANIDRO-,ALFA,-D-GLUCOPIRANOSE	1225	1324207	1,00	CARBOIDRATO
BENZOFURANO, 2,3-DIHIDRO-	1232	17817439	13,45	F.O.
2,3-ANIDRO-D-MANNOSANO	1244	941364	0,71	CARBOIDRATO
1,2-BENZENODIOL, 3-METIL-	1278	597395	0,45	FENOL
2-METOXIRESORCINOL	1280	1235893	0,93	FENOL
FENOL, 4-ETIL-2-METOXI-	1297	2501596	1,89	FENOL
1,2-BENZENODIOL, 4-METIL-	1307	899810	0,68	FENOL
2-METOXI-4-VINILFENOL	1333	13927073	10,51	FENOL
FENOL, 2,6-DIMETOXI-	1368	4736907	3,57	FENOL
BENZALDEÍDO, 3-HIDROXI-4-METOXI-	1418	863869	0,65	FENOL
ÁCIDO ACÉTICO, PENTIL ÉSTER	1430	591750	0,45	ÉSTER
1,6-ANIDRO-,BETA,-D-GLUCOPIRANOSE (LEVOGLUCOS	1493	504034	0,38	CARBOIDRATO
N-ÁCIDO HEXADECANÓICO	1982	2024111	1,53	ÁCIDO CARBOXÍLICO

9,12-ÁCIDO OCTADECADIENÓICO (Z,Z)-	2160	1706413	1,29	ÁCIDO CARBOXÍLICO
Z-11-PENTADECENOL	2165	4597559	3,47	ÁLCOOL

Tabela A12: Compostos identificados no bio-óleo da biomassa casca de mandioca

COMPOSTO	RI	ÁREA (u,a.)	ÁREA (%)	CLASSE
2-FURANOCARBOXALDEÍDO	863	2363690	7,40	ALDEÍDO
2-FURANOMETANOL	874	6025325	18,88	ÁLCOOL
1,2-ETANODIOL, DIACETATO	880	887865	2,78	ÉSTER
2(3H)-FURANOONA, 5-METIL-	887	160701	0,50	ÉSTER
XILENO	891	379503	1,19	HIDROCARBONETO
2-CICLOPENTEN-1-ONA, 2-METIL-	920	489269	1,53	CETONA
CICLOPENTANONA	924	2146639	6,72	CETONA
1,2-CICLOOCTANEDIONA	932	2641934	8,28	CETONA
2-BUTANONA, 3,3-DIMETIL-	964	209693	0,66	CETONA
2-FURANOCARBOXALDEÍDO, 5-METIL-	974	357134	1,12	ALDEÍDO
2-CICLOPENTEN-1-ONA, 3-METIL-	978	586106	1,84	CETONA
FENOL	985	844936	2,65	FENOL
2(5H)-FURANOONA, 4-METIL-	991	185989	0,58	ÉSTER
2-PROPEN-1-OL	999	469197	1,47	ÁLCOOL
2-CICLOPENTEN-1-ONA, 2-HIDROXI-3-METIL-	1036	2442998	7,65	CETONA
4-METIL-5H-FURANO-2-ONA	1055	297718	0,93	ÉSTER
FENOL, 2-METIL-	1061	801339	2,51	FENOL
FENOL, 3-METIL-	1082	1297537	4,06	FENOL
2-CICLOPENTEN-1-ONA, 3-ETIL-	1089	140285	0,44	CETONA
1-(2-FURANOIL)-2-HIDROXIETANONA	1097	194819	0,61	CETONA

FENOL, 2-METOXI-	1104	727045	2,28	FENOL
PENTANAL	1107	3330699	10,43	ALDEÍDO
2-CICLOPENTEN-1-ONA, 3-ETIL-2-HIDROXI-	1131	740379	2,32	CETONA
2(3H)-FURANOONA, DIHIDRO-5-(2-PROPENIL)-, (+,-)-	1136	111043	0,35	ÉSTER
FENOL, 2,4-DIMETIL-	1157	142482	0,45	FENOL
1,4-DIOXASPIRO[2,4]HEPTAN-5-ONA, 7-METIL-	1160	278892	0,87	ÉSTER
FENOL, 2-ETIL-	1175	84358	0,26	FENOL
FENOL, 2,3-DIMETIL-	1177	187392	0,59	FENOL
1,4:3,6-DIANIDRO-,ALFA,-D-GLUCOPIRANOSE	1221	1153550	3,61	CARBOIDRATO
2,3-ANIDRO-D-MANNOSANO	1240	856115	2,68	CARBOIDRATO
2-METOXI-4-VINILFENOL	1329	324379	1,02	FENOL
,BETA,-D-GLUCOPIRANOSE, 1,6-ANIDRO-	1488	647664	2,03	CARBOIDRATO
ÁCIDO HEPTADECANÓICO	1978	414982	1,30	ÁCIDO CARBOXÍLICO

