unesp UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
CAMPUS DE GUARATINGUETÁ

JÉSSICA ROSA FAITA

Caracterização físico-química de espécies de madeiras do bioma amazônico para a preservação ambiental

Guaratinguetá - SP
2018

Jéssica Rosa Faita

Caracterização físico-química de espécies de madeiras do bioma amazônico para a preservação ambiental

Trabalho de Graduação apresentado ao Conselho de Curso de Graduação em Engenharia de Produção Mecânica da Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Graduação em Engenharia de Produção Mecânica.

Orientadora: Profª. Drª. Eliana V. Canettieri

Guaratinguetá - SP
2018

Faita, Jéssica Rosa
F174c Caracterização físico-química de espécies de madeiras do bioma amazônico para a preservação ambiental/ Jéssica Rosa Faita – Guaratinguetá, 2018.
90 f : il.
Bibliografia: f. 85-89

Trabalho de Graduação em Engenharia de Produção Mecânica – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2018.
Orientadora: Profª. Drª. Eliana Vieira Canettieri

1. Biomassa 2. Madeira – Proteção contra fogo 3. Sustentabilidade I. Título.

CDU 620.91

Ana Cristina Figueiredo Loureiro
Bibliotecária CRB-8/7094

unesp UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
CAMPUS DE GUARATINGUETÁ

JÉSSICA ROSA FAITA

ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO ADEQUADO COMO PARTE DO REQUISITO PARA A OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE **"GRADUADO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO MECÂNICA"**

APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO CONSELHO DE CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO MECÂNICA

Profa. Dra. ANDREIA MARIA PEDRO SALGADO
Coordenadora

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. ELIANA VIEIRA CANETTIERI
Orientador/UNESP-FEG

Prof. Msc. THIAGO AVERALDO BIMESTRE
UNESP-FEG

Prof. Dr. MESSIAS BORGES SILVA
UNESP-FEG

Novembro de 2018

DADOS CURRICULARES

JÉSSICA ROSA FAITA

NASCIMENTO	19.08.1991 – São Paulo / SP
FILIAÇÃO	Edio Aparecido Faita Ana Sueli Bueno Rosa Faita
2013/2018	Engenharia de Produção Mecânica – Graduação Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho"

À Deus que incessantemente manifesta seu amor por mim, aos meus pais que sempre confiaram e apoiaram os estudos de seus filhos, aos meus amigos que compartilharam desta jornada e à todos os mestres que dedicadamente contribuíram para a minha educação.

AGRADECIMENTOS

Primordialmente agradeço a Deus, por seu amor incondicional, pelo seu inexprimível carinho e cuidado e pela sua infinita misericórdia concedidos a mim,

aos meus pais *Edio* e *Ana* que constantemente me apoiaram e sempre me incentivaram a buscar meus caminhos e a conquistar novos horizontes;

aos meus irmãos *Jacqueline*, *Daniel* e *Giovana* e respectivos pares, que sempre estiveram ao meu lado, adoçando os meus dias,

ao meu melhor amigo e amor *Gabriel*, por ter estado diariamente batalhando pela conquista da excelência, e fazendo parte da minha existência,

as moradoras da república *Jasmins do Jardim* (*Marcella* e *Milena*), por serem minhas eternas companheiras e melhores amigas, e a todos os agregados, por nos trazer imensa alegria,

a todos os meus amigos, colegas que conheci ao longo desta jornada que foram peças indispensáveis no quebra-cabeças da vida,

à minha orientadora, *Profª. Drª. Eliana Vieira Canettieri* que pacientemente me ensinou, guiou e auxiliou-me na realização deste trabalho, e aos professores da banca examinadora, que colaboraram para um estudo mais lapidado,

aos queridos colegas: Fellipe, Renita, Milena e Marcelo, que se colocaram à disposição para suportar atividades inerentes às análises apresentadas nesta pesquisa,

aos responsáveis pelos laboratórios do departamento de biotecnologia da USP - Lorena e aos responsáveis pelos laboratórios do departamento de química e de energia da UNESP - Guaratinguetá que forneceram o espaço físico e equipamentos para a realização das análises experimentais,

à FAPESP, que tornou possível a realização deste trabalho por este, ter sido parte da Iniciação Científica com bolsa FAPESP - Processo 14/10379-0, realizado no período de 01/11/2014 a 31/10/2015, também vinculado ao projeto FAPESP - Processo 2013/04441-1.

à todos os funcionários, mestres ou não, da Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá que diretamente e indiretamente colaboraram para o meu desenvolvimento e sucesso profissional.

“Sem que haja uma palavra na minha língua, eis que, ó Senhor, tudo conheces.”

Salmos 139:4

RESUMO

A exaustão dos combustíveis fósseis, fontes não-renováveis, tem motivado a busca pela utilização de fontes renováveis e com isso, o uso eficiente da biomassa. O Brasil, detentor de 69% do Bioma da Amazônia, abrigando inúmeras espécies de plantas e animais, necessita conhecer, de forma mais profunda sua flora a fim de preservar as florestas que enfrentam altas taxas de desmatamento. Desta forma, o presente estudo tem como objetivo realizar a caracterização físico-química de algumas espécies das madeiras do Bioma da Amazônia para colaborar com informações para a formação de uma base de dados de referência na proteção do meio ambiente, prevenção e controle de incêndios florestais. A caracterização evidenciou a variação de teores de umidade, cinzas, extrativos, celulose, hemicelulose e lignina entre as espécies, confirmando que a composição da madeira depende de fatores como idade da madeira, clima, região e clima. Madeiras com maior teor de cinzas são menos suscetíveis à ignição, e, indesejados para utilização em fornos e, as amostras, apresentaram valores baixos em comparação à outros materiais lignocelulósicos. O alto teor de umidade, ligado a quantidade de água nas madeiras, age como proteção ao fogo. A coloração das madeiras analisadas apresentou forte interação ao teor de extrativos, as mais escuras apresentaram maior teor de extrativos que as mais claras. Os teores de celulose, hemicelulose e lignina foram similares aos encontrados na literatura, em proporções que variam entre aproximadamente 40:30:30 e/ou 50:20:30, respectivamente. Estes resultados contribuem para conhecimento das principais características de madeiras mais comumente encontradas no bioma amazônico e é de grande valia para o combate às queimadas e o uso sustentável dessas biomassas para a consolidação de uma rede de proteção e manutenção deste ecossistema.

PALAVRAS-CHAVE: Madeira. Caracterização de biomassa. Bioma da Amazônia. Preservação ambiental. Sustentabilidade.

ABSTRACT

The exhaustion of fossil fuels, non-renewable sources, has motivated the search for the use of renewable sources and with this, the efficient use of biomass. Brazil, which holds 69% of the Amazon Biome, is home to numerous species of plants and animals, and needs to know its flora more deeply in order to preserve the forests that face high rates of deforestation. In this way, the present study aims to perform the physicochemical characterization of some species of wood from the Amazon Biome to collaborate with information for the formation of a reference database in the protection of the environment, prevention and control of forest fires . The characterization evidenced the variation of moisture content, ashes, extractives, cellulose, hemicellulose and lignin among the species, confirming that the composition of the wood depends on factors such as age of wood, climate, region and climate. Woods with higher ash content are less susceptible to ignition and, undesirable for use in furnaces, and samples presented low values compared to other lignocellulosic materials. The high moisture content, linked to the amount of water in the woods, acts as a fire protection. The coloration of the analyzed wood presented strong interaction with the extractive content, the darker ones presented higher extractive content than the clear ones. The contents of cellulose, hemicellulose and lignin were similar to those found in the literature, in ratios ranging between approximately 40:30:30 and / or 50:20:30, respectively. These results contribute to the knowledge of the main characteristics of wood most commonly found in the Amazonian biome and is of great value for combating the burning and the sustainable use of these biomasses for the consolidation of a network of protection and maintenance of this ecosystem.

KEYWORDS: Wood. Characterization of biomass. Amazon biome. Environmental preservation. Sustainability.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Desmatamento acumulado (vermelho) de 2000 a 2017 17
Figura 2 - Questões norteadoras da pesquisa 19
Figura 3 - Oferta de energia no Brasil 20
Figura 4 - Consumo final de energia por fonte 21
Figura 5 - Matriz brasileira de energia elétrica 22
Figura 6 - Processos de transformação de biomassa em energia 28
Figura 7 - Extensão territorial do Bioma Amazônico 30
Figura 8 - Desmatamento na Amazônia 31
Figura 9 - Montagem final do aparelho Soxhlet 32
Figura 10 - Classificação pesquisas científicas com a proposta do presente trabalho 39
Figura 11 - Fluxo da pesquisa deste presente estudo 40
Figura 12 - Fluxograma do processo de caracterização das madeiras 42
Figura 13 - Propriedades da análise experimental 44
Figura 14 - Amostras de madeiras antes da caracterização 47
Figura 15 - Placas de Petri com amostra dentro da estufa (45ºC) 48
Figura 16 - Sistema Soxhlet completo sob a manta de aquecimento para a extração 49
Figura 17 - Amostras contidas em papel filtro, dobrados e grampeados 50
Figura 18 - Extração: (a) Amostras no início do ciclo; (b) Amostras após o final do ciclo 51
Figura 19 - Amostras retiradas do Soxhlet após a extração: (a) úmidos; (b) secos 52
Figura 20 - Determinação da umidade em Balança semi-analítica MARTE ID50 54
Figura 21 - Hidrólise ácida concentrada: banho-maria das amostras nos tubos de ensaio 56
Figura 22 - Autoclave contendo as amostras após a hidrólise 57
Figura 23 - Equipamento de filtragem a vácuo montado 58
Figura 24 - Após a filtração, o precipitado sólido de uma amostra 59
Figura 25 - Membrana e sólido após secagem nos pesa-filtros sem tampa 59
Figura 26 - Mufla com cadinhos contendo a membrana e sólidos 60
Figura 27 - Cadinhos após a queima: cinzas 60
Figura 28 - Cubeta de quartzo utilizada no espectrofotômetro de UV-Visível 62
Figura 29 – Amostras armazenadas em frascos de vidro e congeladas 64
Figura 30 - Calcinação: (a) Amostras antes da calcinação; (b) Amostras após a calcinação 66
Figura 31 - Glicose: curva padrão – HPLC 67
Figura 32 - Arabinose: curva padrão – HPLC 67

Figura 33 - Xilose: curva padrão – HPLC 68
Figura 34 - Celobiose: curva padrão – HPLC 68
Figura 35 - Ácido Acético: curva padrão – HPLC 70
Figura 36 - Gráfico de Extrativos, Cinzas e Umidade 71
Figura 37 - Porcentagem de cinzas 73
Figura 38 - Porcentagem de umidade 74
Figura 39 - Amostra 712.1: Relatório de análise HPLC 76
Figura 40 - Amostra 715.1: Relatório de análise HPLC 77
Figura 41 - Proporção de elementos segundo o total de massa caracterizado 80
Figura 42 - Análise cromática das amostras: (a) 709; (b) 715; (c) 704 e (d) 728 81
Figura 43 - Porcentagem de extrativos 82
Figura 44 - Respostas às questões norteadoras da pesquisa 85

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Espécies selecionadas para a caracterização.....46
Tabela 2 - Resultado do peso seco das amostras, para a realização da hidrólise 55
Tabela 3 - Umidade, Extrativos e Cinzas 72
Tabela 4 - Caracterização da biomassa: composição das madeiras (%).....78
Tabela 5 - Extrativos versus Coloração das Amostras 81

LISTA DE SÍMBOLOS

Mi (envelope)	massa do conjunto (envelope fechado com grampos + amostra) anterior a extração (g)
Mi (amostra)	massa de amostra colocada dentro do envelope (sem envelope) (g)
Mf	massa do conjunto (envelope fechado com grampos + extrativos) após a extração e posterior secagem a temperatura ambiente (g)
Mc	massa corrigida (sem a porcentagem de água)
Ms	massa pré definida = 0,3000g
U’	% de umidade retornada pelo equipamento
Mi	massa inicial colocada no prato de alumínio (g)
Mf	massa final já seca (g)
U	teor de umidade (%)
MassaR2	massa do pesa filtro contendo o micro-filtro com resíduo insolúvel
MassaR1	massa do pesa filtro vazio (após 4 horas na mufla)
MassaC2	massa do cadinho com cinzas (após 24 horas na mufla)
MassaC1	massa do cadinho vazio (após calcinação – 4 horas na mufla)
U	teor de umidade calculada pela Equação 3
ABS	absorbância de cada amostra a 205 nm
FD	fator de diluição
Mi (seca)	peso seco da amostra inicial

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 15
1.1 QUESTÃO DE PESQUISA, OBJETIVOS E DELIMITAÇÃO 18
1.1.1 Questões de Pesquisa 18
1.1.2 Objetivo Geral 19
1.1.3 Objetivos Específicos 19
1.1.4 Delimitação 20
1.2 JUSTIFICATIVA 20
1.3 ESTRUTURA 23
2 REFERENCIAL TEÓRICO 25
2.1 BIOMASSA 27
2.1.1 Bioma da Amazônia 29
2.2 CARACTERIZAÇÃO DE BIOMASSA 31
2.2.1 Composição das madeiras 33
2.2.1.1 Umidade, Celulose, Hemicelulose e Lignina Solúvel e Insolúvel 34
2.2.1.2 Extrativos e Cinzas 36
3 MÉTODO 39
3.1 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA 39
3.2 FLUXO METODOLÓGICO 40
3.3 ANÁLISE EXPERIMENTAL 43
4 CARACTERIZAÇÃO: MADEIRAS DO BIOMA DA AMAZÔNIA 45
4.1 MATÉRIA PRIMA UTILIZADA 45
4.2 COMPOSIÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DAS BIOMASSAS 47
4.2.1 Preparação da Matéria Prima, Secagem em estufa a 45ºC 48
4.2.2 Determinação do Teor de Extrativos 48
4.2.3 Determinação Massa Seca para Hidrólise Ácida e Teor de Umidade 53
4.2.4 Determinação das Ligninas Solúveis e Insolúveis 56
4.2.4.1 Hidrolise Ácida Concentrada 56
4.2.4.2 Hidrólise Ácida Diluída 57
4.2.4.3 Filtração 58
4.2.4.4 Determinação de Lignina Insolúvel 58
4.2.4.5 Determinação de Lignina Solúvel 61
4.2.5 Determinação do Teor de Cinzas 65

4.2.6 Determinação de Açúcares e Ácido Acético 66
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO 71
5.1 TEOR DE UMIDADE, EXTRATIVOS E CINZAS 71
5.2 DETERMINAÇÃO DA COMPOSIÇÃO QUÍMICA DAS BIOMASSAS 75
6 CONCLUSÃO 83
6.1 VERIFICAÇÃO DOS OBJETIVOS 83
6.2 PROPOSTAS FUTURAS 85
6.3 RISCOS E DIFICULDADES NAS ANÁLISES LABORATORIAIS 86
REFERÊNCIAS 88
BIBLIOGRAFIA CONSULTADA 88

1 INTRODUÇÃO

A energia, em diversas formas, é fundamental na manutenção da vida humana e sua sobrevivência. Para sobreviver, o homem sempre necessitou se adaptar ao seu ambiente, buscando descobrir fontes e maneiras diversas de atender às suas necessidades, e a produção de energia é uma delas, segundo o Atlas de Energia Elétrica do Brasil da Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL (2005).

A energia é necessária para inúmeras atividades do cotidiano, em indústrias e empresas, como utilização de equipamentos eletrônicos, iluminação doméstica, na fabricação de produtos e insumos para outras atividades, entre outras coisas. Com a propensão de exaustão de recursos de fontes fósseis para a produção de energia, a tendência é que se faça a substituição por recursos renováveis (ANEEL, 2005).

Evita-se extinguir-se um determinado recurso para que a diversidade das fontes energéticas continue e a manutenção da vida vegetal aconteça. O desafio de produzir sustentavelmente é uma premissa para o sucesso das organizações (ALMEIDA e BRAZ, 2009).

A energia elétrica é uma das fontes energéticas mais versáteis, tornando-se indispensável além de ser um recurso estratégico para o desenvolvimento socioeconômico de países e regiões (ANEEL, 2005). Existem diversas formas de se gerar energia, e uma delas é através do fogo, que é um dos principais agentes que perturbam ecossistemas da terra.

O fogo é utilizado, para a geração de energia pelos homens, transformando florestas, principalmente em regiões de ecossistemas tropicais e subtropicais. A ignição antropogênica do fogo em florestas tropicais também está relacionada a propagação de fazendas, estradas e assentamentos, fornecem fontes ignição em áreas da floresta cada vez mais amplas (NOGUEIRA et al., 2017).

Numerosos estudos mostram que os incêndios em florestas tropicais vêm ocorrendo com maior periodicidade nas últimas décadas (ELYOUNSSI et al., 2012; NOGUEIRA et al., 2007; PARTHASARATHY et al., 2013; SAHU et al., 2010; VASCONCELOS et al., 2013).

O equilíbrio biológico da floresta e o clima global são ameaçados por meio do aumento da concentração de CO_2 devido, principalmente, a incêndios florestais, segundo Vasconcelos et al. (2013). Os impactos oriundos dessas queimadas terão implicações significativas quanto ao futuro da floresta Amazônica, pois existe um aumento expressivo da probabilidade de incêndios em função do aumento da frequência de eventos de seca como previsto por

Modelos de Circulação Geral (GCMs) (NOGUEIRA et al., 2007; VASCONCELOS et al., 2013).

A liberação de largas quantidades de carbono para atmosfera na Amazônia é causada, principalmente, pelas queimadas e incêndios florestais, como resultado da queima de biomassa vegetal. Esse carbono, liberado basicamente na forma de gás carbônico, colabora para o aquecimento global através do efeito estufa (CANETTIERI, 2014).

Núñez-Regueira et al. (1997, 2000) determinou os valores de inflamabilidade e poder calorífico de várias espécies da floresta a fim de criar mapas de risco de incêndio no cenário de prevenção de incêndio florestal.

A combustão de biomassa lança uma ampla variedade de compostos gasosos e particulados com expressiva implicação nos ciclos atmosféricos e biogeoquímicos. Dessa forma, é essencial a realização da quantificação desta emissão para antever impactos ambientais. Ainda que se tenha de vários estudos científicos na área de monitoramento da emissão de gases oriundos da combustão de diferentes biomassas em florestas nas últimas duas décadas, as emissões globais e regionais de alguns desses compostos ainda não são tão conhecidas (CANETTIERI et al., 2018; DONKELAAR et al., 2011; MCALLISTER et al., 2012; ZHANG et al., 2013).