Tabela A13: Compostos identificados no bio-óleo da biomassa casca de coco

COMPOSTO	RI	ÁREA (u,a,)	ÁREA (%)	CLASSE
FURFURAL	866	10617410	14,59	ALDEÍDO
2-FURANOMETANOL	879	2454401	3,37	ÁLCOOL
1,2-ETANODIOL, DIACETATO	883	2479182	3,41	ÉSTER
XILENO	893	650392	0,89	HIDROCARBONETO
4-CICLOPENTENO-1,3-DIONA #	903	203135	0,28	CETONA
2-CICLOPENTEN-1-ONA, 2-METIL-	923	280310	0,39	CETONA
1,2-CICLOOCTANEDIONA	936	2510738	3,45	CETONA
2-BUTANONA, 3,3-DIMETIL-	968	254893	0,35	CETONA
2-FURANOCARBOXALDEÍDO, 5-METIL-	978	1409108	1,94	ALDEÍDO

2-CICLOPENTEN-1-ONA, 3-METIL-	982	808979	1,11	CETONA
FENOL	990	20378216	28,01	FENOL
2-PROPEN-1-OL	1003	212775	0,29	ÁLCOOL
2-CICLOPENTEN-1-ONA, 2-HIDROXI-3-METIL-	1040	1626806	2,24	CETONA
FENOL, 2-METIL-	1065	2530940	3,48	FENOL
FENOL, 4-METIL-	1086	4412812	6,07	FENOL
FENOL, 2-METOXI-	1107	3990248	5,48	FENOL
PROPANO, 2-ISOCIANATO-	1110	2066090	2,84	NITROGENADO
2-METILBUTANÓICO ANIDRIDO	1140	268742	0,37	F.O.
4H-PIRAN-4-ONA, 2,3-DIHIDRO-3,5-DIHIDROXI-6-METIL-	1159	1837429	2,53	CETONA
FENOL, 2-ETIL-	1179	419118	0,58	FENOL
FENOL, 2-METOXI-4-METIL-	1210	1663628	2,29	FENOL
3-(2-HIDROXIPHENYL)ACRYLIC ACID	1231	1107715	1,52	FENOL
FENOL, 4-ETIL-2-METOXI-	1241	6295620	8,65	ALDEÍDO
2-METOXI-4-VINILFENOL	1297	1056325	1,45	FENOL
FENOL, 2,6-DIMETOXI-	1332	1614522	2,22	FENOL
	1367	1598988	2,20	FENOL

Tabela A14: Compostos identificados no bio-óleo da biomassa vagem de feijão

COMPOSTO	RI	ÁREA (u,a.)	ÁREA (%)	CLASSE
FURFURAL	866	2078412	8,99	ALDEÍDO
2-FURILMETANOL	877	1114184	4,82	ÁLCOOL
1,2-ETANODIOL, DIACETATO	883	771676	3,34	ÉSTER
XILENO	894	252201	1,09	HIDROCARBONETO
4-CICLOPENTENO-1,3-DIONA	903	158560	0,69	CETONA

2-CICLOPENTEN-1-ONA, 2-METIL-	923	402360	1,74	CETONA
CICLOPENTANONA	927	1195837	5,17	CETONA
1,2-CICLOPENTANEDIONA	936	985743	4,26	CETONA
2-BUTANONA, 3,3-DIMETIL-	967	84429	0,37	CETONA
2-FURANOCARBOXALDEÍDO, 5-METIL-	977	168944	0,73	ALDEÍDO
2-CICLOPENTEN-1-ONA, 3-METIL-	981	465832	2,01	CETONA
FENOL	989	1514002	6,55	FENOL
2-PROPEN-1-OL	1002	167208	0,72	ÁLCOOL
2-CICLOPENTEN-1-ONA, 2-HIDROXI-3-METIL-	1039	1703414	7,37	CETONA
2-CICLOPENTEN-1-ONA, 2,3-DIMETIL-	1054	413071	1,79	CETONA
1-PROPANONA, 1-CYCLOPROPIL-	1058	58319	0,25	CETONA
FENOL, 2-METIL-	1064	607935	2,63	FENOL
FENOL, 3-METIL-	1084	1135320	4,91	FENOL
3-HEPTINO, 5-METIL-	1092	64384	0,28	HIDROCARBONETO
FENOL, 2-METOXI-	1106	1106853	4,79	FENOL
CICLOPENTANOL	1109	1495164	6,47	ÁLCOOL
2(3H)-FURANOONA, DIHIDRO-5-(2-PROPENIL)-, (+,-)-	1139	93045	0,40	ÉSTER
FENOL, 2-ETIL-	1177	377593	1,63	FENOL
2,4,6-OCTATRIENE, 2-METIL-, (Z,Z)-	1191	38455	0,17	HIDROCARBONETO
DODECANO	1211	47127	0,20	HIDROCARBONETO
1,4:3,6-DIANIDRO-,ALFA,-D-GLUCOPIRANOSE	1223	354206	1,53	CARBOIDRATO
3-(2-HIDROXIPHENYL)ACRYLIC ACID	1230	3835183	16,59	FENOL
BICICLO[4,2,0]OCTA-1,3,5-TRIEN-7-ONA, 8-METIL-	1300	69166	0,30	HIDROCARBONETO
2-METOXI-4-VINILFENOL	1331	779327	3,37	FENOL
FENOL, 2,6-DIMETOXI-	1366	985067	4,26	FENOL

ÁCIDO HEPTADECANÓICO	1979	554871	2,40	ÁCIDO CARBOXÍLICO
DOCOSANE	2222	41353	0,18	HIDROCARBONETO

Apêndice B: Cromatogramas das amostras de bio-óleo

Figura B1: Cromatograma do bio-óleo obtido a partir da pirólise da lignina

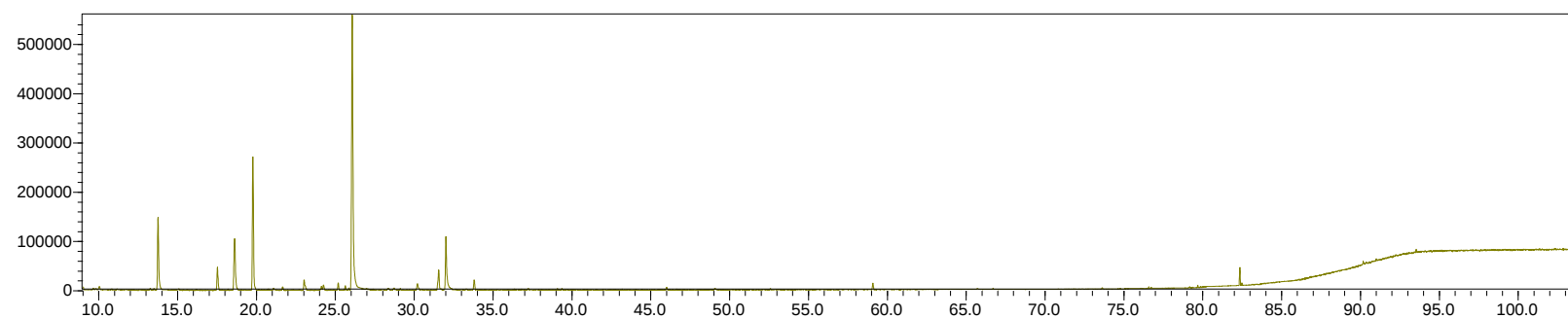


Figura B2: Cromatograma do bio-óleo obtido a partir da pirólise da celulose

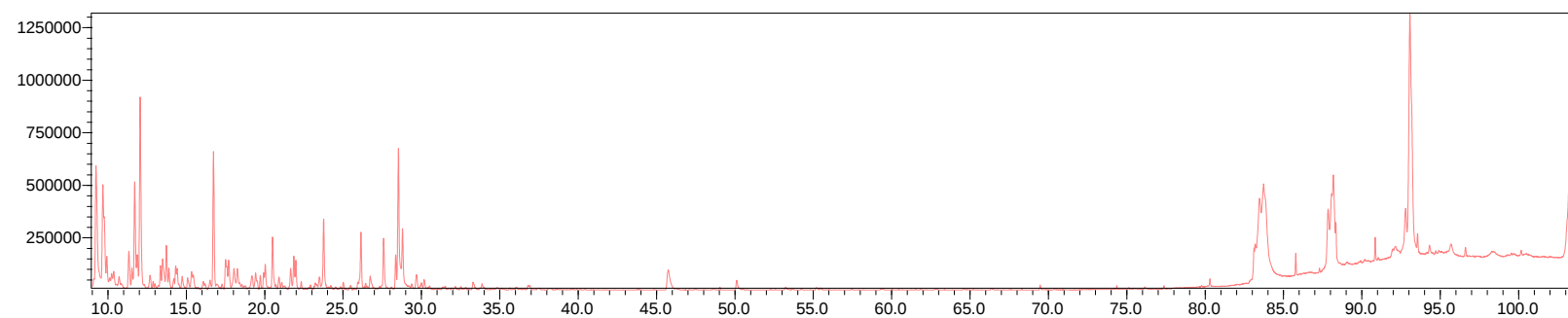


Figura B3: Cromatograma do bio-óleo obtido a partir da pirólise da biomassa semente de acerola