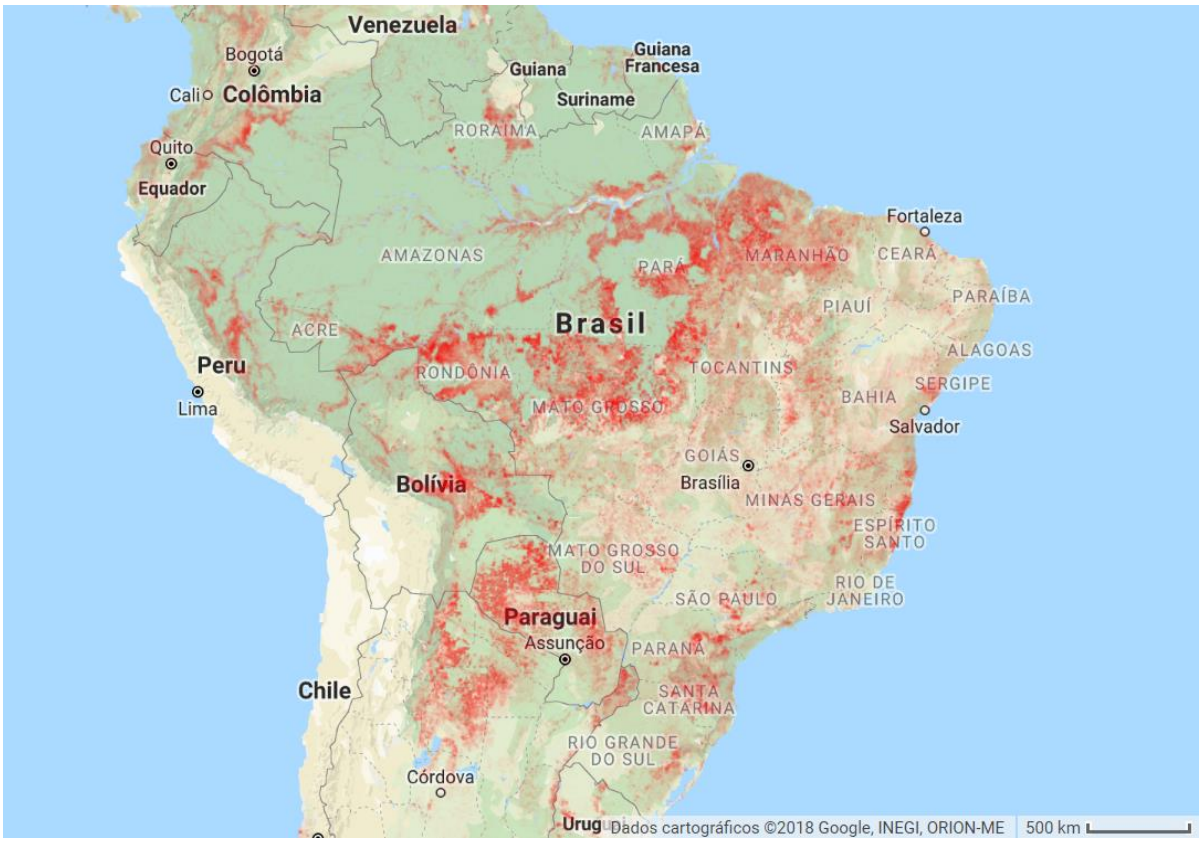
O Bioma Amazônico é constituído principalmente por floresta tropical e nele estão localizados os estados do Pará, Amazonas, Amapá, Acre, Rondônia e Roraima e algumas partes do Maranhão, Tocantins e Mato Grosso. Este bioma passa por dificuldades de sobrevivência por ações humanas adversas, entre elas o desmatamento, as queimadas, entre outras que representam os principais problemas ambientais como, por exemplo, as mudanças climáticas em todo o planeta, gerando o aquecimento global. Segundo Andreae e Merlet (2001), aproximadamente 17000 km^2/ano das florestas primárias são queimadas no Brasil.

Segundo o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE (2018), a taxa média de desmatamento na floresta Amazônica em 2012 foi por volta de 15.815 km^2/ano. Em 2013 a área desmatada chegou à aproximadamente 763.000 km^2, de acordo com o Nobre (2013), no relatório de avaliação do futuro climático Amazônico em parceria com o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE e com o Centro de Ciência do Sistema Terrestre – CCST.

Essa área desmatada equivale a 184 milhões de campos de futebol, três vezes a área do Estado de São Paulo, ou duas vezes a extensão territorial da Alemanha. Essa taxa de desmatamento foi decrescendo a partir de 2008, entretanto, no ano de 2017, calculou-se um desmatamento de 6947 km, representando um número bastante significativo.

A Figura 1 mostra o desmatamento acumulado desde 2000 (vermelho mais fraco) a 2017 (vermelho mais forte) na América do Sul, segundo os mapas interativos disponibilizados pela Universidade de Maryland através das pesquisas realizadas por Hansen et al. (2013).

Figura 1 - Desmatamento acumulado (vermelho) de 2000 a 2017



Fonte: Hansen et al. (2013).

Somente na Amazônia, as emissões de segunda ordem, provenientes de queimadas anteriores e absorção do carbono calculado pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – Emission Model - INPE-EM (2018), foram de 398 Mega toneladas de CO_2 por ano em 2017. A proporção desses gases depende do tipo de material queimado e das condições da queima. As queimadas também provocam um aumento da temperatura do solo, aumentando o fluxo de CO_2 no solo.

Com o processo de industrialização, desenvolvimento e a expansão das cidades, as questões ambientais são determinantes para o futuro da humanidade, principalmente nessa era da indústria automatizada e altamente tecnológica. Segundo Canettiei *et al.* (2018), as altas demandas energéticas, preservação ambiental e independência econômica resultam em governos que tem como objetivo diversificar a matriz energética e investir em alternativas de

fontes de energias renováveis, levando em consideração que combustíveis fósseis são recursos finitos e passíveis de poluição ambiental.

Diante desde cenário, de busca pelo equilíbrio ambiental, desenvolvimento sustentável e a crítica emissão de gases de efeito estufa (GEE), a preservação de áreas florestais e proteção de áreas urbanas, o conhecimento das espécies vegetais quanto as suas características físico-químicas, microestruturais e seu poder calorífico são estudos de extrema importância.

Desta forma, as madeiras utilizadas neste trabalho foram caracterizadas com o objetivo de avaliar o potencial tecnológico e com isso, gerar conhecimentos fundamentais e práticos em relação a suas propriedades físico-químicas. Baseado no perfil de suas propriedades técnicas pode-se fazer recomendações para o uso e manejo sustentável de cada uma das espécies de madeira. O conhecimento técnico desses recursos florestais é fundamental para promover seu melhor aproveitamento, assegurando sua existência.

1.1 QUESTÃO DE PESQUISA, OBJETIVOS E DELIMITAÇÃO

1.1.1 Questões de Pesquisa

Norteando este trabalho, podem-se levantar algumas questões de pesquisa mais específicas às quais serão respondidas neste estudo como: Qual é a importância da preservação ambiental? Quais as características da madeira que influenciam na queima da biomassa? Existe uma diferença entre as madeiras que interfere no processo de combustão? Quais as melhores características para uma madeira ser utilizada em processos de queimada? Entre outras.

A Figura 2 mostra de forma visual as questões que orientam esta composição que possui a intenção de contribuir para o arsenal de trabalhos relacionados a caracterização de biomassa.

Figura 2 - Questões norteadoras da pesquisa

Fonte: Produção do próprio autor.

1.1.2 Objetivo Geral

O presente estudo propõe realizar a caracterização físico-química das madeiras mais comuns encontradas no Bioma da Amazônia visando à compilação desses dados para a composição de uma base de dados de referência na prevenção e controle de incêndios florestais, a fim de preservar o meio ambiente.

1.1.3 Objetivos Específicos

O objetivo específico deste trabalho é determinar os principais componentes da madeira, tais como, celulose, hemicelulose, lignina total (solúvel e insolúvel), extrativos e cinzas; além de relacionar com alguns valores de poder calorífico superior apresentados pela literatura.

1.1.4 Delimitação

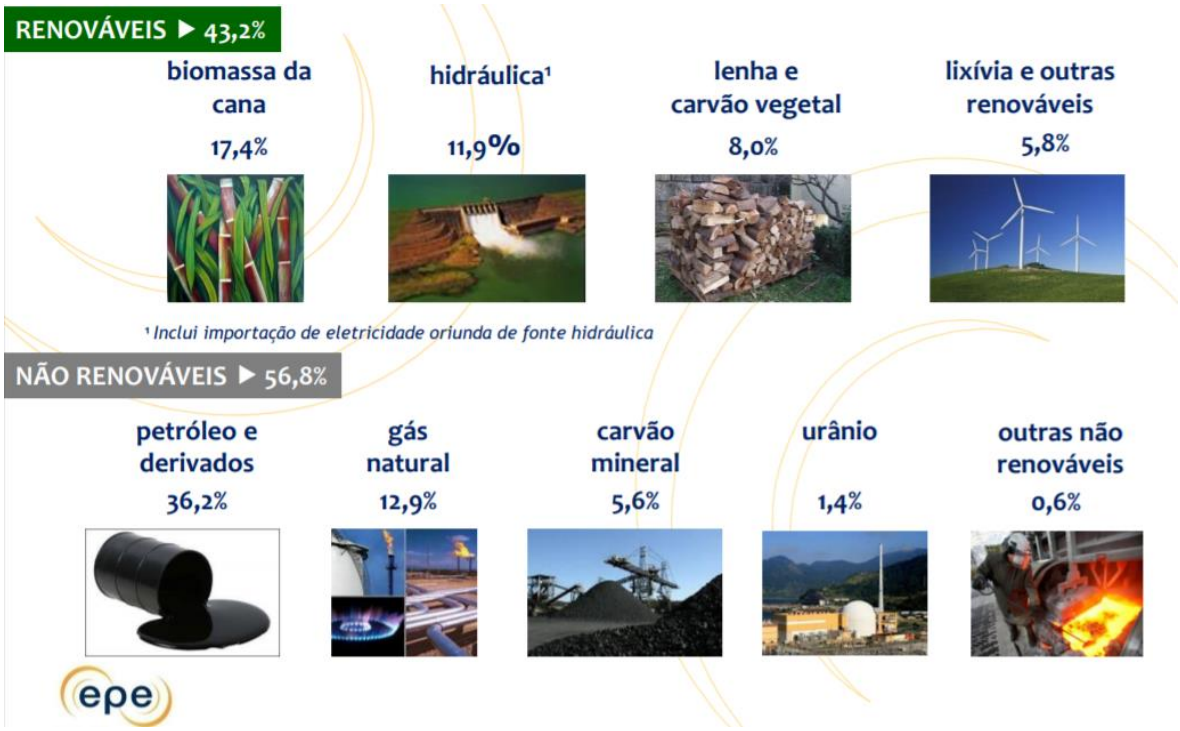
Este trabalho delimita-se a caracterizar amostras de madeiras mais comumente encontradas no Bioma da Amazônia coletadas em território brasileiro, na região de Alta Floresta, MT, Cruzeiro do Sul e Rio Branco no Acre.

1.2 JUSTIFICATIVA

Segundo a ANEEL (2015), ao longo dos anos, com a exaustão de fontes não renováveis, a necessidade da utilização de fontes renováveis poderá resultar em um maior aproveitamento energético da biomassa. Nos dias de hoje, a biomassa vem sendo utilizada, cada vez mais na geração de calor e eletricidade, essencialmente em sistemas de cogeração e no suprimento de eletricidade para demandas isoladas da rede elétrica.

A Figura 3 mostra que 43,2% da fonte de energia do Brasil são renováveis, sendo 8% provenientes de lenha e carvão vegetal (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA - EPE, 2018).

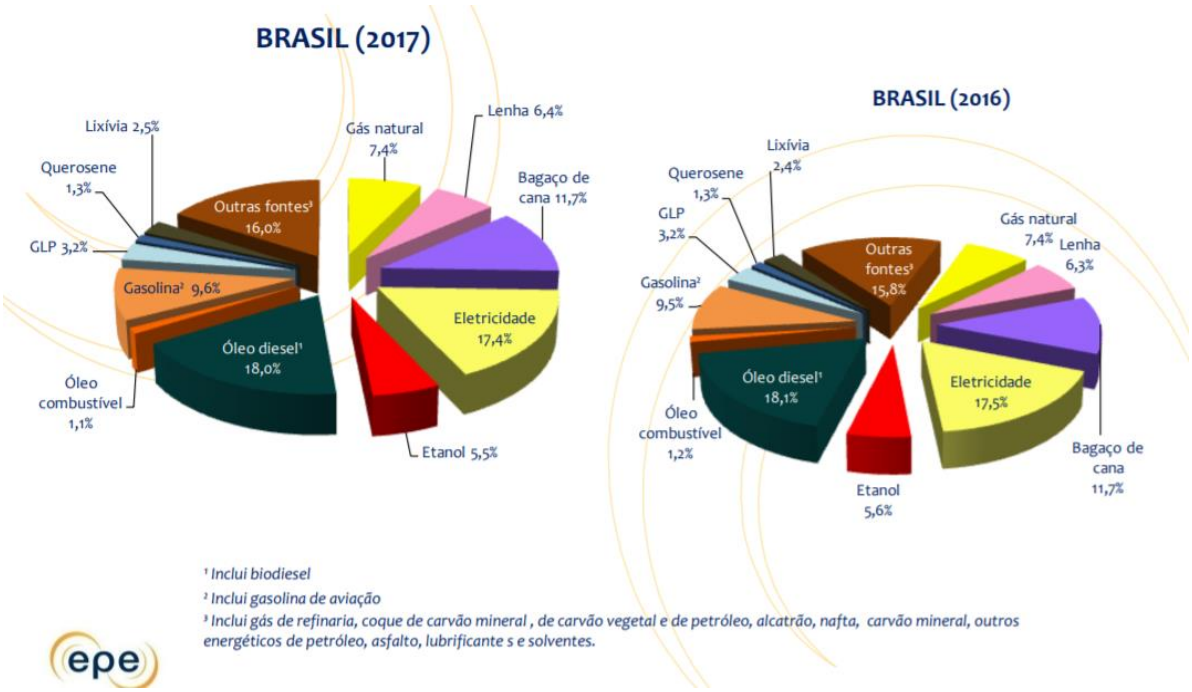
Figura 3 - Oferta de energia no Brasil



Fonte: EPE (2018).

Procura-se sempre a melhoria contínua em produção energética, e o sistema de cogeração de energia é uma forma de economizar até 30% de combustível, utilizando-se a queima de biomassa para o aquecimento de caldeiras nesses processos, melhorando a eficiência térmica do sistema em até 90% (ANEEL, 2005). Segundo a Figura 4, é possível entender o consumo de energia por fonte, sendo que no Brasil, em 2017, 6,4% do consumo energético brasileiro era proveniente da combustão de lenha.

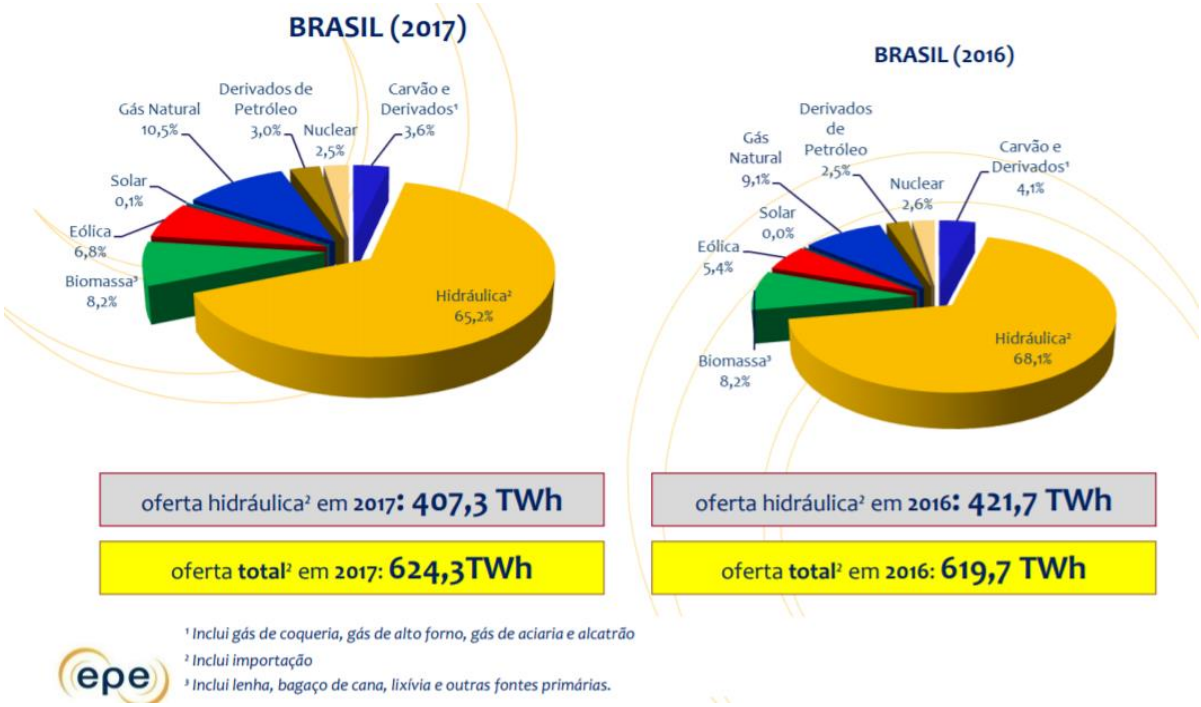
Figura 4 - Consumo final de energia por fonte



Fonte: EPE (2018).

Segundo o Banco de Informações de Geração – BIG da ANEEL (2018), o Brasil possuí 7131 empreendimentos produtores de energía enétrica em operação, totalizando 160162317 kW de potência instalada, sendo que 3000 são Usinas Termo Elétricas (25,8 %), que utilizam biomassa para a produção de energia. A Figura 5 mostra a matriz de energia elétrica brasileira, sendo que a fatia da biomassa está em 8,2% em 2017, segundo o EPE (2018).

Figura 5 - Matriz brasileira de energia elétrica



Fonte: EPE (2018).

Todavia, a queima dessa biomassa, seja para a geração de energia ou para outros motivos, gera os gases de efeito estufa, e foi estimado, que os gases provenientes das queimadas de biomassa, contribuem com cerca de 20% para o aquecimento do planeta (WARD *et al.*, 1994).

A Amazônia é dominante em território brasileiro e possui diversos programas do governo brasileiro e de organizações não governamentais a fim de monitorar a degradação e desmatamento da floresta amazônica, além de monitorar o efeito dos gases de efeito estufa.

Após as grandes conferências ambientais, a movimentação de Organizações Não-Governamentais - ONG's e da sociedade nas décadas de 60 e 70 do século passado, a tratativa de assuntos relacionados ao meio ambiente passou a ser singularmente importante, colocando em foco uma preocupação "verde", chamada por Almeida e Braz (2009), por "Despertar Ambiental".

A necessidade urgente de investigação do ecossistema de florestas naturais tem sido apontada como uma ferramenta para o estudo da biosfera e seus componentes. As propriedades físicas das espécies influenciam na resistência e performance mecânica durante um processo industrial (TENÓRIO *et al.*, 2015 apud WIEMANN e WILLIAMSON, 1989).

Todavia, o foco principal desde estudo está na determinação das propriedades químicas das madeiras. Tenório *et al*. (2015), afirmam que é importante conhecer as várias possibilidades de uso das espécies nativas de plantações, e para tanto existe uma significativa demanda em relação ao conhecimento das suas propriedades, suas variações e diferenças entre espécies.

Esta pesquisa irá proporcionar o conhecimento das características das principais madeiras da região de estudo. As espécies estudadas foram selecionadas por serem mais representativas e disponíveis da região. O conhecimento adquirido poderá auxiliar no planejamento de controle do fogo, proteção e manutenção das florestas e reflorestamento.

Com o aumento da utilização de madeiras, o reflorestamento se faz necessário para a manutenção da flora e fauna brasileira. O reflorestamento com espécies nativas é caracterizado por uma promessa de produtividade, desenvolvimento em áreas degradadas, benefícios nutricionais para a fertilidade do solo e a possibilidade de desenvolvimento de sistemas agroflorestal, silvopastoril, fixação e sequestro de carbono entre outros benefícios em longo prazo (TENÓRIO *et al*., 2015 apud MONTAGNINI, 2000)

A partir da união da engenharia e do conhecimento das principais características das biomassas, é possível realizar a queima das madeiras de forma sustentável e eficiente, sem esgotamento do bioma e com vantagens quanto ao uso racional destes materiais lignocelulósicos. Gerando assim, boas práticas no controle das emissões de CO_2 e enxofre, preservação do meio ambiente e reflorestamento, visando um crescimento sustentável do mundo, em harmonia com seu ambiente.