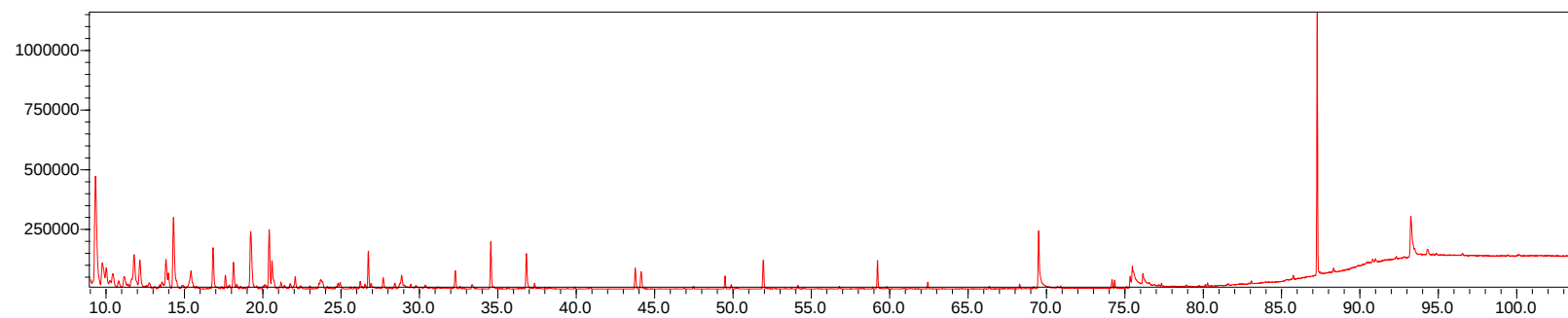


Figura B4: Cromatograma do bio-óleo obtido a partir da pirólise da biomassa semente de maracujá

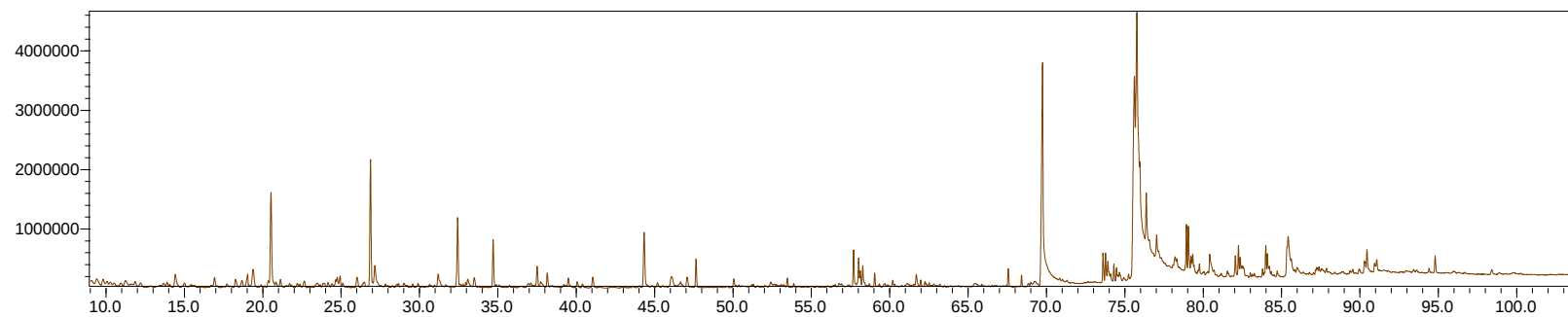


Figura B5: Cromatograma do bio-óleo obtido a partir da pirólise da biomassa semente de goiaba

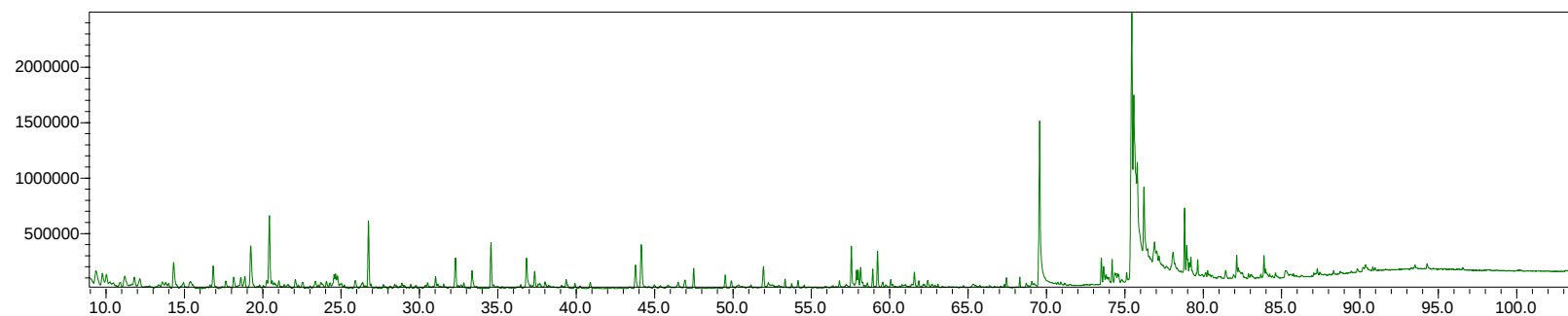


Figura B6: Cromatograma do bio-óleo obtido a partir da pirólise da biomassa semente de uva

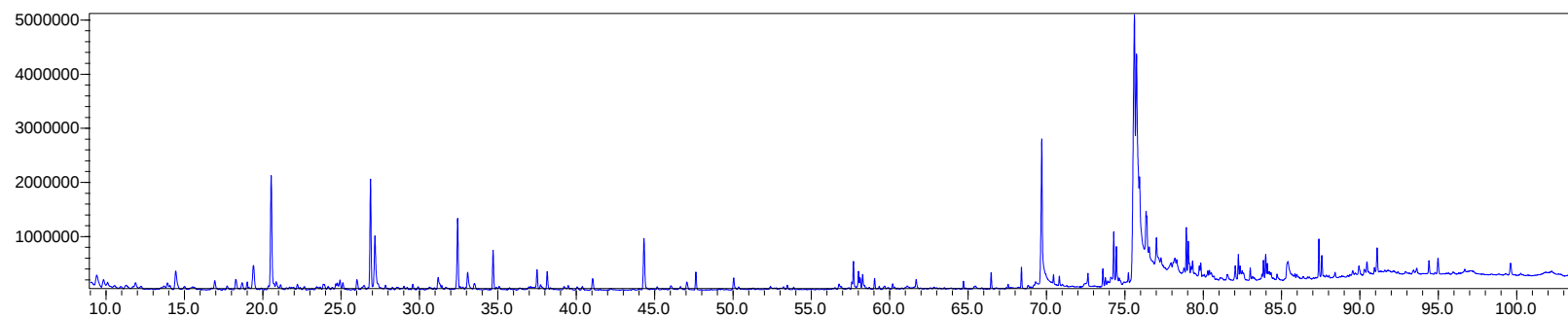


Figura B7: Cromatograma do bio-óleo obtido a partir da pirólise da biomassa casca de amendoim

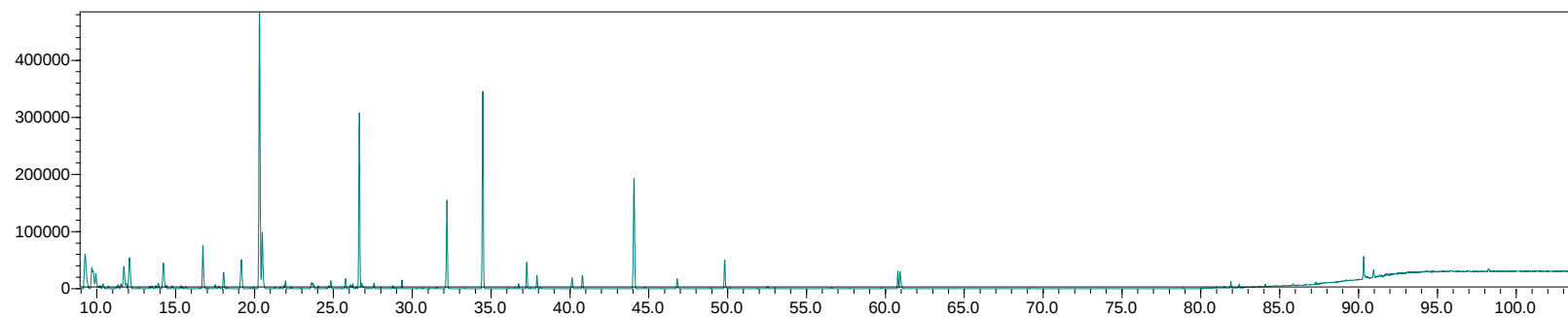


Figura B8: Cromatograma do bio-óleo obtido a partir da pirólise da biomassa borra de café