1.3 ESTRUTURA

Em um primeiro momento, na introdução, este trabalho tem a pretensão de evidenciar a importância do conhecimento das características das biomassas a fim de conquistar patamares mais embasados para a preservação do meio ambiente.

Logo mais, no referencial teórico, serão apresentadas de forma objetiva as referências dos assuntos que serão abordados na pesquisa de ação como: Bioma Amazônico, Extrativos, Cinzas, caracterização de biomassa e outros conteúdos necessários para o entendimento dos tópicos ao decorrer do trabalho.

A seguir, no método, é possível compreender a sistematização utilizada neste trabalho para que a pesquisa pudesse ser realizada com êxito além dos principais materiais e métodos utilizados para a caracterização.

Ademais, no desenvolvimento deste estudo, é realizado a apresentação das biomassas utilizadas, o passo a passo da caracterização das madeiras através das análises laboratoriais além das equações utilizadas e discussão dos resultados obtidos em cada etapa.

Na conclusão, os resultados são relacionados com a importância do conhecimento da biomassa. As questões de pesquisas são respondidas além da enunciação de propostas para estudos futuros. Por fim, ainda são enumeradas dificuldades, riscos e oportunidades encontrados ao decorrer das análises que poderão ser levados em conta em outras aplicações da metodologia aqui utilizada, ao serem eventualmente replicadas em outras biomassas similares.

Ao final, as referências bibliográficas empregadas nesta pesquisa são mencionadas, além da bibliografia consultada.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

As condições para a produção e uso energético da biomassa em larga escala no Brasil é favorável devido à imensa superfície territorial, com ótimas condições, localizada, predominantemente, em regiões tropicais e chuvosas. A biomassa apresenta grande potencial no setor de geração de energia elétrica, além da produção de álcool, queima em fornos, caldeiras e outros usos não comerciais (ANEEL, 2005).

Apesar do grande potencial energético, a biomassa, proveniente das madeiras de florestas, pode ser um foco de degradação ambiental, se não for explorada de forma consciente e sustentável. Segundo os anais da FAO (2011), as primeiras referências à indústria sustentável apareceram no início dos anos de 1990, entretanto este assunto foi ganhando mais importância com o tempo, colocando em foco uma preocupação "verde", segundo Almeida e Braz (2009).

As definições de uma indústria florestal sustentável dependem de vários fatores: melhoria em eficiência energética, processos produtivos com menos desperdícios, conservação de recursos, utilização de materiais seguros e ambientalmente sustentáveis, condições seguras de trabalho e capacidade de recursos humanos. No entanto, a sustentabilidade econômica deve ser o foco entre essas considerações para que se tenha melhorias contínuas na produtividade, além de lucros, que são requisitos fundamentais para a viabilidade econômica da indústria (FAO, 2011).

A fim de aumentar a eficiência do processo e conter os impactos socioambientais, é necessário o aperfeiçoamento e desenvolvimento de tecnologias de conversão mais eficientes como a pirólise e a gaseificação, além da utilização da cogeração empregando-se a biomassa como fonte energética, presente em 30% dos empreendimentos brasileiros (ANEEL, 2018).

A combustão de biomassa, ou pirólise, tem como emissão uma mistura complexa de gases e particulados na atmosfera. Alguns hidrocarbonetos de baixo peso molecular, metano (CH_4) cooperam para o aumento do famigerado efeito estufa (CRUTZEN & ANDREAE, 1990). De acordo com Ramanathan *et al.* (1985), pode-se evidenciar que outros gases, CO, CO_2, N_2O e CH_3Cl, que também compõem os gases emitidos, contribuem para o agravamento do problema do efeito estufa.

O tipo de combustível e as características do fogo influenciam diretamente na composição desses gases provenientes da queima de biomassa. Essa influência pode ser devido a parâmetros como: carga de combustível e intensidade de chama, composição do combustível e teor de umidade, meteorologia (condições de ventos) e tipo de combustão, ou

seja, na forma de uma chama e/ou na forma de um carvão incandescente queimando (GRIFFITH *et al.*, 1991).

Todos esses fatores determinam a eficiência de queima, que pode ser definida como a fração de carbono emitido em forma de CO_2 (gás carbônico) em relação ao carbono total existente na biomassa, sendo que a unidade indica a completa transformação de todo o carbono para CO_2. Todavia, em sistema abertos, a queima da biomassa nunca alcança a eficiência de 100%. Dessa forma, muitos compostos derivados desta combustão ineficiente podem ser encontrados em quantidades bastante expressivas (GRIFFITH *et al*., 1991).

É possível destacar outro aspecto, que a composição elementar dos biocombustíveis que exerce influência na emissão de compostos que contenham nitrogênio, enxofre e halogênios. Aumentos absolutos significativos e percentuais desta emissão são projetados para o futuro, baseados nas previsões de aumento demográfico (CRUTZEN & ANDREAE, 1990). Tal raciocínio pode ser extrapolado para o Brasil, um país de extensão continental, com a ocorrência atual do aumento demográfico que certamente acarretarão em aumentos de emissão gasosas para a atmosfera, provenientes da queima de biomassa.

O presente trabalho agregou conhecimento de grande relevância como referência a prevenção e controle de incêndios, além de servir de apoio para trabalhos futuros na área de aproveitamento de resíduos lignocelulósicos para produção de etanol e biodiesel, uma vez que as características desses resíduos são muito similares as da matéria-prima em estudo e, portanto potencializa o uso dessas biomassas para geração de calor (queimadores pirolíticos, combustão direta e/ou gaseificação).

A importância de uma gestão ambiental é evidente, uma vez que exerce extrema influência ao planeta e consequentemente à sociedade. A periculosidade e complexidade proveniente dos resíduos industrias gerados podem acarretar problemas graves, e até irreparáveis, em âmbito ambiental e social. Tendo em vista todo este cenário, o papel do engenheiro de produção se faz preponderante dentro desta realidade, visto que os resíduos gerados pelas organizações, provém de processos produtivos que devem ser estudados e melhorados para que os impactos ambientais sejam os menores possíveis (ALMEIDA e BRAZ, 2009).

Desta forma, o trabalho aqui desenvolvido pode ser utilizado como base para uma aplicação mais assertiva da metodologia em outras áreas a fim de aumentar o conhecimento das madeiras e consequentemente, sua utilização de forma consciente e sustentável.

2.1 BIOMASSA

Pode-se dizer que a biomassa é uma fonte de energia solar indireta, assim como a energia hidráulica e outras fontes renováveis. A energia que provém do sol é transformada em energia química, através da fotossíntese, base dos processos biológicos de todos os seres viventes (ANEEL, 2018).

Segundo a Aneel (2018), entre várias biomassas existentes, pode-se destacar os vegetais não lenhosos, os vegetais lenhosos os resíduos orgânicos e os bioflúidos, que tem uma eficiência energética não tão alta quanto algumas outras fontes de energia não-renováveis. Ainda de acordo com a Aneel (2018), embora a eficiência proveniente da biomassa seja reduzida, ela pode ser aproveitada diretamente através da combustão em fornos, caldeiras e etc.

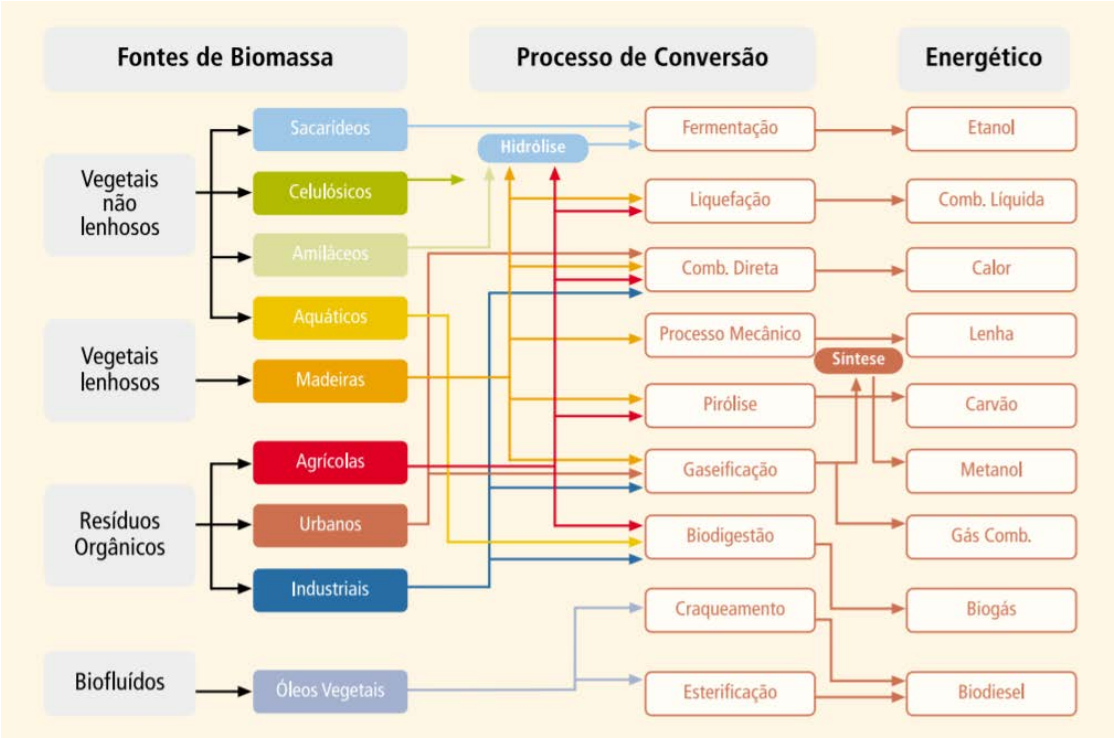
Diferente do petróleo, a biomassa é renovável, amplamente disponível e, a matéria prima de algumas biomassas, pode ser considerada estritamente como resíduos: resíduos florestais, estrume e óleos e gorduras usados (SERRANO-RUIZ, 2011).

A conversão da biomassa pode ser realizada por três diferentes processos (ANEEL, 2018):

1. Combustão direta (com ou sem processos físicos de secagem, classificação, compressão, corte/quebra etc.);
2. Processos termoquímicos (gaseificação, pirólise, liquefação e transesterificação);
3. Processos biológicos (digestão anaeróbia e fermentação).

O presente estudo tem como foco o entendimento da influência das características das madeiras para a utilização da biomassa no processo termoquímico. Os principais processos de transformação da biomassa em energéticos citados anteriormente podem ser observados na Figura 6.

Figura 6 - Processos de transformação de biomassa em energia



Fonte: Aneel (2018).

Da Figura 6 é possível salientar o fluxo de tranformação da de vegetais lenhosos, portando, a utilização de madeiras como biomassa utilizado em indústrias e outros setores que necessitam de energia. Os tipos de biomassa podem sofrer diversos processos de conversão, todavia, este trabalho estuda a biomassa caracterizada como vegetais lenhosos, que entre outros aspécts impactam com as, queimadas de florestas e liberação de gases de efeito estufa (WARD et al., 1994).

As madeiras são fontes de energia renováveis, segundo Canettieri et al. (2013), os elementos químicos presentes nos materiais lignocelulósicos variam dependendo da origem e tipo da biomassa vegetal: Carbono, hidrogênio e oxigênio são os principais elementos desses materiais.

Carbono e hidrogênio formam CO_2 e H_2O durante a reação de combustão (reações exotérmicas). Os teores de Carbono e Hidrogênio contribuem positivamente no poder calorífico superior (PCS) ou *Higher Heating Value* (HHV) em inglês, enquanto que o Oxigênio negativamente. O teor de hidrogênio exerce influência no poder calorífico inferior (PCI) devido à formação de água. Maiores teores de C na biomassa, explicam seus valores superiores de PCS. Em processos de combustão completa, há a formação de CO_2, enquanto

que em combustão incompleta, há formação de carbono não queimado, sendo a origem de poluentes tais CO, hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPAs), fuligens e alcatrões que contribuem para o aumento dos gases de efeito estufa (CANETTIERI, 2013).

O PSC é um indicador de energia da biomassa, podendo ser calculado empiricamente, através de equações envolvendo a quantidade de lignina insolúvel ou então, pode ser determinado através de análises experimentais.

O conhecimento em relação ao PCS auxilia a prever o comportamento do fogo em relação a ignição das madeiras e florestas, permitindo um mapeamento de regiões que sejam mais sucetíveis ao espalhamento do fogo, protegendo essas áreas de forma mais efetiva. Além disso, é possível também, entender o potencial de queima de biomassas utilizadas como combustível e se o seu uso faz sentido ou se deve ser trocado para uma utilização mais eficiente da biomassa.

Segundo seus estudos com madeiras, Dermibas (2001), exibiu valores de PCS em relação à componentes de suas amostras: Celulose e hemicelulose com 18,60 $MJ.kg^{-1}$, enquanto a lignina apresentou PCS de 23,26$MJ.kg^{-1}$ a 26,58$MJ.kg^{-1}$. Dessa forma, concluiu-se que, para um combustível lignocelulósico, o PCS está altamente relacionado ao teor de lignina (DERMIBAS, 2014).

2.1.1 Bioma da Amazônia

A região da América Latina e Caribe são providas de recursos florestais abundantes, segundo a *Food and Agriculture Organization of The United Nations* - FAO (2011), 49% da área total desdás regiões era coberta por florestas em 2010. Estimado em 891 milhões de hectares, representa por volta de 22% da área florestal do planeta Terra.

O Brasil está entre os cinco países do mundo com maior riqueza em florestas (Brasil, Peru, Colômbia, Bolívia e Venezuela). Este fato se dá pois têm 13% da área florestal mundial, restando 83% de área florestal da região para os outros quatro países. Além disso, o Brasil é o país com maior extensão da floresta tropical (FAO, 2011).

O Bioma Amazônico é constituído principalmente por floresta tropical, com 5,5 milhões de quilômetros quadrados e segundo dados coletados para o projeto "Amazônia Protege" do Ministério Público Federal – MPF (2018), a Amazônia tem sua extensão distribuídas em nove países: Brasil, Peru, Colômbia, Venezuela, Equador, Bolívia, Guiana, Guiana Francesa e Suriname. No Brasil, o Bioma Amazônico está predominantemente nos estados do Pará, Amazonas, Amapá, Acre, Rondônia e Roraima e algumas partes do Maranhão,

Tocantins e Mato Grosso. A Figura 7 ilustra, geograficamente a localização do bioma amazônico.

Figura 7 - Extensão territorial do Bioma Amazônico

Fonte: MPF (2018).

Ainda segundo o projeto "Amazônia Protege" do MPF (2018), a floresta amazônica é essencial para a manutenção humana: "A floresta garante as chuvas para boa parte da América do Sul e tem papel central no combate ao aquecimento global e às mudanças climáticas".

Além disso, a Amazônia abriga imensa biodiversidade, com inúmeras espécies de plantas e animais, muitas delas ainda desconhecidas ou pouco estudadas, o bioma amazônico é também, o berço da maior bacia hidrográfica do mundo além de estocar cerca de 80 e 120 bilhões de toneladas de carbono. Dessa forma, o desmatamento é afirmado como degradante de toda essa riqueza predominante no território brasileiro (NOBRE, 2014 e MPF, 2018).

A floresta Amazônica apresentou altas taxas médias de desmatamento entre 2000 e 2011, valor calculado em 2012 (INPE, 2018). Dessa forma, a importância de conhecer o Bioma da Amazônia se faz relevante para que sua preservação seja constante e conscientize as empresas que venham a utilizar algumas espécies de madeira como matéria prima para fins diversos, tanto para geração de energia. A Figura 8 ilustra a triste realidade do desmatamento florestal na Amazônia.

Figura 8 - Desmatamento na Amazônia

Fonte: Nobre (2014).

2.2 CARACTERIZAÇÃO DE BIOMASSA

Com o crescente uso da Biomassa como fonte renovável de energia, se faz necessário conhecer seus componentes, através das análises de caracterização química a fim de proporcionar o uso consciente e sustentável desses materiais lignocelulósicos.

Cada planta possui diversos componentes como lignina, celulose e hemicelulose, em diferentes quantidades. Por esta razão, para Moraes et al. (2010), o conhecimento das potencialidades de cada fonte de biomassa, bem como suas limitações é de extrema importância.

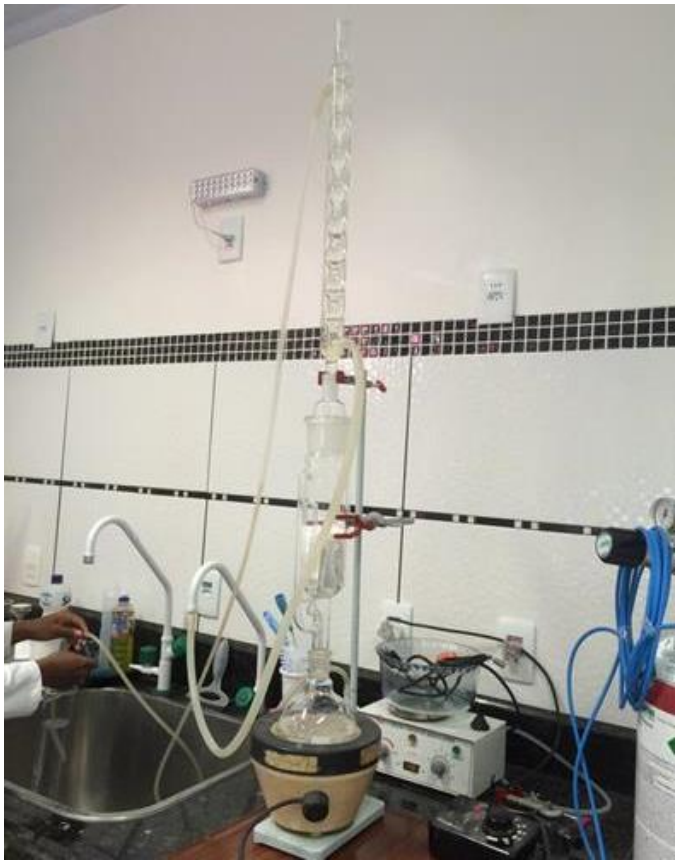
A caracterização pode ser realizada com diferentes métodos, para diferentes tipos de amostra, todavia, no geral é composta da quantificação de: teor de umidade, teor de extrativos e cinzas, determinação de hemicelulose, celulose e lignina (FAITA, 2015; MORAES et al., 2010).

Para a caracterização de biomassa, é necessário remover materiais não estruturais antes das análises, principalmente para evitar interferências nos posteriores procedimentos analíticos (SLUITER et al., 2015).

O procedimento de extração pode ser realizado utilizando-se de álcool e/ou água. A utilização da água retira elementos solúveis à água, como: materiais inorgânicos, açúcares não estruturais, materiais nitrogenados além de outros. A utilização do álcool faz a extração dos elementos solúveis a ele, como: clorofila, ceras e outros componentes menores (SLUITER et al., 2015). O presente trabalho utilizou etanol para o processo de remoção dos extrativos.

Segundo Sluiter et al. (2005), os componentes não estruturais são aqueles elementos que possuem uma ligação não química com os componentes da biomassa que incluem, mas não se limitam, a sucrose, nitritos/nitratos, proteínas, clorofilas, ceras e cinzas. Dessa forma, a biomassa livre de extrativos é aquela que sofreu todo esse processo chamado de extração exaustiva, utilizando-se ciclos com o aparelho Soxhlet. A Figura 9 mostra um aparelho Soxhlet montado.

Figura 9 - Montagem final do aparelho Soxhlet



Fonte: Faita (2015).

Um ciclo Soxhlet é mensurado a partir de um montante de tempo desde o início de uma sifonação até o início da próxima sifonação do extrator, segundo a metodologia utilizada neste

trabalho (GOUVEA et al., 2009; SLUITER et al., 2015). A extração exaustiva para a metodologia Soxhlet, utilizando-se água, geralmente leva de 6h a 24h, com no mínimo 4 a 5 ciclos por hora e, utilizando-se álcool, de 16h a 24h, com 6 a 10 ciclos por hora (SLUITER et al., 2015).

Segundo Sluiter (2015), os tempos de extração dependerão da taxa de remoção dos componentes, a temperatura de condensação e a taxa de sifonação. A extração com álcool é mais fácil de retirar os materiais não estruturais e é mais eficiente, enquanto com água, a retirada de extrativos necessita, alguma vezes, ser finalizada com o a utilização do álcool.

Ademais, a umidade das madeiras é, também, um fator a ser caracterizado, valendo-se do auxílio de um forno para a evaporação da água e das massas antes e após o aquecimento. Com as diferenças climáticas, ambientais e geográficas influenciando a composição das madeiras, faz com que a indústria necessite conhecer a composição das madeiras para que sua utilização, de forma sustentável, seja possível.

2.2.1 Composição das madeiras

A variação na composição química entre as espécies de árvores tem influência de fatores como: idade das árvores, secção da árvore, tipo de solo e clima, além do tipo de condução da amostragem (TENÓRIO et al., 2015 apud. BOUGNOM et al. 2011).

Segundo Rocha et al. (2015), materias lignocelulósicos, como as madeiras, são compostos de celulose, hemicelulose, lignina e pequenas quantidades de extrativos e sais minerais.

Moraes et al. (2010), completa essa lista mencionada por Rocha et al. (2015), com alguns outros componentes presentes nos matérias lignocelulósicos, relatando que é possível se obter elementos importantes para a indústria como:

1. Proteínas, aminoácidos e enzimas de interesse industrial;
2. Óleos e gorduras, para a geração de energia e síntese de matérias-primas;
3. Lignina, que pode ser usado como combustível;
4. Hemicelulose, para a produção de espessantes, plásticos, entre outros;
5. Celulose, alternativa para combustível líquido e matéria prima de algumas indústrias.

De acordo com Ramage e Scurlock (1996), a variação das quantidades de lenha utilizadas na pirólise é diretamente influenciada pelo teor de umidade da madeira de origem sendo uma relação diretamente proporcional: quando maior o teor de umidade da madeira, maior a quantidade necessária para a produção do carvão. Dessa forma, a produção de uma tonelada de carvão é proveniente de quatro a dez toneladas de lenha e, produz, além de gás combustível, alcatrão e ácido piro-lenhoso.

Com este exemplo em mente, onde um parâmetro como o teor de umidade influência na utilização da biomassa nos processos produtivos, entende-se claramente as razões segundo Moraes et al. (2010), para a realização da caracterização das madeiras a fim de conhecer melhor as quantidades dos outros elementos presentes nas amostras a fim de se otimizar a utilização da biomassa. Dessa forma, os impactos ambientais se reduziriam.

2.2.1.1 Umidade, Celulose, Hemicelulose e Lignina Solúvel e Insolúvel

O teor de água presente nos matérias lignocelulósicos é representado pelo teor de umidade. A forma mais usual para a quantificação deste parâmetro é envolvendo o aquecimento das amostras em forno por um tempo suficiente para ocorrer a evaporação total da água. Com as medidas de massa antes e após este procedimento, é possível determinar o teor percentual de água na amostra, ou seja, a umidade (MORAES et al., 2010).

Segundo Serrano-Ruiz (2011), lignocelulose é um material polimérico composto por três unidades primarias, complementadas pelas funções industriais indicados por Moraes et al. (2010):

1. Celulose – Polímero cristalino com unidades de glucose; capaz de ser substituta do carvão, que é um combustível sólido que ainda pode ser convertido em combustível gasoso e tornando -se uma melhor alternativa do que à utilizada pela indústria petroquímica;
2. Hemicelulose – Polímero amorfo com cinco C5 diferentes e C6 açúcares; matéria-prima para a produção de espessantes, adesivos, emulsificantes, estabilizantes, edulcorantes, plásticos e etc;
3. Lignina – Polímero tridimensional de propil-phenol envolto por celulose e hemicelulose com capacidade de ser transformada em combustível líquido e em matéria-prima para várias esferas industriais, atendidos, atualmente, pela petroquímica.

Da mesma forma que Serrano-Ruiz (2011), Chen (2014), diz que as paredes celulares de materiais lignocelulósicos consistem principalmente de celulose, hemicelulose e lignina, numa proporção de 4:3:3. Além desses três principais componentes, a biomassa lignocelulósica contém uma pequena quantidade de pectina, compostos nitrogenados e cinzas.

O elemento orgânico mais abundante e biorrenovável é a celulose, além de ser o principal componente da célula dos materiais lignocelulósicos (CHEN, 2014). Sua produção na biosfera é estimada em mais de 1212 toneladas por ano. É constituída por polímeros de glicose de geometria linear que estabelecem ligações de hidrogênio entre as moléculas adjacentes e se agrupam em forma de microfibrilas (MORAES et al., 2010).

Em arbustos, a concentração de celulose constitui por volta de 30%, mais de 80% em madeiras e acima de 90% em fibras de algodão. Segundo Chen (2014), a fibra de algodão é a única celulose natural pura; seu conteúdo de celulose pode chegar a 95-97% e sua cristalinidade é de cerca de 70%.

As fibras de celulose são geralmente retas nas madeiras e no algodão, as fibras são torcidas, fazendo com que sejam mais fortes do que um fio de aço da mesma espessura. A celulose é parte das fibras das paredes celulares, conferindo a elas resistência (IOELOVICH, 2008, MORAES et al., 2010 e CHEN, 2014).

Além disso, a celulose é fonte de carboidratos para animais ruminantes, na indústria, em forma de madeira, é utilizada na fabricação de móveis e materiais para construção civil, e no setor energético, pode ser utilizada como combustível sólido em toras, pellets (pequenas cápsulas fibrosas para alimentação de fornos) e outros formatos. Após a extração da celulose, é utilizada pela indústria têxtil, farmacêutica, alimentícia e na fabricação de papéis. Pode ser empregada também na produção de etanol, solventes, compostos orgânicos e compósitos, a partis de cristais de celulose (MORAES et al., 2010).

Segundo polissacarídeo mais abundante na natureza depois da celulose, a hemicelulose ocorre devido à uma associação da celulose com a lignina e contribui para a rigidez das paredes celulares em tecidos lignificados (SPIRIDONAND e POPA, 2008).

A hemicelulose constitui cerca de 20% a 30% do total da massa de plantas sazonais ou perenes e tem uma composição heterogênea, com uma variedade de unidades de açúcares, dependendo do tipo de planta e processo de extração. Estes açúcares são classificados em xilanos, mananas, arabinanos e galactans (SPIRIDONAND e POPA, 2008).

Na indústria, a hemicelulose é utilizada como fonte de carboidratos na produção de etanol, espessantes, adesivos, coloides protetores, emulsificantes, estabilizantes, furfural e derivados. Segundo Moares et al. (2010), a hemicelulose pode ser utilizada no

aperfeiçoamento de bebidas como cervejas e sucos, no desenvolvimento da digestibilidade de alimentos para animais, a produção de xilitol, utilizado também como adoçante, e a produção de precursores para a síntese de polímeros e resinas.

Os xilanos são os maiores constituintes dos materiais lignocelulósicos e podem ser convertidos em xilose através de hidrólise química ou enzimática, e são utilizados na nutrição animal, de acordo com Moares et al. (2010), por serem menos digeríveis quanto outros amidos e carboidratos, aumentando o tempo de digestão de ruminantes.

Consequentemente, a xilose pode ser convertida, biologicamente, em células proteicas ou em vários tipos de combustíveis e químicos através de processos com a utilização de microrganismos que prometem ser promissores e viáveis do ponto de vista econômico. Pode ser usado também como fonte de carbono para a produção da bactéria glucose isomerase (SPIRIDONAND e POPA, 2008).

Os principais açúcares que compõem a estrutura da madeira são: Celobiose, Glicose, Xilose e Arabinose (FAITA, 2015). A arabinose e a xilose podem ser, geralmente, removidas através de processos de hidrolise com celulases e hidrocelulases (SPIRIDONAND e POPA, 2008).

Um dos maiores constituintes dos materiais vegetais é a lignina, substância aromática mais abundante na biosfera. Parte da composição da parede celular, a lignina confere, impermeabilidade, suporte estrutural e resistência contra-ataques microbianos e estresse oxidativo além da dureza da parede celular (MORAES et al., 2010 e CHEN, 2014).

A lignina é uma molécula complexa, de estrutura tridimensional, composta por unidades de fenilpropano, sintetizada a partir de reações de enzimas, envolvendo radicais livres sobre os álcoois coniferílico, cumarílico e sinapílico. A reação entre esses álcoois forma duas ligações de éter para cada ligação carbono-carbono na lignina (MORAES et al., 2010).

A alta concentração de lignina é uma desvantagem se a madeira for utilizada para a produção de celulose pois é necessário utilizar uma alta quantidade de solvente na produção de celulose (TENÓRIO et al., 2015 apud PEREIRA et al., 2003). O teor de lignina é de aproximadamente 27% a 32% em plantas lenhosas e cerca de 14% a 25% em plantas herbáceas.

2.2.1.2 Extrativos e Cinzas

Para a realização da caracterização, é necessário a quantificação do teor de extrativos, para que este, não influencie na análise das madeiras. Segundo Moares et al. (2010), o teor de

extrativos variam de forma quantitativa e qualitativa em biomassas proveniente de madeiras, entre 2% a 5%, alcançando até 15% em algumas espécies.

Os extrativos, como o nome sugestiona, são elementos que podem ser extraídos de materiais lignocelulósicos, incluindo-se compostos de baixa ou média massa molecular, com uma vasta gama de diferentes moléculas, tais como: alguns sais, açúcares e polissacarídeos (solúveis em água); ácidos ou ésteres graxos; álcoois de cadeia longa; ceras; resinas; esteroides; e compostos fenólicos e glicosídeos (solúveis em solventes orgânicos) (MORAES et al., 2010).

As principais funções fisiológicas desses extrativos são de acúmulo de nutrientes, preservação da madeira em combate a bactérias, fungos e cupins, além de ser responsáveis pela variação das cores e diferentes aromas das madeiras (MORAES et al., 2010).

Ainda, de acordo com Moares et al. (2010): "...(os extrativos) podem ser retirados dos materiais lignocelulósicos, tanto por solventes polares quanto por apolares, que não são componentes estruturais da parede celular", dessa forma, seus compostos são solúveis em água ou álcool, extraídos durante uma extração exaustiva em Soxhlet (SLUITER et al., 2015).

Segundo Sluiter et al. (2015), os elementos solúveis à água são: materiais inorgânicos, açúcares não estruturais, materiais nitrogenados além de outros e, solúveis ao etanol: clorofila, ceras e outros componentes menores. Os extrativos incluem elementos não estruturais que podem interferir, potencialmente, nas análises das amostras da biomassa (SLUITER et al., 2015).

O teor de cinzas, também é um fator que pode ser mensurado ao realizar a caracterização de madeiras através da ignição das amostras, que formam gases e consequente a suspensão de elementos como: carbono, oxigênio, hidrogênio, nitrogênio e enxofre da amostra, ficando apenas os minerais: sódio, potássio, cálcio, magnésio, ferro, zinco e outros (MORAES et al.,2010).

As cinzas, em materiais lignocelulósicos, refletem os minerais presentes na matéria. Podem também, conter resíduos de produtos utilizados durante o preparo da amostra, materiais metálicos que estavam em contato das madeiras ou substâncias acrescentadas intencionalmente (MORAES et al., 2010).

Segundo Tenório et al. (2015), as cinzas possuem elementos micro e macro que são considerados, por alguns autores, tão importantes quanto outros elementos, em se tratando de produção de cinzas, embora esses elementos não tenham uma importância significativa, da perspectiva dos usos da madeira. Este fato se dá devido ao fato de que os elementos das cinzas representam um desperdício necessário de ser manejado. Além disso, esses

componentes são indicadores da quantidade de nutrientes removidos pelas árvores durante seu desenvolvimento.

3 MÉTODO

O método utilizado para a realização deste trabalho é apresentado neste capítulo.

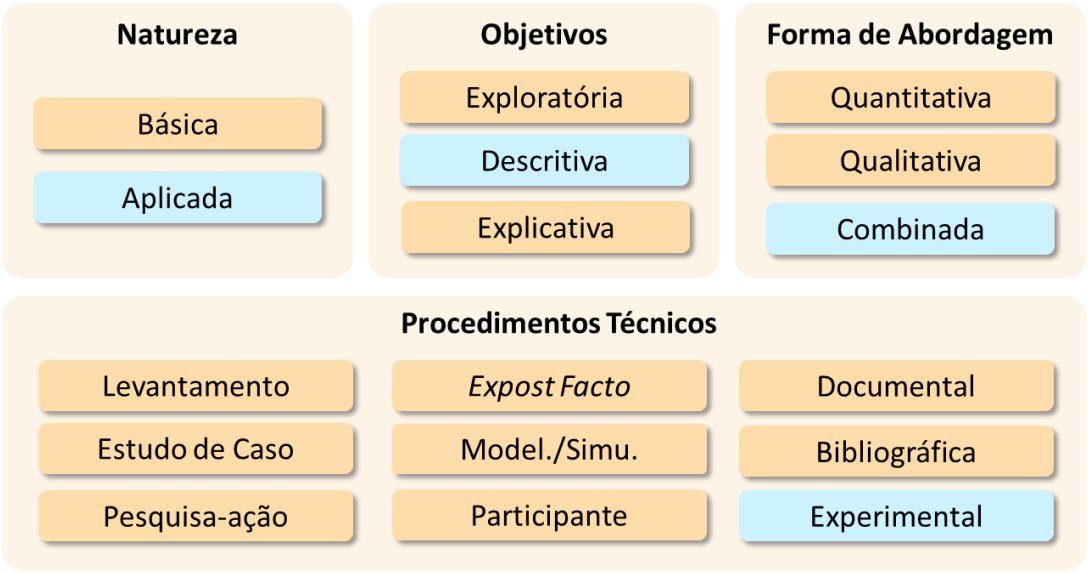
3.1 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA

Segundo Prodanov (2013), a metodologia científica é a padronização de caminhos que a pesquisa cientifica utiliza para desenvolver um tema específico. Desta forma, estes caminhos são utilizados para classificar diversos tipos de pesquisas a fim de se assegurar um rigor científico ao seguir um destes caminhos.

Assim, o objetivo da pesquisa pode ser conquistado de forma sistematizada e com alto grau de criticidade (PRODANOV, 2013).

Sendo assim, segundo os caminhos utilizados no desenvolvimento de seus temas, as pesquisas científicas podem ser classificadas de diversos tipos como presentado na Figura 10.

Figura 10 - Classificação pesquisas científicas com a proposta do presente trabalho



Fonte: Adaptado de Prodanov (2013).

De acordo com a Figura 10 apresentada, o presente trabalho é classificado como pesquisa de natureza aplicada por ter como pretensão, aplicar os conhecimentos gerados na solução de problemas específicos (GIL, 2012; PRODANOV, 2013).

Do ponto de vista de seus objetivos, este trabalho pode ser considerado como descritivo por descrever características de determinado fenômeno, relacionando variáveis estudadas e observadas (GIL, 2012; KOTHARI, 2001; PRODANOV, 2013).

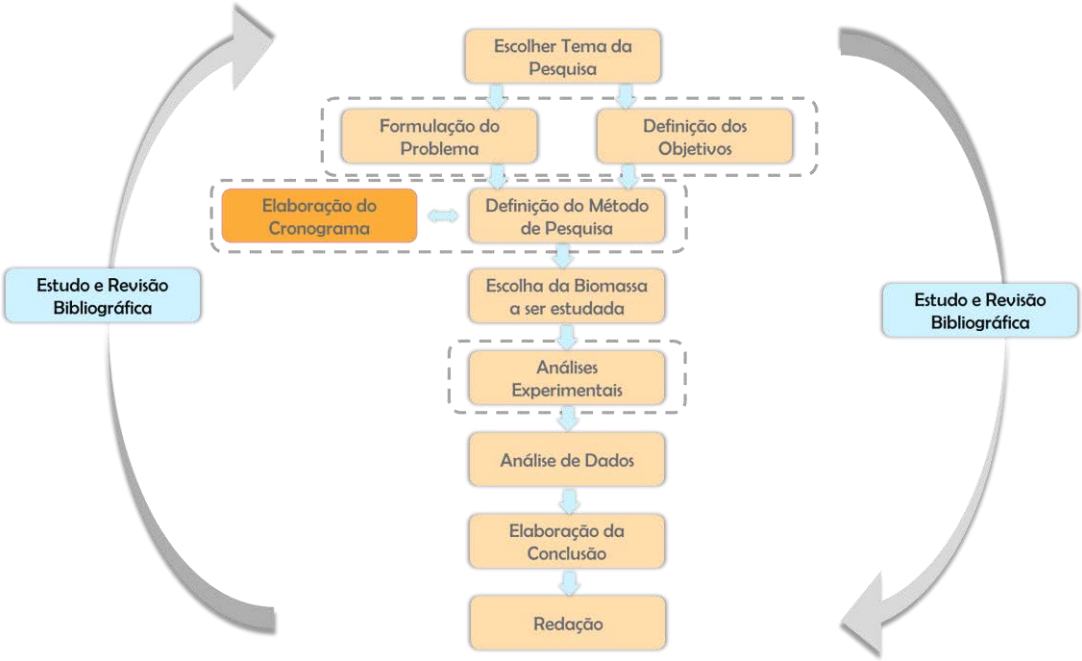
Em relação à forma de abordagem, por traduzir parte das análises traduzidas em números, provenientes de cálculos numéricos, o trabalho seria classificado como quantitativo. Todavia, possuir análises indutivas, é também pode, também, ser tida como qualitativa, sendo, dessa forma, classificada como abordagem combinada (GERHARDT, 2009; GIL, 2012; KOTHARI, 2001; PRODANOV, 2013).

Por fim, o presente trabalho consiste em estudar variáveis do objeto de estudo, em condições conhecidas e controladas através de métodos e protocolos, a fim de se compreender os resultados apresentados pelas amostras, possuindo então, o caráter experimental como procedimento técnico (GIL, 2008; PRODANOV, 2013).

3.2 FLUXO METODOLÓGICO

A Figura 11 ilustra o fluxo metodológico utilizado nesta pesquisa.

Figura 11 - Fluxo da pesquisa deste presente estudo



Fonte: Produção do próprio autor.

Como exibido na Figura 11, esse estudo foi desenvolvido seguindo 11 principais etapas, tendo o Estudo e Revisão Bibliográfica como uma etapa cíclica, que está presente desde o início da pesquisa como ao final dela.

A primeira etapa: Escolher Tema da Pesquisa foi determinante para se compreender a área a ser estudada na pesquisa, seguida de outras duas etapas realizadas paralelamente: a Formulação do Problema, a fim de compreender as necessidades da realização deste trabalho e a etapa da Definição dos Objetivos, que nortearia a forma como o problema formulado seria solucionado.