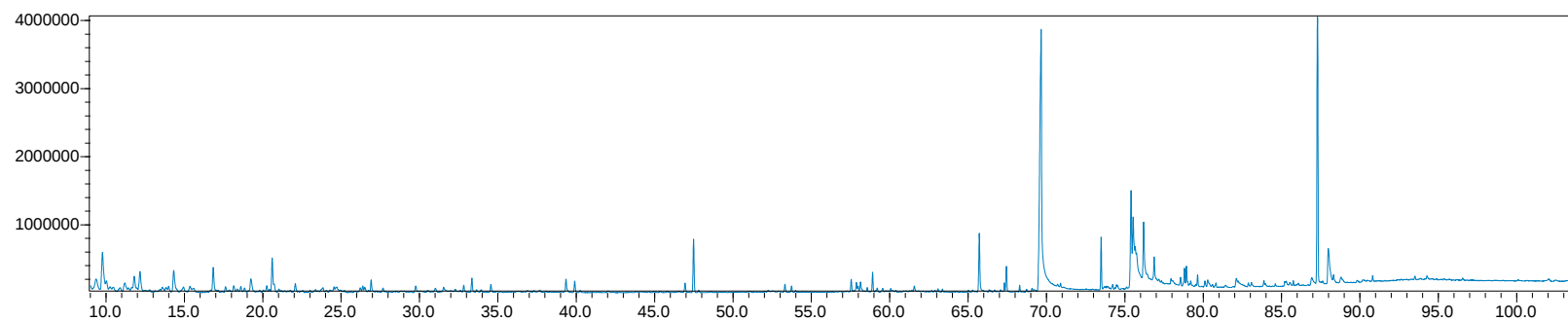


Figura B9: Cromatograma do bio-óleo obtido a partir da pirólise da biomassa casca de pinus

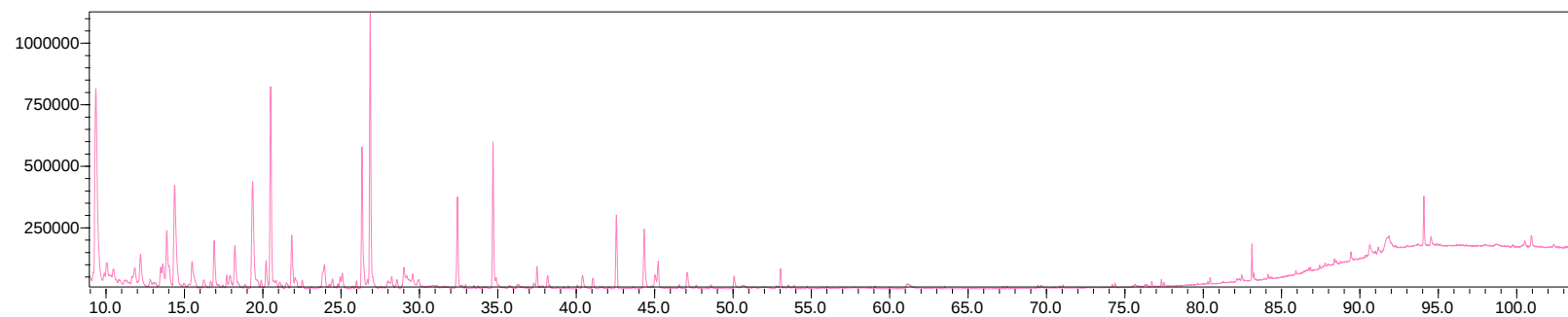


Figura B10: Cromatograma do bio-óleo obtido a partir da pirólise da biomassa palha de milho

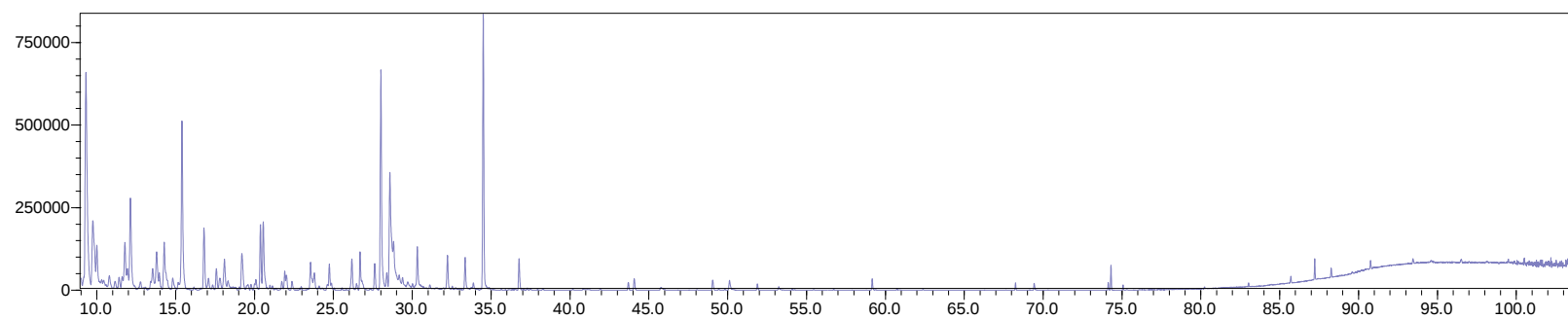


Figura B11: Cromatograma do bio-óleo obtido a partir da pirólise da biomassa sabugo de milho