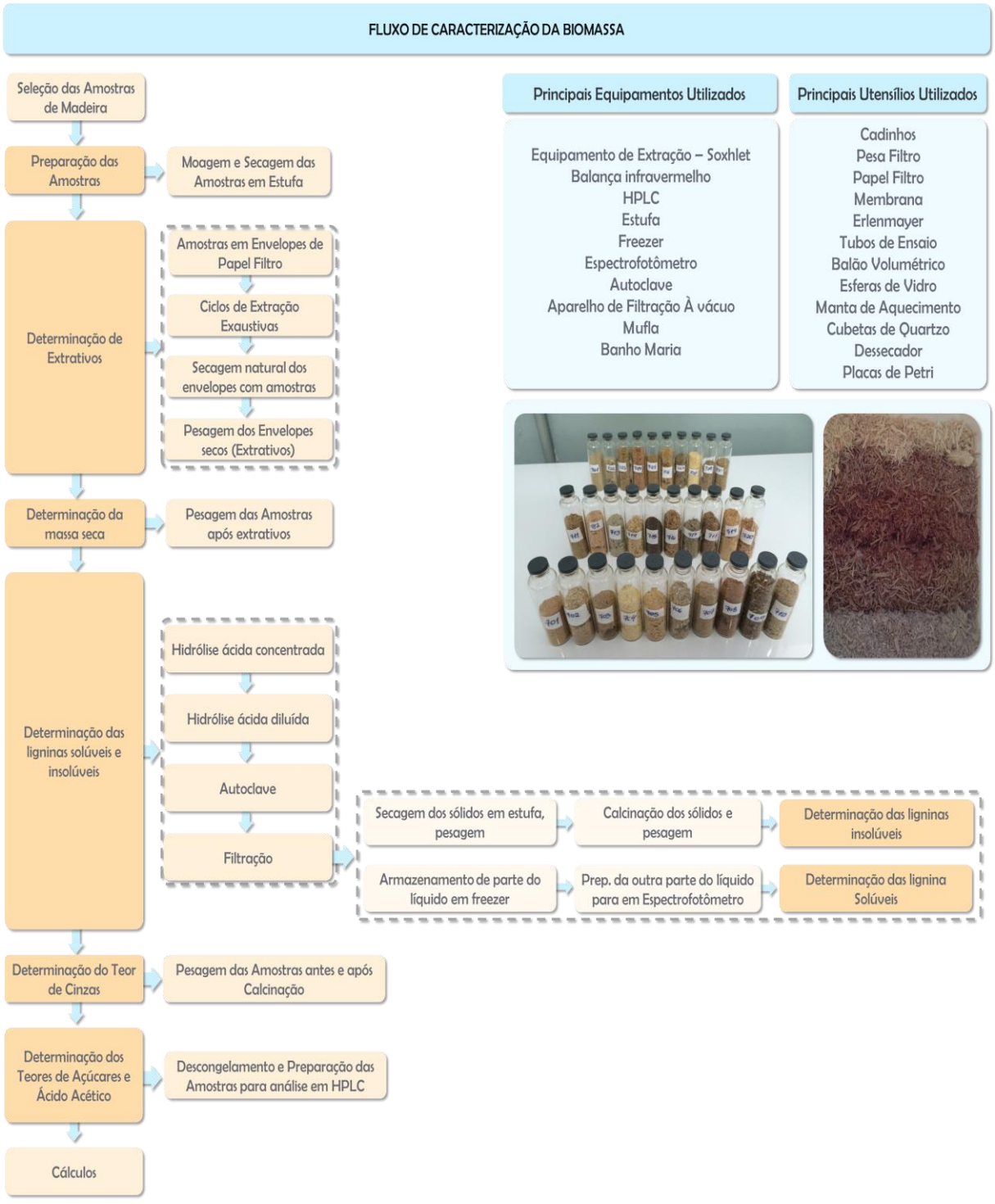
Em sequência, a Definição do Método de Pesquisa foi realizada para que se entendesse o melhor caminho a ser seguido para alcançar o êxito do estudo. Paralelamente, a etapa de Elaboração do Cronograma serviu de base para a definição do método e vice e versa, para que tudo estivesse sistematizado e organizado.

A etapa de Escolha das Biomassas a serem estudadas foi realizada levando-se em conta a problemática a ser investigada, a relevância da matéria e sua disponibilidade. Essa escolha foi possível após todas as definições anteriores. Dessa forma, a etapa prática de Análises Experimentais pode ser planejada, preparada e realizada.

Nesta fase, as análises foram realizadas de acordo com a disponibilidade de recursos: equipamento, laboratório, auxílio de mão de obra, materiais e tempo. Os experimentos realizados com as madeiras do bioma da Amazônia seguiram à um protocolo experimental segundo Gouveia *et al.*, (2009).

O esquema do protocolo de caracterização de biomassa realizado neste presente estudo pode ser observado segundo a Figura 12, além de uma prévia, visual, da amostragem utilizada.

Figura 12 - Fluxograma do processo de caracterização das madeiras



Fonte: Produção do próprio autor.

A Figura 12 resume de forma objetiva os passos realizados neste estudo além de listar de forma simplificada, os principais equipamentos e utensílios utilizados nas análises experimentais.

Os principais passos em relação ao êxito da caracterização podem ser enumerados:

1. Seleção das amostras das madeiras;
2. Preparação das amostras;
3. Determinação dos extrativos;
4. Determinação da massa seca;
5. Determinação das ligninas solúveis e insolúveis;
6. Determinação do teor de cinzas;
7. Determinação dos teores de açúcares e ácido acético;
8. Cálculos das composições das madeiras estudadas.

Dessa forma, é possível acompanhar o desenvolvimento dos experimentos, que seguiram uma ordem lógica para que pudessem ser realizados de forma prática. Os passos 1, 2 e 3 não tiveram repetições de amostragem, todavia, os passos 4, 5 e 7 tiveram as análises realizadas em triplicata e por fim, o passo 6 para determinação de cinzas foi realizado em duplicada devido a menor capacidade da mufla utilizada no estudo.

Após todo o levantamento de dados através das análises experimentais em laboratório, a etapa de Análise de Dados, (passo 8) foi iniciada e realizada valendo-se da utilização do software de geração de planilhas eletrônicas *Excel*® da *Microsoft*® para a realização dos cálculos necessários com maior facilidade e acurácia.

Após a análise dos dados, a Elaboração da Conclusão foi naturalmente desenvolvida, comparando-se os valores obtidos entre as madeiras em si e a literatura, levantando-se hipóteses para a solução a ser aplicada na problemática levantada por esta pesquisa, para que, ao final, a última etapa de Redação fosse concluída e o estudo, realizado com êxito.

3.3 ANÁLISE EXPERIMENTAL

Segundo Gil (2008), para observar os resultados que as variáveis produzem no objeto de estudo, é necessário que estes sejam submetidos a influência de certas variáveis, em condições de controle conhecidas pelo investigador, podendo ser um trabalho extenso por necessitar de controle e mensuração de diversas variáveis envolvidas. O método experimental, segundo Prodanov (2013), é um método das ciências naturais, por excelência, sendo limitado no tocante a ciências sociais.

O pesquisador é ativo, selecionando o objeto de estudo, controlando as variáveis e definindo as formas de controle e observação, diferente de um observador passivo (GIL, 2008).

Segundo Gil (2008), a pesquisa experimental não é necessariamente uma pesquisa realizada em laboratório, mas sim àquela que possui propriedades de manipulação, distribuição e controle aleatório, segundo as definições da Figura 13.

Figura 13 - Propriedades da análise experimental

Fonte: Adaptado de Gil (2008).

O mais valioso procedimento utilizado pelos cientistas é a pesquisa experimental, segundo Gil (2008). Dessa forma é possível realizar o teste de hipóteses que possuem relações de acusa e efeito entre variáveis, e com o controle, as análises tem uma maior garantia.

Assim, o método experimental foi o mais adequado para a realização da análise das características e elementos componentes das madeiras do bioma amazônico, proporcionando os dados necessários para o presente estudo, através da caracterização físico-química da biomassa.

4 CARACTERIZAÇÃO: MADEIRAS DO BIOMA DA AMAZÔNIA

Este capítulo apresenta os passos utilizados na caracterização da biomassa, desde a apresentação da matéria prima, a preparação das amostras, as ilustrações das etapas e equações para a quantificação dos teores de umidade, extrativos, cinzas, celulose, hemicelulose, lignina solúvel e insolúvel, açúcares e ácido acético.

4.1 MATÉRIA PRIMA UTILIZADA

As matérias-primas utilizadas neste projeto foram selecionadas por serem mais representativos e disponíveis região do Bioma da Amazônia, e são frequentemente devastadas por incêndios florestais. As diferentes espécies de madeiras do Bioma da Amazônia (Tabela 1) foram coletadas na região de Alta Floresta, MT, Cruzeiro do Sul e Rio Branco no Acre.

Essas matérias-primas já foram objeto de estudo pelo projeto Combustão de Biomassa de Florestas Tropicais (Processo FAPESP 2008/04490-4), na Iniciação Científica ligada a Universidade Estadual Paulista "Julho de Mesquita Filho" (Bolsa FAPESP, Processo 14/10379-0) e, também, Michelazzo et al. (2010), estudaram as emissões de mercúrio provenientes de incêndios florestais dessas madeiras no Sul da Amazônia.

A Amazônia é a maior reserva de biodiversidade do mundo e o maior bioma do Brasil, ocupando quase metade (49,29%) do território nacional (GOVBR, 2017). Esse bioma cobre totalmente cinco Estados (Acre, Amapá, Amazonas, Pará e Roraima), grande parte de Rondônia (98,8%) e parcialmente Mato Grosso (54%), Maranhão (34%) e Tocantins (9%). É dominado pelo clima quente e úmido (com temperatura média de 25^{o}C) e por florestas. Tem chuvas torrenciais bem distribuídas durante o ano e rios com fluxo intenso. Tabela 1 são apresentadas as madeiras utilizadas neste trabalho.

Tabela 1 – Espécies selecionadas para a caracterização

Amostra	Nome Comum	Nome Científico
701	Angico	*Piptadenia sp*
702	Embaúba Branca	*Cecropia hololeúca*
703	Leiteiro Vermelho	*Pouteria sp*
704	Limoeiro	*Chlorophora sp*
705	Quina	*Aspidosperma*
706	Embaúba Branca	*Cecropia hololeúca*
707	Leiteiro Branco	*Pouteria sp*
708	Cambará	*Vochysia sp*
709	Timburí	*Enterolobium maximum*
710	Tauaí	*Couratari sp*
711	Canelão	*Ocotea sp*
712	Amescla	*Trattinnickia burcerifolia*
713	Leiteiro	*Pouteria sp*
714	Roxinho	*Peltogyne venosa*
715	Cacauí	*Theobroma speciosum*
716	Paxiúba	*Socratea exorrhiza*
717	Mamica de Porca	*Fagara sp*
718	Tachi	*Screrolobium sp*
719	Peroba Mica	*Aspidosperma macrocarpon*
720	Amescla Branca	*Protium sp*
721	Parirí	*Pouteria sp*
722	Mandioqueira	*Ruizterania albiflora*
723	Araça	*Psidium sp*
724	Marfim	*Chrysophyllum sp*
725	Itaúba	*Mezilaurus itauba*
726	Sucupira Amarela	*Ferreiraa spectabilis*
727	Samaúma	*Ceiba sp*
728	Guarantã	*Esenbeckia sp*
729	Morcegueira	*Trattinnickia sp*
730	Ucuúba	*Virola multicostata*

Fonte: Faita (2015).

Do ponto de vista cromático, a Figura 14 apresenta as trinta espécies de madeiras analisadas em frascos de vidros onde é possível observar os diferentes tons de cores de casa espécie utilizada neste estudo.

Figura 14 - Amostras de madeiras antes da caracterização

Fonte: Faita (2015).

4.2 COMPOSIÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DAS BIOMASSAS

As análises físico-químicas das madeiras utilizadas neste trabalho foram realizadas de acordo com as metodologias propostas por Ferraz et al. (2000), recomendada para madeiras e por Gouveia et al. (2009), mais usada para bagaço de cana, as quais são uma adaptação da metodologia sugerida por Dunning & Dallas (1949), que se fundamenta na sacarificação quantitativa dos polissacarídeos de diferentes matérias-primas vegetais.

As análises realizadas para a caracterização das biomassas, como a determinação da umidade, dos extrativos, da lignina solúvel e insolúvel (lignina total) foram realizadas no Laboratório do Departamento de Biotecnologia da Escola de Engenharia de Lorena-EEL/USP.

Os estudos dos açúcares foram realizados no Laboratório de Caracterização de Biocombustíveis no Departamento de Energia na Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá – FEG/UNESP através de cromatografia líquida de alta eficiência. A determinação do teor de cinzas foi efetuada no Laboratório do departamento de Química da Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá – FEG/UNESP.

A caracterização foi realizada em triplicata, exceto os extrativos, que não foram repetidos e as cinzas que foram realizadas em duplicata.

Primeiramente, foi determinado o teor de umidade em balança de determinação de umidade com câmara de Infra-Vermelho – de peso seco rápido.

4.2.1 Preparação da Matéria Prima, Secagem em estufa a 45ºC

As amostras foram moídas a 20mesh (0,841mm) e colocadas em Placas de Petri previamente secas em estufa e pesadas com auxílio de uma balança. Em seguida, foram colocadas em estufa a 45ºC por 24h até que atingissem o peso constante como pode ser observado na Figura 15.

Figura 15 - Placas de Petri com amostra dentro da estufa (45ºC)

Fonte: Faita (2015).

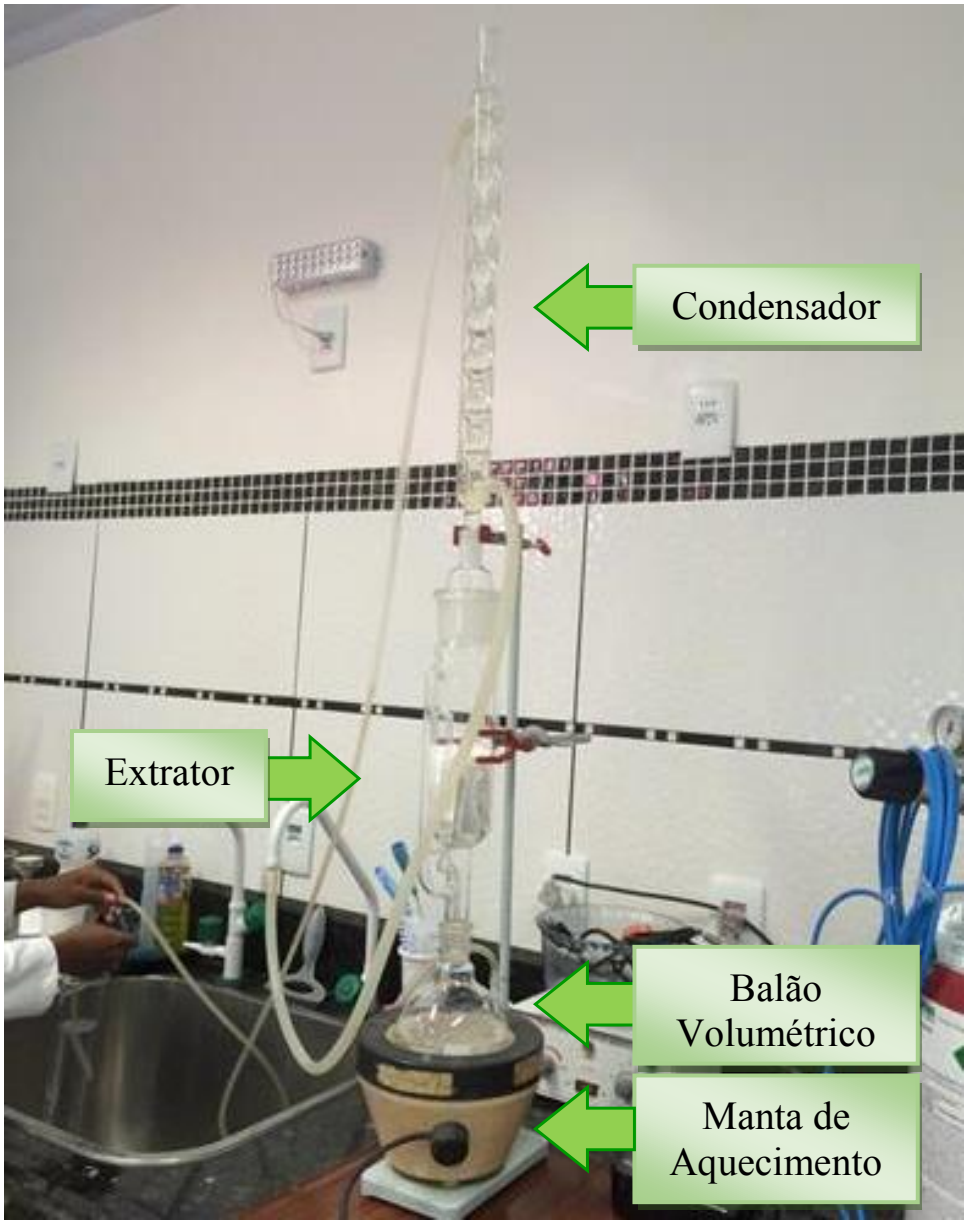
4.2.2 Determinação do Teor de Extrativos

Esta etapa é necessária para impedir interferências nos resultados da análise composicional das amostras. Foi necessário remover o material não estrutural da biomassa vegetal através do processo de extração exaustiva em Soxhlet com etanol a 95% para remover componentes solúveis em etanol (clorofila, ceras e outros).

A montagem do sistema Soxhlet foi feita seguindo os passos a seguir:

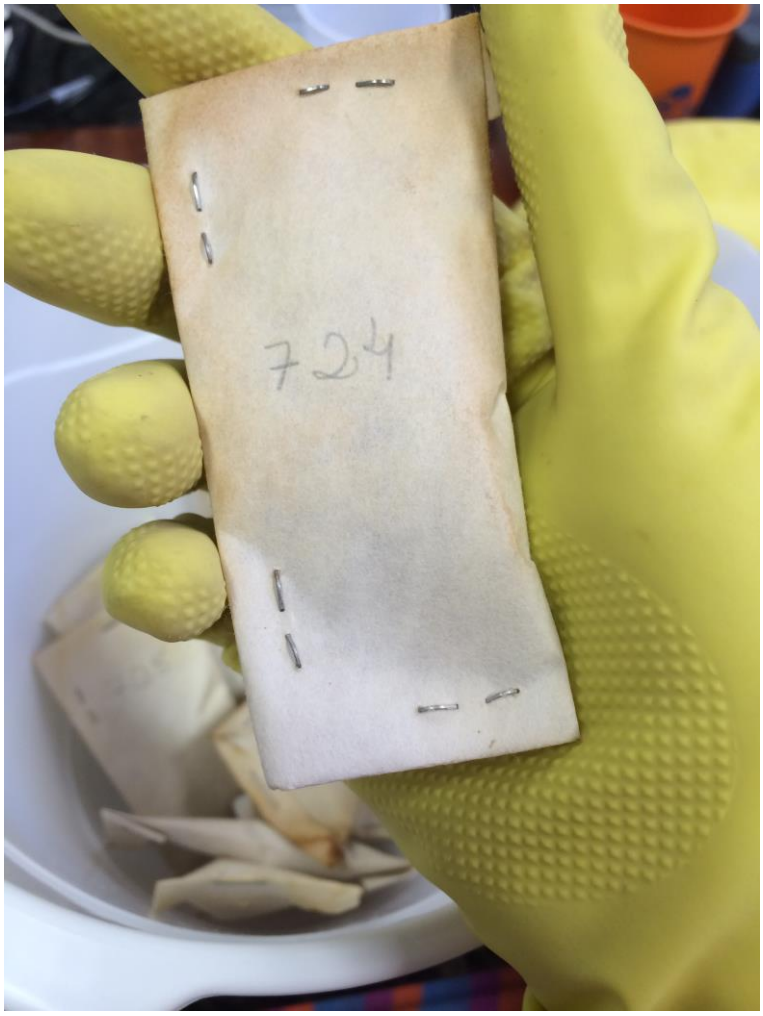
1. Foi colocado pérolas de vidro no fundo de um balão volumétrico de 1000mL acoplado ao condensador e extrator, conhecido como extrator Soxhlet completo, que foi disposto dentro de uma manta de aquecimento segundo a imagem da Figura 16;
2. Com o auxílio de uma proveta, foi medido mais de 600mL de etanol a 95% e colocado no balão volumétrico;

Figura 16 - Sistema Soxhlet completo sob a manta de aquecimento para a extração



Fonte: Faita (2015).

Figura 17 - Amostras contidas em papel filtro, dobrados e grampeados



Fonte: Faita (2015).

Com o auxílio de uma balança analítica de alta precisão, foi pesado aproximadamente 3,000g das amostras já preparadas. Essa quantidade de amostra foi posteriormente colocadas em envelopes de papel de filtro dobrados e devidamente fechados com grampos ordinários de metal, como evidenciado na Figura 17, e posteriormente, pesados. A identificação das amostras colocadas nos envelopes foi feita a lápis, para que as marcações, ao serem mergulhadas no álcool etílico, não fossem diluídas e as amostras confundidas.

3. Os envelopes foram colocados no extrator (na vertical), acoplado a manta de aquecimento e ao condensador (Soxhlet completo);
4. Após a montagem do sistema, a manta de aquecimento foi ligada e sua temperatura aumentada gradativamente, permanecendo entre 60ºC a 70ºC. (início da ebulição do álcool). Após a primeira sifonação, foram contadas 6h. O

procedimento deve ser realizado de 3 a 5 ciclos. A determinação da quantidade de ciclos deve ser feita de acordo com a coloração presente na água de extração.

Após algumas horas do ciclo no sistema Soxhlet, é possível observar o estado dos envelopes com as amostras na Figura 18. Percebe-se que o etanol, anteriormente transparente Figura 18(a), adquiriu uma coloração amarelo-alaranjado Figura 18(b), proveniente de componentes presentes nos extrativos. Assim como a coloração, o aroma das amostras após a extração, também variou de acordo com as amostras colocadas no sistema Soxhlet.

Figura 18 - Extração: (a) Amostras no início do ciclo; (b) Amostras após o final do ciclo

(a) (b)

Fonte: Faita (2015).

5. Dada às 6h, o sistema foi desligado e aguardou-se que todo o sistema atingisse temperatura ambiente antes de sua desmontagem.
6. Em seguida, finalizado os ciclos determinados, os envelopes foram cuidadosamente retirados para não romperem, já que estavam maleáveis e úmidos, e foram colocados em um recipiente plástico e limpo a fim de que secassem a temperatura ambiente.

7. Após secos, os envelopes foram pesados novamente sendo assim possível o cálculo da porcentagem de extrativos.

A Figura 19(a) mostra os envelopes imediatamente após a extração (retirados do aparelho Soxhlet), e, na Figura 19(b), os envelopes já secos e em temperatura ambiente podem ser observados.

Figura 19 - Amostras retiradas do Soxhlet após a extração: (a) úmidos; (b) secos

(a) (b)

Fonte: Faita (2015).

O teor de extrativos de cada amostra foi calculado através da equação (1):

$$\%\ Extrativos = \frac{Mi\ (envelope)\ - Mf}{Mi\ (amostra)}\ x\ 100 \qquad (1)$$

Em que:

M_i (envelope): massa do conjunto (envelope fechado com grampos + amostra) anterior a extração (g);

M_i: (amostra); massa de amostra colocada dentro do envelope (sem envelope) (g);

M_f: massa do conjunto (envelope fechado com grampos + extrativos) após a extração e posterior secagem a temperatura ambiente (g);

4.2.3 Determinação Massa Seca para Hidrólise Ácida e Teor de Umidade

O teor de umidade das amostras foi determinado em balança semi-analítica MARTE ID50 equipada com secador de infravermelho, com câmara de UV à 105ºC. Foi colocado aproximadamente 1,000g de cada amostra em prato de alumínio previamente tarado, por 10min, em triplicata. O equipamento rapidamente retorna o valor da porcentagem de água perdida (umidade: %U).

As amostras utilizadas foram aquelas retiradas dos envelopes secos, após a extração.

Para o cálculo da correção da umidade na massa das amostras, utilizou-se a equação (2):

$$Mc = \left(\left[\frac{Ms}{1 - U'/_{100}}\right]\right) \quad (2)$$

Em que:

M_c: Massa corrigida (sem a porcentagem de água)

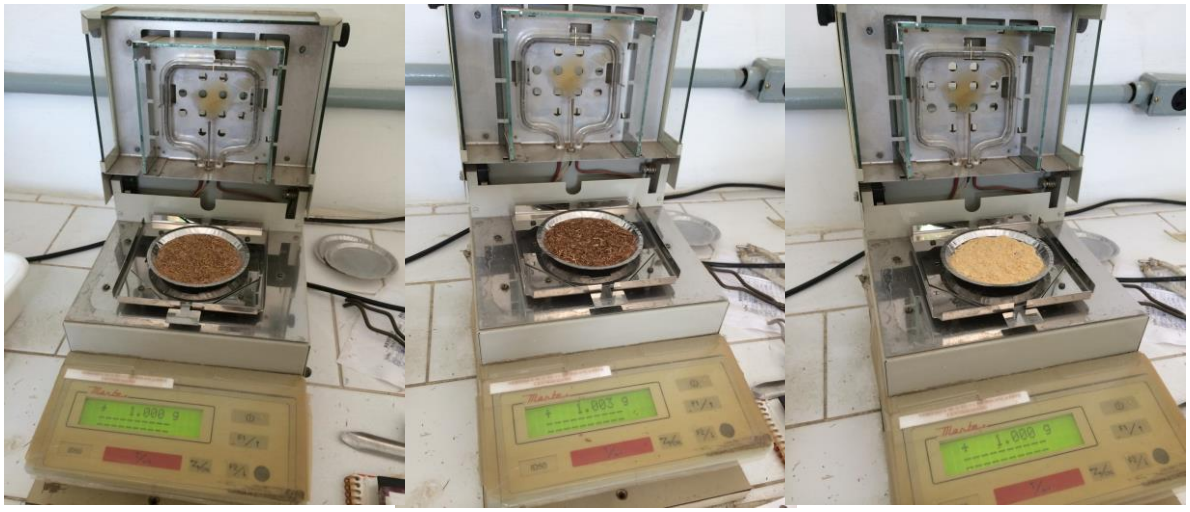
M_s: Massa pré-definida = 0,3000g

U': % de umidade determinada após a retirada dos extrativos.

A porcentagem de umidade (%U) fornecida pelo equipamento para o cálculo da massa seca, utilizada em triplicata, pode ser observada na Tabela 2, como também, suas respectivas massas corrigidas pela equação (3) e para a posterior utilização da massa seca na hidrólise ácida concentrada (pág. 56) a fim de se determinar a lignina total (solúvel e insolúvel).

A Figura 20 mostra a balança de infravermelho de determinação de peso seco rápido, com câmara de UV utilizada nesta etapa de determinação da Umidade, com algumas amostras:

Figura 20 - Determinação da umidade em Balança semi-analítica MARTE ID50



Fonte: Faita (2015).

O Teor de Umidade das amostras foi calculado pela equação (3):

$$\%U = \frac{(Mi - Mf)}{Mi} \, x \, 100 \qquad (3)$$

Em que:

M_i: Massa inicial colocada no prato de alumínio (g)

M_f: Massa final já seca (g)

U: Teor de umidade (%)

Após os cálculos utilizando a equação (3), foi possível listar o peso seco das amostras, organizadas na Tabela 2. Esses resultados serão utilizados posteriormente para a realização da etapa da hidrólise ácida.

Tabela 2 - Resultado do peso seco das amostras, para a realização da hidrólise

Correção Massa para Hidrólise			
Amostra	Ms (g)	U (%)	Mc (g)
701	0,3000	9,99	0,3333
702	0,3000	8,85	0,3291
703	0,3000	9,68	0,3322
704	0,3000	9,17	0,3303
705	0,3000	9,21	0,3304
706	0,3000	8,2	0,3268
707	0,3000	8,13	0,3265
708	0,3000	7,91	0,3258
709	0,3000	7,81	0,3254
710	0,3000	7,8	0,3254
711	0,3000	6,99	0,3225
712	0,3000	5,69	0,3181
713	0,3000	8,24	0,3269
714	0,3000	7,53	0,3244
715	0,3000	9,13	0,3301
716	0,3000	8,05	0,3263
717	0,3000	8,26	0,3270
718	0,3000	8,88	0,3292
719	0,3000	9,84	0,3327
720	0,3000	8,09	0,3264
721	0,3000	7,89	0,3257
722	0,3000	6,39	0,3205
723	0,3000	7,75	0,3252
724	0,3000	9,11	0,3301
725	0,3000	8,27	0,3270
726	0,3000	8,14	0,3266
727	0,3000	8,19	0,3268
728	0,3000	7,68	0,3250
729	0,3000	9,4	0,3311
730	0,3000	8,49	0,3278

Fonte: Faita (2015).

4.2.4 Determinação das Ligninas Solúveis e Insolúveis

A preparação destas amostras para a determinação de carboidratos estruturais e lignina (solúvel e insolúvel) envolvem as etapas de hidrólise ácida concentrada e hidrólise ácida diluída.

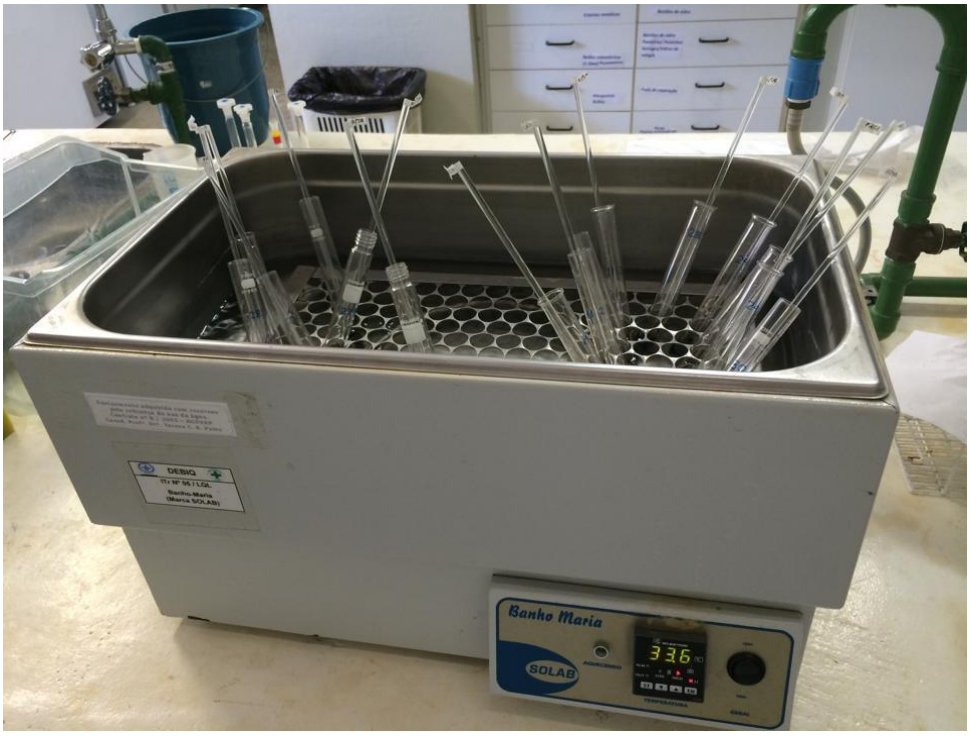
4.2.4.1 Hidrolise Ácida Concentrada

Em tubos de ensaio, foram colocadas as massas (M_c) dos envelopes secos, calculadas com a correção de umidade segundo a Tabela 2, em triplicata. Tal massa corresponde a aproximadamente 0,3000g de amostra por tubo de ensaio.

Foi adicionado 3,000ml de ácido sulfúrico (H_2SO_4) a 72% de concentração, em cada tubo.

Os tubos ficaram em banho Maria (banho térmico) aproximadamente 30ºC por 1h e agitados durante aproximadamente 15s, com bastão de vidro, em um intervalo de 10min em 10min. Os tubos de ensaio podem ser observados na Figura 21.

Figura 21 - Hidrólise ácida concentrada: banho-maria das amostras nos tubos de ensaio



Fonte: Faita (2015).

4.2.4.2 Hidrólise Ácida Diluída

Após a realização da hidrólise ácida concentrada, os tubos foram removidos do banho-maria e o ácido foi diluído a uma concentração de 4% através da adição de 84mL de água destilada. O conteúdo dos tubos foi transferido cuidadosamente para frascos Erlenmeyer de 125mL a fim de interromper a reação da hidrólise.

Os frascos Erlenmeyer foram selados com folhas de alumínio e identificados para serem autoclavados a 121°C por 1h a pressão de 1atm para completa hidrólise dos oligômeros restantes (Figura 22).

Figura 22 - Autoclave contendo as amostras após a hidrólise

Fonte: Faita (2015).

Após a retirada da Autoclave, os Erlenmeyer foram resfriados e armazenados em um refrigerador para a próxima etapa da análise: a Filtração.

4.2.4.3 Filtração

Após 1h em Autoclave, os Erlenmeyer foram retirados, resfriados e filtrados a vácuo, em filtro de vidro de placa sinterizada nr.3 (Figura 23).

Todo o sólido do Erlenmeyer de 125mL foi coletado através da lavagem com 113mL de água destilada. Desta forma, o filtrado (200mL) foi coletado em frasco Erlenmeyer de 250mL.

Os sólidos coletados foram direcionados para a determinação de lignina insolúvel e, o filtrado (hidrolisado), foi utilizado para a determinação de lignina solúvel e posteriormente para a determinação de carboidratos.

Figura 23 - Equipamento de filtragem a vácuo montado

Fonte: Faita (2015).

4.2.4.4 Determinação de Lignina Insolúvel

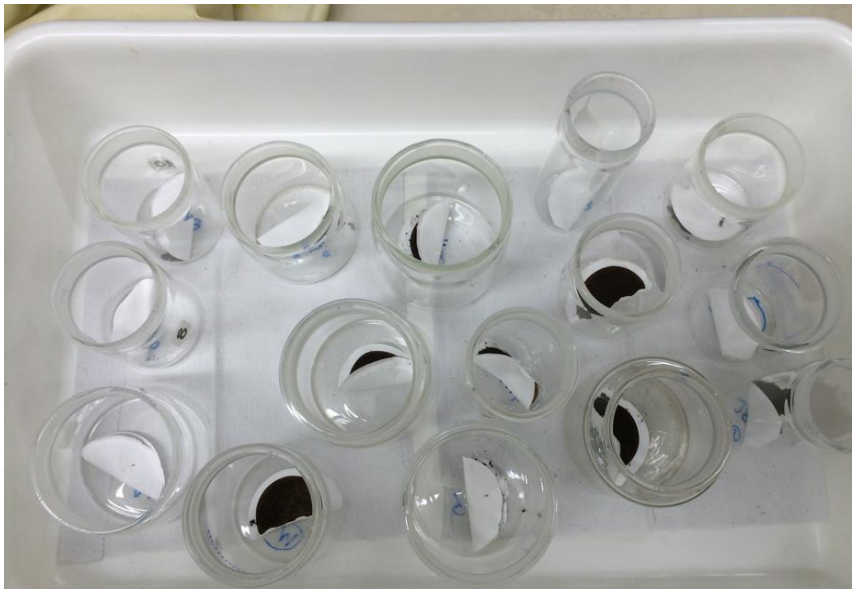
Os sólidos, colocados cuidadosamente em pesa-filtros previamente tarados e sem tampa, (Figura 24) foram secos em estufa a 105ºC durante 4h.

As amostras de sólidos foram retiradas da estufa, ilustrada na Figura 25 e transferidas para o dessecador para resfriarem até peso constante e, em seguida, foram pesadas.

Figura 24 - Após a filtração, o precipitado sólido de uma amostra

Fonte: Faita (2015).

Figura 25 - Membrana e sólido após secagem nos pesa-filtros sem tampa



Fonte: Faita (2015).

Posteriormente as membranas com a amostra sólida já secas foram transferidas para cadinhos de porcelana previamente calcinados em mufla a 575ºC durante 4 horas, resfriados e pesados.

Os cadinhos com a membrana foram pesados, e colocados em mufla por mais 24 h a 575ºC como mostra a Figura 26. A seguir, os cadinhos foram retirados cuidadosamente da mufla e levados diretamente para um dessecador por 1 h para resfriarem à temperatura ambiente e então, após esse tempo, os cadinhos com as cinzas foram pesados novamente (Figura 27).

Figura 26 - Mufla com cadinhos contendo a membrana e sólidos

Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 27 - Cadinhos após a queima: cinzas

Fonte: Faita (2015).

Após a coleta de todos os valores desta etapa, a lignina insolúvel por sua vez foi determinada através da equação (4):

$$\%Lignina\ Insolúvel = \left(\frac{(massa_{C2} - massa_{C1}) - (massa_{R2} - massa_{R1})}{Massa_{amostra}}\right) * 100 \qquad (4)$$

Em que:

$Massa_{R2}$ = Massa do pesa filtro contendo o micro-filtro com resíduo insolúvel;

$Massa_{R1}$ = Massa do pesa filtro vazio (após 4 horas na mufla);

$Massa_{C2}$ = Massa do cadinho com cinzas (após 24 horas na mufla);

$Massa_{C1}$ = Massa do cadinho vazio (após calcinação – 4 horas na mufla);

Como a lignina apresentada é livre de extrativos, devemos fazer uma correção para que os extrativos sejam considerados, assim, essa correção é feita segundo a equação (5):

$$\%Lignina\ insolúvel_{corrigida} = \%Lignina\ insolúvel * \left(\frac{100 - \%Extrativos}{100}\right) \qquad (5)$$

4.2.4.5 Determinação de Lignina Solúvel

Esta análise foi realizada em espectrofotômetro de UV-Visível utilizando como branco a solução preparada previamente com 3mL de H_2SO_4 a 72% (m/m) em um balão volumétrico de 200mL e completado com água destilada até atingir o menisco.

A absorbância da amostra foi medida no comprimento de onda de 205nm num espectrofotómetro de UV-Visível utilizando uma cubeta de quartzo de caminho ótico de 1cm (

A amostra foi diluída para uma absorbância na faixa de 0,2% a 1,0%. Para isso, foi feita a diluição do filtrado (hidrolisado) em balão volumétrico aferido com água destilada: a diluição das amostras foi de 1:25, 1:50 e 1:100, conforme o necessário, devido a altos valores de absorbâncias obtidos no espectrofotômetro pelas altas concentrações do hidrolisado.

Figura 28).

A amostra foi diluída para uma absorbância na faixa de 0,2% a 1,0%. Para isso, foi feita a diluição do filtrado (hidrolisado) em balão volumétrico aferido com água destilada: a diluição das amostras foi de 1:25, 1:50 e 1:100, conforme o necessário, devido a altos valores de absorbâncias obtidos no espectrofotômetro pelas altas concentrações do hidrolisado.

Figura 28 - Cubeta de quartzo utilizada no espectrofotômetro de UV-Visível

Fonte: Faita (2015).

Deste filtrado (hidrolisado diluído) foi separado aproximadamente 40mL para a análise de açúcares, ácido acético e produtos de degradação (furfural e hidroximetilfurfural) através da Cromatografia Líquida de Alta Performance (HPLC - *High Performance Liquid Chromatography* em inglês) que será realizado posteriormente. Esse filtrado (Lignina Solúvel) foi armazenado em frascos de vidro em um freezer, ao abrigo da luz, para que suas propriedades não fossem perdidas e nem degradadas.

Para que os vidros, com amostras, ao serem congelados, não se quebrassem pela expansão do conteúdo ao serem congelados, foram colocados uma quantidade um pouco maior do que a metade do volume do vidro. Além disso, foram embrulhados em lenços de papel, para que não trepidassem e se quebrassem no transporte até o freezer. Algumas amostras, foram também congeladas em recipientes plásticos, com menor risco de quebra.