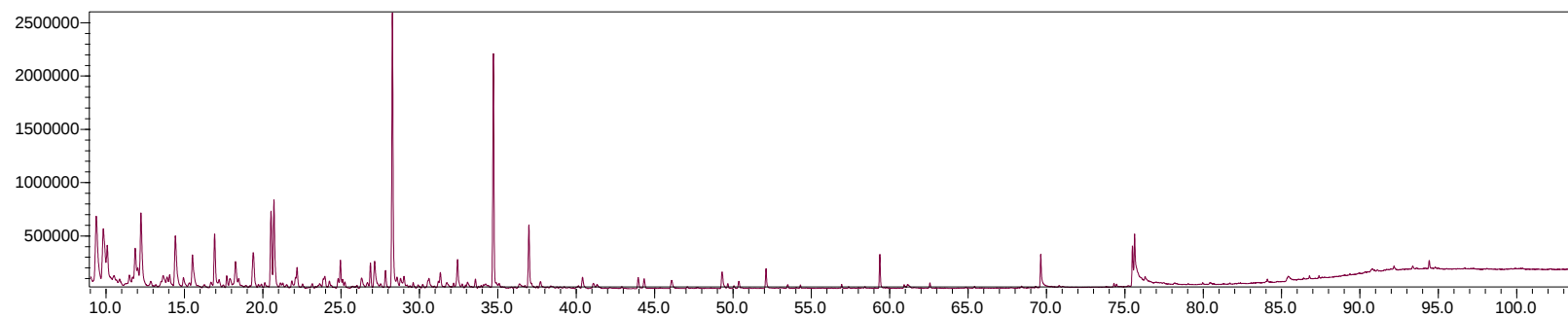


Figura B12: Cromatograma do bio-óleo obtido a partir da pirólise da biomassa casca de mandioca

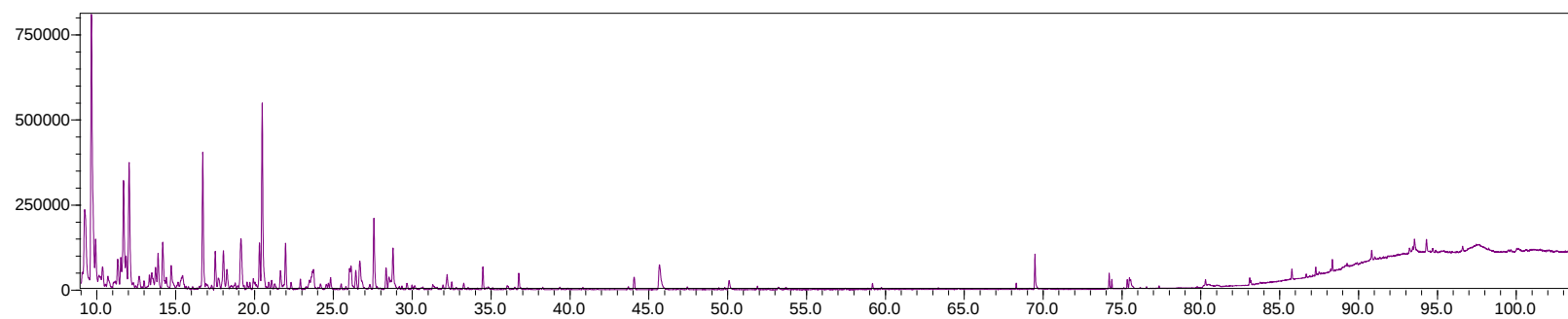


Figura B13: Cromatograma do bio-óleo obtido a partir da pirólise da biomassa casca de coco

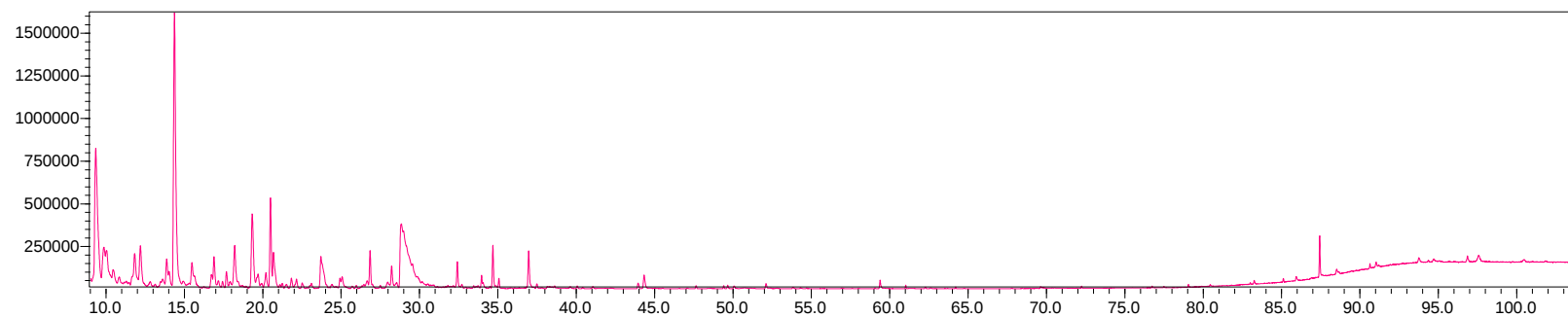
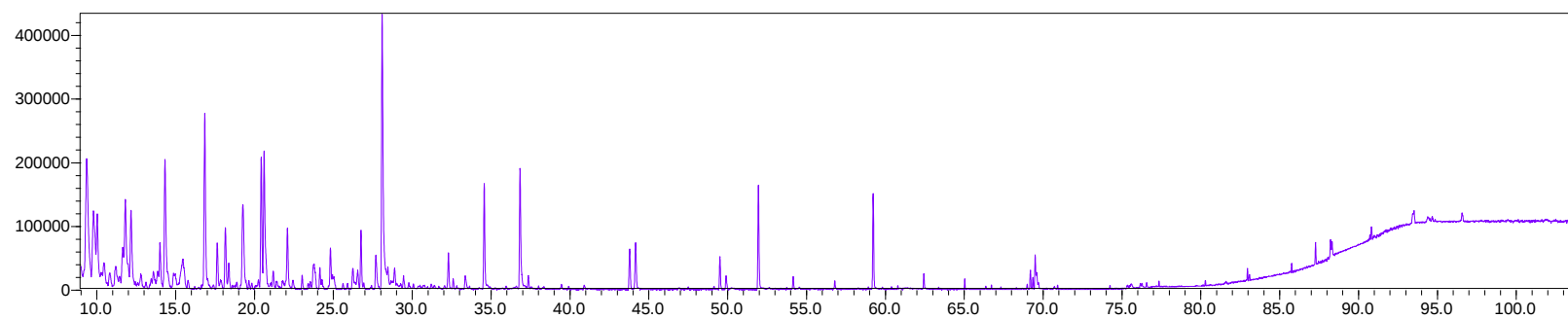


Figura B14: Cromatograma do bio-óleo obtido a partir da pirólise da vagem de feijão



Apêndice C: Classificação dos principais constituintes dos bio-óleos obtidos por pirólise, em área percentual

Ác.										
Biomassas	Aldeído	Carboxílico	Álcool	Éster	Hidrocarboneto	Cetona	Fenol	Nitrogenado	F.O.	Carboidrato
CAF	0,49	36,59	13,14	1,25	15,83	18,34	5,13	9,23	0	0
Mi.S	6,14	2,82	9,35	5,12	0,55	14,51	36,92	9,05	13,45	2,09
Mi.P	23,23	0,44	9,08	5,94	1,41	11,55	27,65	8,69	10,93	1,08
UVA	0,91	50,96	1,25	7,92	3,34	1,16	29,39	5,07	0	0
MAR	0,42	53,71	2,25	3,93	7,79	1,07	24,85	4,03	0,69	1,26
CEL	21,92	0,49	7,60	16,37	4,40	28,77	2,74	3,48	0	14,72
COC	25,19	0	3,67	3,41	0,89	10,34	53,29	2,84	0,37	0
GOI	0	49,01	0,85	5,20	7,39	18,97	18,02	0,37	0,19	0
ACE	22,33	17,15	3,93	0,27	0,58	13,64	40,95	0,15	0	1
LIG	0	0	0	0	0	0,41	99,59	0	0	0
AMD	4,68	0,35	6,90	3,36	1,05	9,34	73,74	0	0,58	0
PNU	20,40	0,43	3,37	5,87	4,66	7,42	56,14	0	0	1,71
FEI	9,72	2,40	12,01	3,74	2,22	23,65	44,73	0	0	1,53
MAN	18,96	1,30	20,35	6,02	1,19	30,05	13,81	0	0	8,32