A Figura 29 mostra a armazenagem das amostras para posterior determinação dos açúcares (Carboidratos) através da cromatografia líquida de alta eficiência.

Figura 29 – Amostras armazenadas em frascos de vidro e congeladas

Fonte: Faita (2015).

A concentração de lignina solúvel no filtrado foi determinada em espectro de 205 nm de absorbância e 110 Lg-1cm-1 de absortividade (DENCE, 1992; GOLDSCHIMID, 1971).

Para a determinação da porcentagem da lignina solúvel, calcula-se a massa inicial seca conforma a equação (6) e então a Lignina Solúvel conforme equação (7):

$$Mi\ (seca) = Mc - \left[\frac{Mc\ x\ U}{100}\right] \qquad (6)$$

Em que:

U: Teor de umidade calculada pela Equação 3;

Mc: Massa corrigida pela Equação 2.

$$\%\ Lignina\ Solúvel = \frac{\left[\frac{Abs}{105} x\ FD\ x\ 0{,}2\ x\ 100\right]}{Mi\ (seca)} \qquad (7)$$

Em que:

ABS: absorbância de cada amostra a 205 nm.

FD: Fator de diluição.

Mi (seca): peso seco da amostra inicial.

A correção é feita também para a Lignina Solúvel através da equação (8):

$$\%Lignina\ Solúvel_{corrigida} = \%Lignina\ Solúvel * \left(\frac{100 - \%Extrativos}{100}\right) \quad (8)$$

Portanto, a porcentagem de Lignina Total é obtida pela equação (9) a seguir:

$$\%\ Lignina\ Total = \ \%Lignina\ Solúvel_{corrigida} + \ \%Lignina\ Insolúvel_{corrigida} \quad (9)$$

4.2.5 Determinação do Teor de Cinzas

As amostras, em duplicatas, foram colocadas em cadinhos já previamente tarados e calcinados a 575ºC por 5h. A massa de amostra colocada no cadinho foi de aproximadamente 2g, sem qualquer tratamento prévio.

As amostras permanecem na Mufla por 24h à 575ºC. Após retirados da mufla com auxílio de Equipamentos de Proteção Individual (EPI), os cadinhos, com as cinzas foram colocados em dessecador até atingirem a temperatura ambiente, e então foram pesados. A Figura 30 exibe os cadinhos com amostras (a) antes da calcinação e (b) após a calcinação.

A equação (10) revela a forma como a % de cinzas foi calculada:

$$\%\ Cinzas = \frac{MCC - MCV}{M\ amostra}\ x\ 100 \quad (10)$$

Em que:

MCC: Massa do Cadinho com as cinzas;

MCV: Massa do Cadinho Vazio;

Mamostra: Massa da amostra colocada no cadinho.

Figura 30 - Calcinação: (a) Amostras antes da calcinação; (b) Amostras após a calcinação

(a) (b)

Fonte: Faita (2015).

4.2.6 Determinação de Açúcares e Ácido Acético

Os teores de açúcares (celobiose, glicose, xilose, arabinose) e ácido acético foram determinados através da Cromatografia Líquida de Alta Performance (HPLC - *High Performance Liquid Chromatography* em inglês) no Laboratório de Caracterização de Biocombustíveis do Departamento de Energia - DEN na Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá – FEG/UNESP.

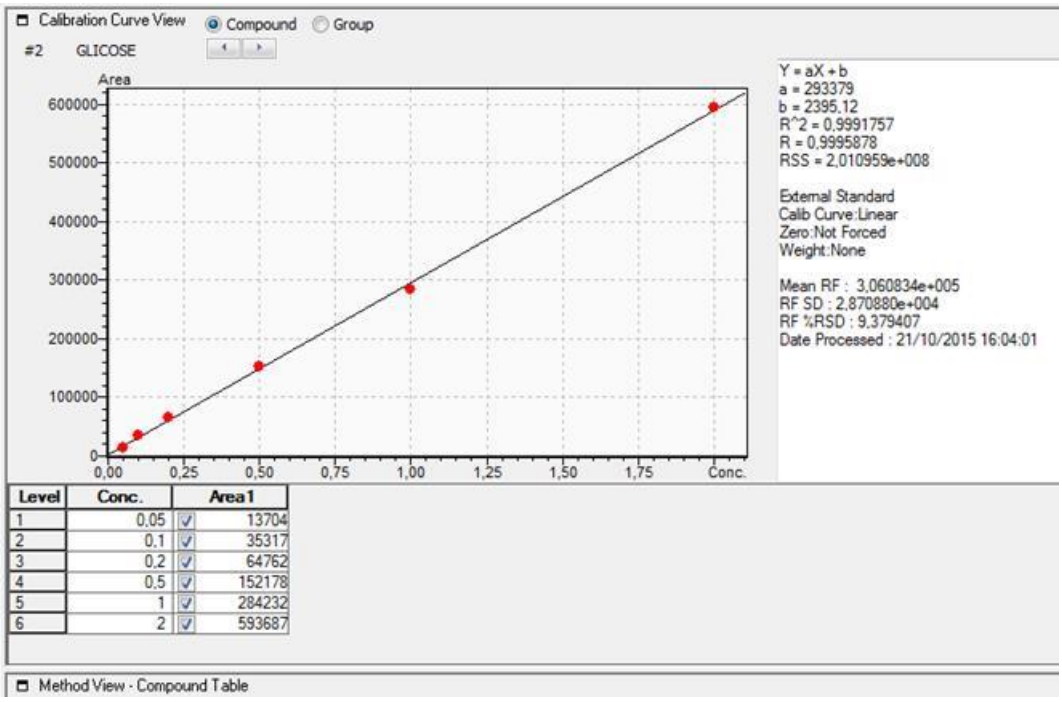
Foi utilizado um cromatógrafo Shimadzu LC-20 AT (Kyoto – Japão) com um detector de índice de refração RID-10A, equipado com coluna BIO-RAD (Hercules, CA) Aminex HPX-87H (300 x 7,8 mm), mantida a 45ºC com eluente H_2SO_4 0,01 N a um fluxo de 0,6 mL/min e volume de amostra injetado de 20 μL.

As amostras foram previamente diluídas e filtradas em filtro Sep-Pak C18 (Millipore). Em todos os casos as concentrações dos compostos foram calculadas a partir de curvas de calibração padrão.

Foram construídas curvas padrões desses compostos em diferentes concentrações (g/L) de acordo com a Figura 31,Figura 32,Figura 33,Figura 34 e

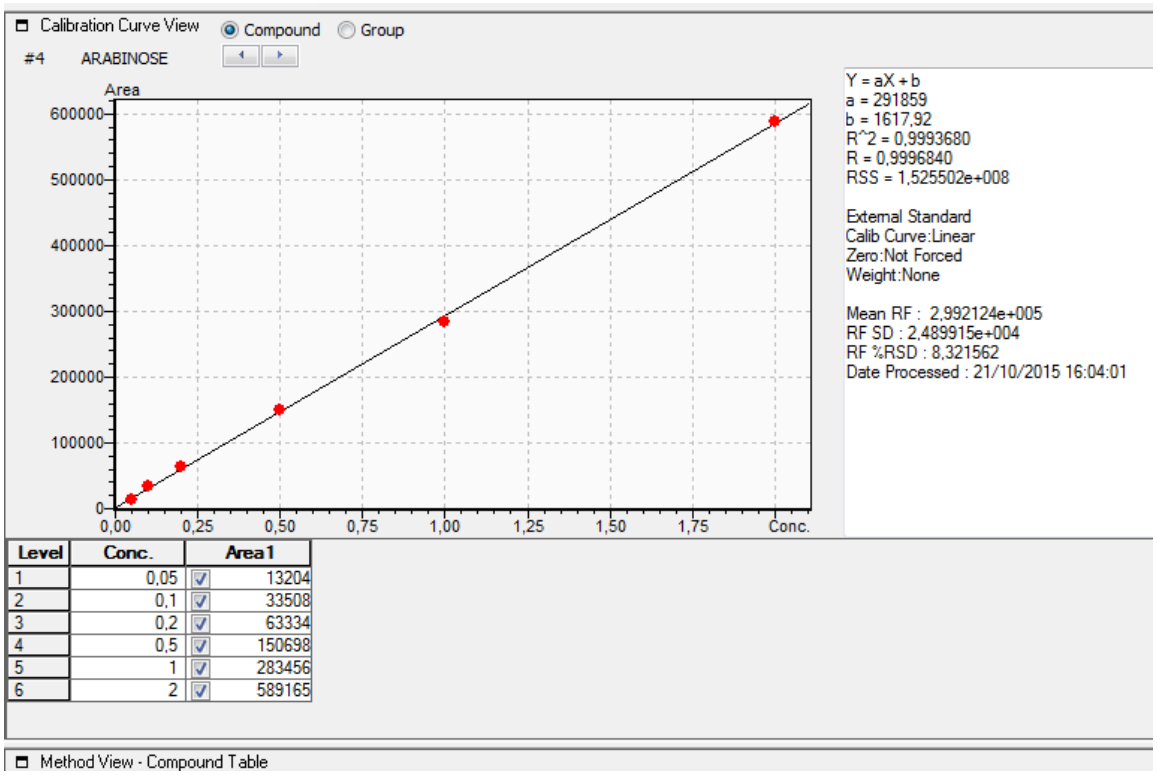
Figura 35.

Figura 31 - Glicose: curva padrão – HPLC



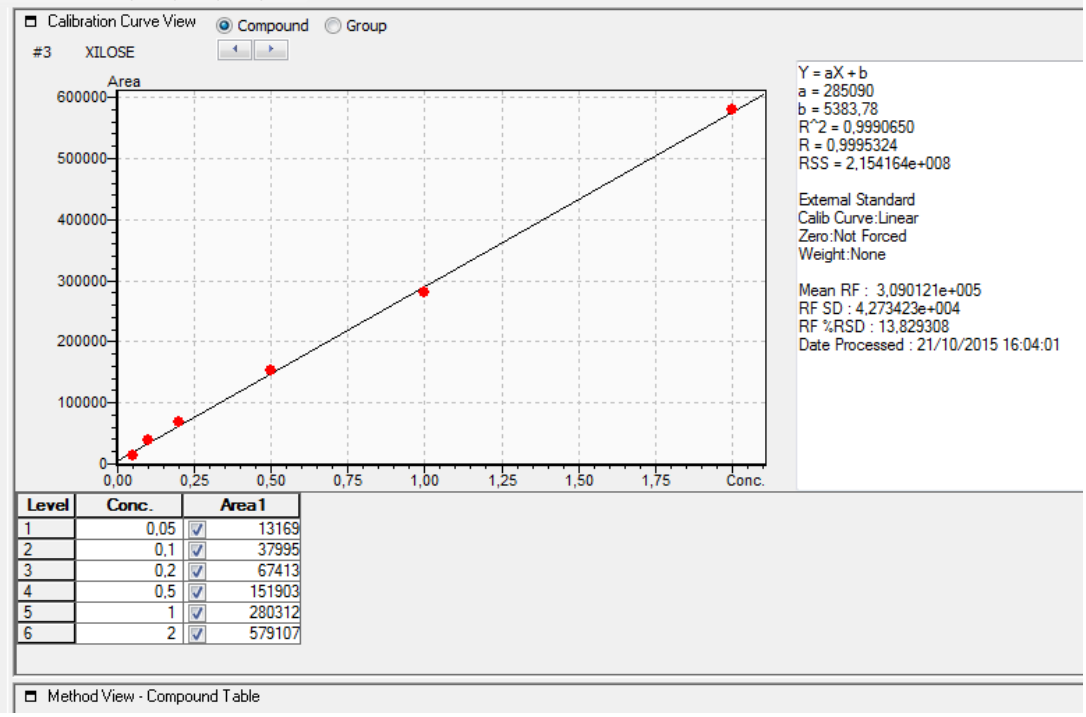
Fonte: Software HPLC - Faita (2015).

Figura 32 - Arabinose: curva padrão – HPLC



Fonte: Software HPLC - Faita (2015).

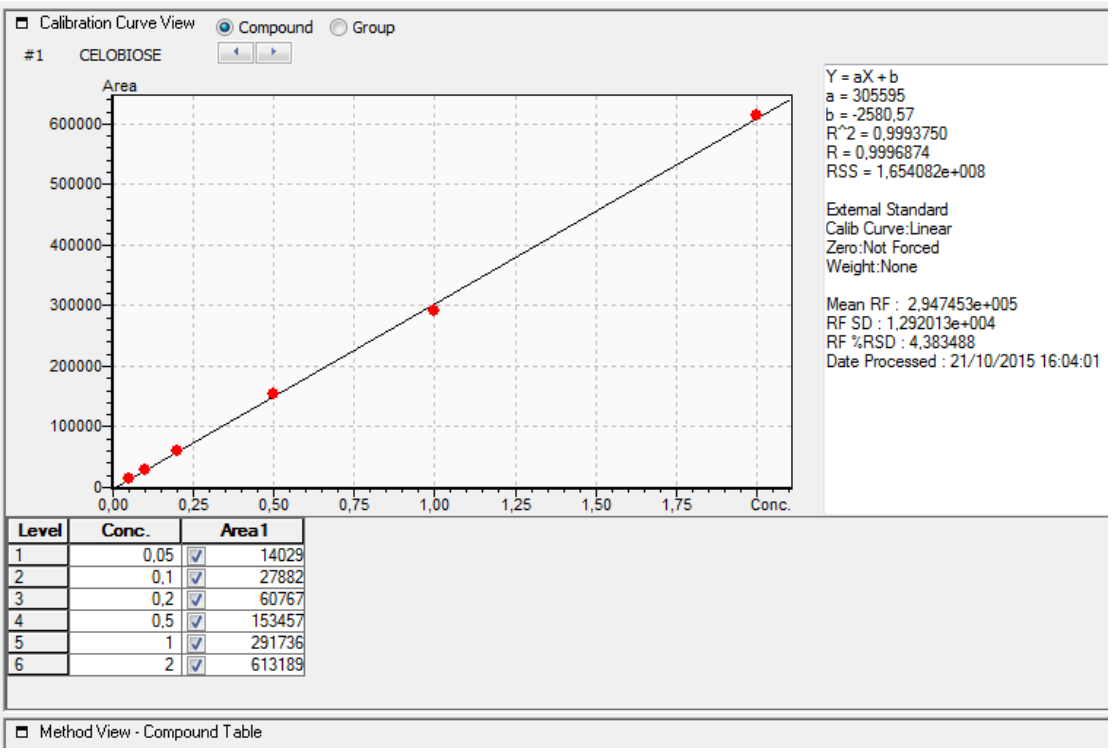
Figura 33 - Xilose: curva padrão – HPLC



Level	Conc.	Area1
1	0,05	13169
2	0,1	37995
3	0,2	67413
4	0,5	151903
5	1	280312
6	2	579107

Fonte: Software HPLC - Faita (2015).

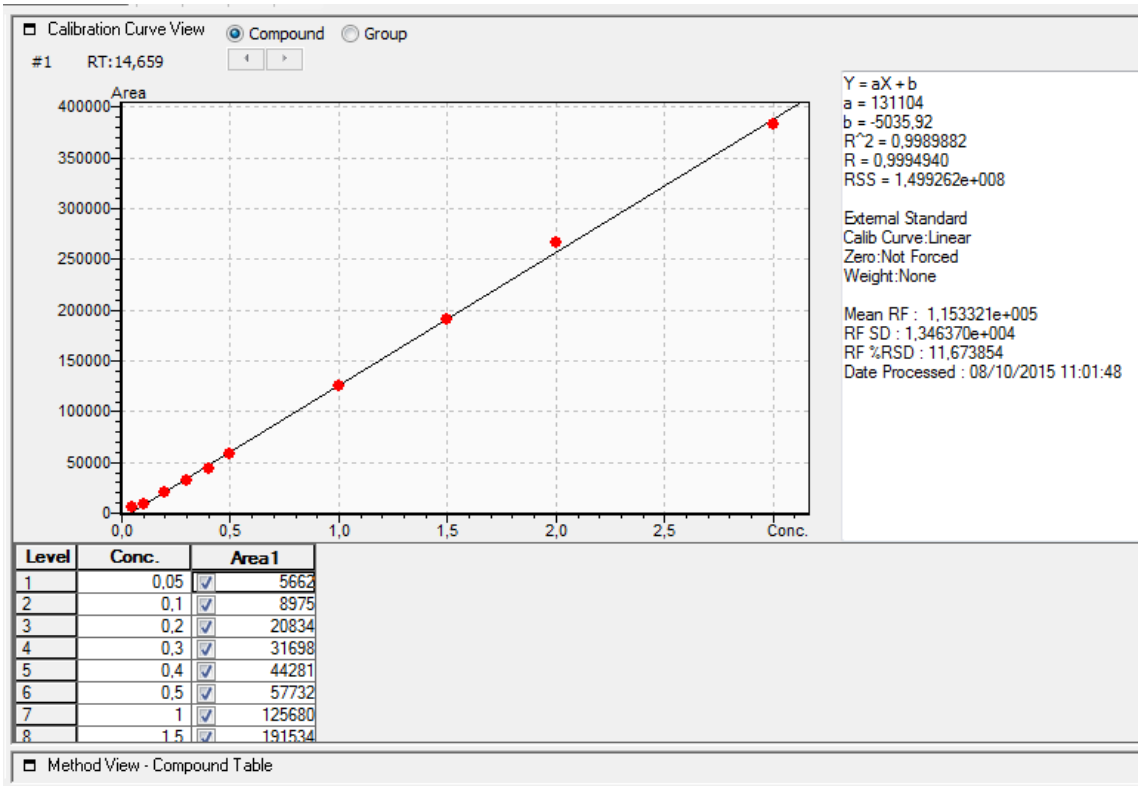
Figura 34 - Celobiose: curva padrão – HPLC



Level	Conc.	Area1
1	0,05	14029
2	0,1	27882
3	0,2	60767
4	0,5	153457
5	1	291736
6	2	613189

Fonte: Software HPLC - Faita (2015).

Figura 35 - Ácido Acético: curva padrão – HPLC



Level	Conc.	Area1
1	0,05	5662
2	0,1	8975
3	0,2	20834
4	0,3	31698
5	0,4	44281
6	0,5	57732
7	1	125680
8	1,5	191534

Fonte: Software HPLC - Faita (2015).

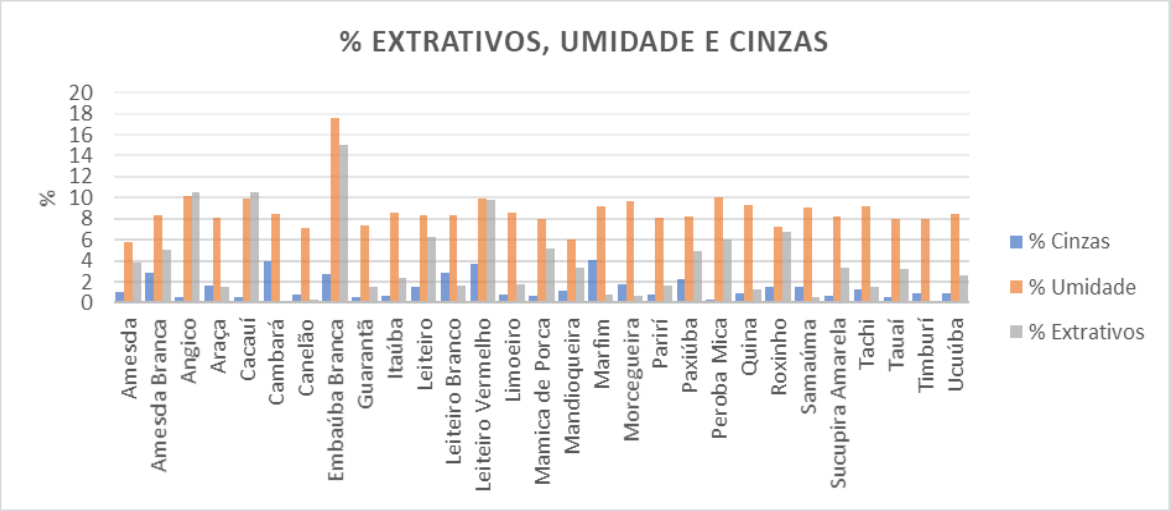
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após a caracterização das madeiras do bioma amazônica realizadas em laboratório e a realização dos cálculos com auxílio do software *Excel* foi possível a geração de gráficos e tabelas para uma análise comparativa das madeiras entre si e com a literatura. Neste capítulo, os resultados foram apresentados, bem como a discussão dos números levantados neste estudo.

5.1 TEOR DE UMIDADE, EXTRATIVOS E CINZAS

Os teores de umidade, extrativos e cinzas foram calculados através das Equações 3, 1 e 10, respectivamente. As informações podem ser observadas com auxílio do gráfico da Figura 36. Assim, uma rápida comparação, pode ser abstraída, de forma mais visual. Os valores calculados podem ser observados na Tabela 3.

Figura 36 - Gráfico de Extrativos, Cinzas e Umidade



Fonte: Produção do próprio autor.

Tabela 3 - Umidade, Extrativos e Cinzas

Amostra	Madeira	Umidade	Extrativos	Cinzas
701	Angico	10,14	10,56	0,504 ± 0,336
702	Embaúba Branca	8,98	3,296	1,364 ± 0,196
703	**Leiteiro Vermelho**	**9,91**	**9,839**	**3,684 ± 0,021**
704	Limoeiro	8,60	1,708	0,824 ± 0,035
705	Quina	9,30	1,252	0,926 ± 0,113
706	Embaúba Branca	8,61	11,76	1,346 ± 0,072
707	**Leiteiro Branco**	**8,28**	**1,610**	**2,799 ± 0,353**
708	**Cambará**	**8,45**	**0,182**	**3,899 ± 0,494**
709	Timburí	7,96	-	0,849 ± 0,000
710	Tauaí	7,94	3,168	0,504 ± 0,336
711	Canelão	7,09	0,299	0,749 ± 0,000
712	Amescla	5,78	3,776	1,044 ± 0,077
713	Leiteiro	8,28	6,292	1,499 ± 0,070
714	Roxinho	7,29	6,763	1,549 ± 0,282
715	Cacauí	9,91	10,56	0,504 ± 0,336
716	**Paxiúba**	**8,27**	**4,869**	**2,224 ± 0,105**
717	Mamica de Porca	7,94	5,227	0,699 ± 0,070
718	Tachi	9,17	1,460	1,221 ± 0,103
719	Peroba Mica	10,06	6,023	0,273 ± 0,036
720	**Amescla Branca**	**8,37**	**5,060**	**2,887 ± 0,428**
721	Parirí	8,04	1,657	0,724 ± 0,105
722	Mandioqueira	6,00	3,294	1,124 ± 0,036
723	Araça	8,07	1,474	1,647 ± 0,000
724	**Marfim**	**9,23**	**0,790**	**4,124 ± 0,319**
725	Itaúba	8,55	2,390	0,624 ± 0,105
726	Sucupira Amarela	8,26	3,402	0,648 ± 0,212
727	Samaúma	9,11	0,535	1,499 ± 0,070
728	Guarantã	7,40	1,467	0,549 ± 1,254
729	Morcegueira	9,71	0,714	1,724 ± 0,035
730	Ucuúba	8,49	2,622	0,849 ± 0,070

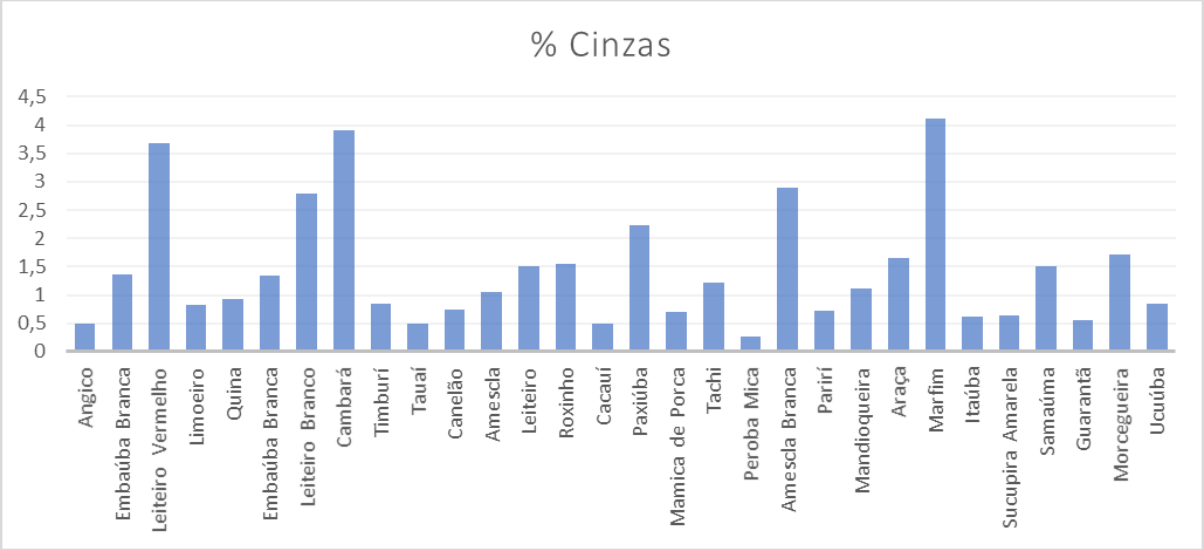
Fonte: Adaptado de Faita (2015).

Fredo et al. (1999), analisou o teor de cinzas para a *Acácia mearnsii, Eucalyptus dunnii, Eucalyptus globulus, Eucalyptus grandis e Eucalyptus saligna* e encontrou 0,57 %, 0,71%, 0,65%, 0,38% e 0,41%, respectivamente. Esses teores foram inferiores aos encontrados para as madeiras analisadas no presente trabalho.

Na Figura 37, é possível perceber que o teor de cinza das madeiras Amescla Branca, Cambará, Embaúba Branca, Leiteiro Branco, Leiteiro Vermelho, Marfim e Paxiúba foram os

mais expressivos, atingindo valores de 2% a aproximadamente 4% de cinzas, de sua massa total.

Figura 37 - Porcentagem de cinzas



Fonte: Produção do próprio autor.

Essa característica é indesejável para uso da biomassa como combustível, pois a cinza sendo um material inorgânico, inerte, colabora para diminuir o poder calorífico da madeira além de gerar o acumulando de grande quantidade de matéria inorgânica em fornos.

Dessa forma, essas madeiras (com valores altos de cinzas), não têm uma eficiência térmica em relação à outras madeiras, fazendo com que sua utilização seja pouco sustentável, não devendo estar no portfólio de escolha de indústrias que necessitem dessa biomassa na geração de energia renovável. Já as madeiras *Eucalyptus sp*. analisadas por Fredo et al. (1999), apresentaram baixíssimos teores de cinzas justificando a sua seleção para utilização em larga escala na indústria.

Com o objetivo de proteger a floresta nativa, a utilização de madeiras de reflorestamento é necessária e desejada. O alto teor de cinzas, favorece o menor PCS e ignição menor da biomassa e com isso apresenta menor tendência ao incêndio florestal.

Garcia (2002), compara teores de cinzas de componentes vegetais e minerais como o Bagaço de cana-de-açúcar (1,5%), Carvão vegetal (4,0%), Madeira Seca (0,8%) e Carvão Mineral (40%). A Tabela 4 mostra que a maioria das madeiras analisadas apresentaram valores de cinzas próximos a 0,5%, inferiores ao carvão vegetal e mineral, bagaço de cana-de-açúcar e a madeira seca analisada por Garcia (2002).

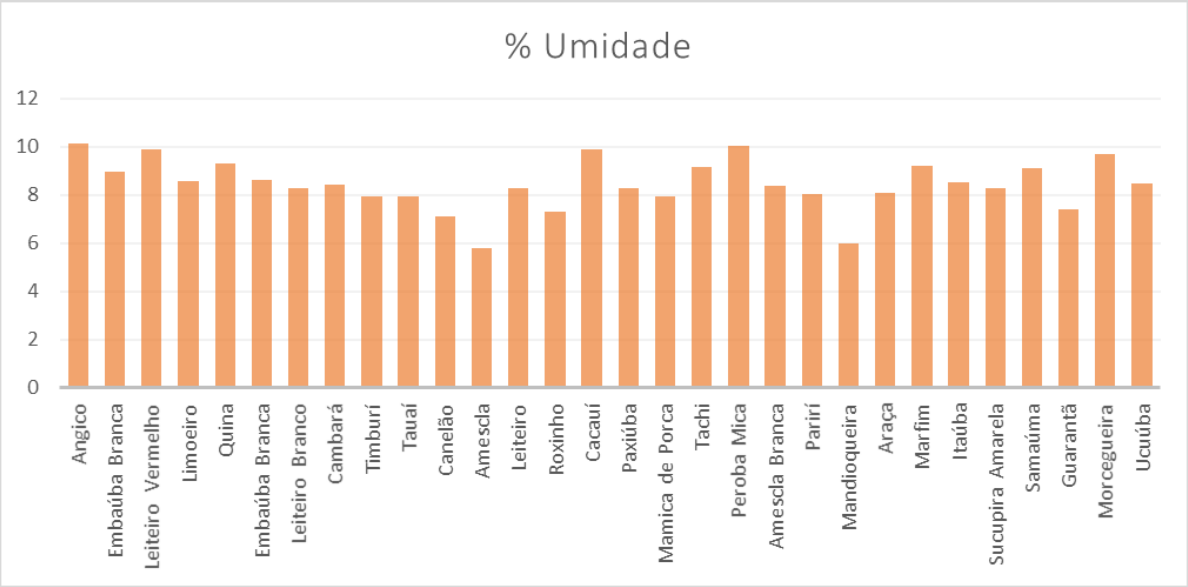
A maior porcentagem de teor de cinzas encontrada foi para a madeira Marfim com 4,124%, esse valor foi superior ao encontrado por Garcia (2002), para o carvão vegetal. Teixeira (2002), determinou o teor de cinzas do Epicarpo (casca) do Babaçu resultando em 2,22%, valor próximo aos encontrados para as madeiras Leiteiro Branco, Paxiúba e Amescla Branca com 2,80%, 2,23% e 2,89%, respectivamente.

A análise das 30 diferentes madeiras deste trabalho mostra que estas têm baixos teores de cinzas em comparação ao carvão vegetal. A biomassa vegetal, se comparada com a biomassa mineral também possui valores muito baixos (GARCIA, 2002). Freddo et al. (1999), concluíram que quanto maior a porcentagem de cinzas, maior a quantidade de minerais totais presente na madeira em suas diferentes formas.

Segundo Brand (2007), a somatória da porcentagem dos componentes minerais que se agregaram ao longo da vida do vegetal ou por contaminação, equivalem ao teor de cinzas da biomassa florestal. Os componentes inorgânicos, ao sofrerem combustão indireta, se transformam em cinzas, como resíduos (GARCIA, 2010).

Em relação a umidade da biomassa, Figura 38 mostra de forma mais visual, a porcentagem do teor de umidade das diferentes madeiras analisadas.

Figura 38 - Porcentagem de umidade



Fonte: Produção do próprio autor.

Das madeiras analisadas no presente trabalho, a maioria das espécies apresentaram teores de umidade entre 8% e aproximadamente 10% conforme mostrado na Figura 38. Os maiores teores de umidade foram 10,14% da Angico e 10,06% da Peroba Mica.

Alakangas (2007), determinou o teor de umidade do bagaço de cana-de-açúcar, serragem, casca de Coníferas e serragem de pequenas árvores conseguindo valores de, respectivamente 50,0%, 50,0%, 50,0% e 40,0%.

Altos teores de umidade (70%) inibem as chamas de queimada das madeiras (QUIRINO, 1991), portanto, seguindo esta lógica, as madeiras analisadas neste estudo não estariam protegidas do fogo, colocando-se em referência somente a porcentagem de umidade, mesmo que os galhos, folhas e copas das árvores ainda possuam altos teores de umidade (BRAND et al.,2014).

Vale et al. (2011), determinou o teor de umidade do Epicarpo (casca) do Pinhão Manso (*Jatropha curcas*), equivalente a 18,9%. Valor maior do que as madeiras Angico e Peroba Mica anteriormente mencionadas.

Também foi constatado que a madeira com menor teor de umidade desde estudo foi a Amescla, com 5,78%.

Lima et al. (2008), estudaram a influência da umidade no poder calorífico superior (PCS) da madeira e concluíram que a partir de 60% de umidade, não ocorre combustão da madeira devido a elevada quantidade de água presente e o poder calorífico da madeira é inversamente proporcional ao seu teor de umidade.

5.2 DETERMINAÇÃO DA COMPOSIÇÃO QUÍMICA DAS BIOMASSAS

Através das curvas padrões dos açúcares e dos métodos definidos no HPLC, foram determinados os teores de açúcares nas madeiras do Bioma Amazônico.

O equipamento determina as concentrações de cada açúcar presente nas amostras, gerando um relatório com os cromatogramas das amostras, como exemplificado nas Figura 39, relatório da amostra de Amescla (712.1) e Figura 40, relatório da madeira Cacauí (715.1).

A curva revela os picos de concentração no tempo de retenção de cada composto na coluna do equipamento. O tempo de retenção é o tempo médio padrão de identificação de cada substância.

O tempo de corrida nas análises de Cromatografia Líquida de Alta Eficiência foi de 15min para todas as amostras. Na amostra 712.1 (Amescla) da Figura 39, notou-se que o primeiro composto identificado foi a Celobiose, seguida da Glicose e da Xilose com aproximadamente 6min92s; 8min60s e 9min27s de tempo de retenção, respectivamente.

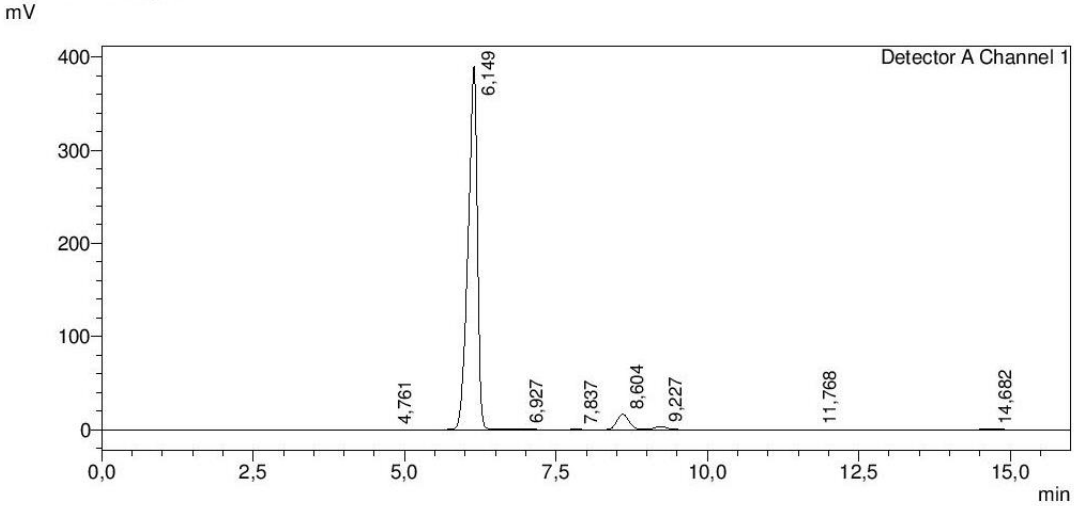
Figura 39 - Amostra 712.1: Relatório de análise HPLC

SHIMADZU LabSolutions **Analysis Report**

<Sample Information>

Sample Name	: 712-1		
Sample ID	: Batelada 1		
Data Filename	: amostra712-1.lcd		
Method Filename	: CURVA FINAL DO HPLC DE AÇÚCARES.lcm		
Batch Filename	: 1a bat açúcares.lcb		
Vial #	: 1-10	Sample Type	: Unknown
Injection Volume	: 20 uL		
Date Acquired	: 12/08/2015 15:43:54	Acquired by	: System Administrator
Date Processed	: 21/10/2015 17:21:03	Processed by	: System Administrator

<Chromatogram>



<Peak Table>

Detector A Channel 1

Peak#	Ret. Time	Area	Height	Conc.	Unit	Mark	Name
1	4,761	1356	65	0,000			
2	6,149	4150772	390264	0,000			
3	6,927	18360	1196	0,069	mg/L	V	CELOBIOSE
4	7,837	2977	231	0,000		V	
5	8,604	231598	16669	0,781	mg/L		GLICOSE
6	9,227	49010	3260	0,153	mg/L	V	XILOSE
7	11,768	1160	73	0,000			
8	14,682	11894	620	0,000			
Total		4467128	412377				

Fonte: Software HPLC - Faita (2015).

Na amostra 515.1 (Cacauí) da Figura 40, o primeiro composto identificado pelo HPLC foi a Celobiose, com aproximadamente 6min89s, seguida da Glicose com 8min57s, posteriormente a Xilose e a Arabinose com 9min18s e 10min05s, respectivamente, de tempo de retenção. Observa-se que a Arabinose não foi identificada na amostra 712.1 (Figura 40).

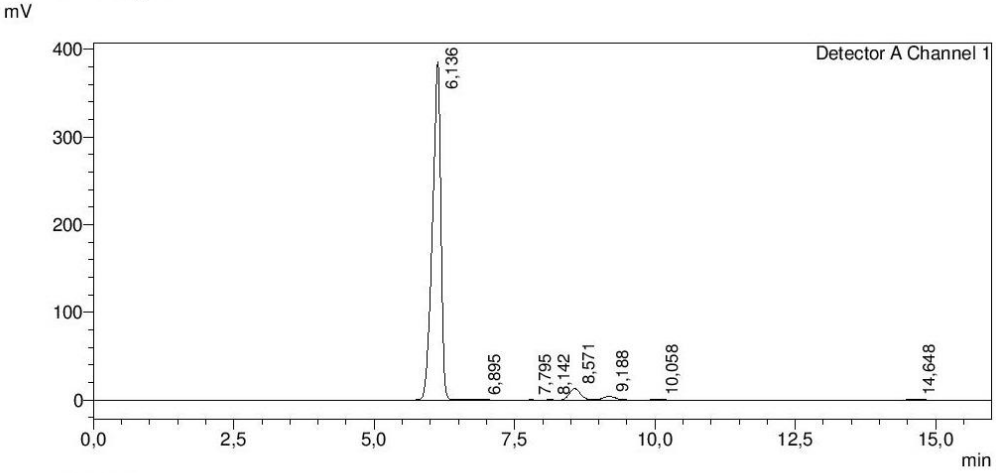
Figura 40 - Amostra 715.1: Relatório de análise HPLC

SHIMADZU LabSolutions **Analysis Report**

<Sample Information>

Sample Name	: 715-1		
Sample ID	: Batelada 1		
Data Filename	: amostra715-1.lcd		
Method Filename	: CURVA FINAL DO HPLC DE AÇÚCARES.lcm		
Batch Filename	: 1a bat açúcares.lcb		
Vial #	: 1-3	Sample Type	: Unknown
Injection Volume	: 20 uL		
Date Acquired	: 04/08/2015 14:56:57	Acquired by	: System Administrator
Date Processed	: 21/10/2015 17:20:59	Processed by	: System Administrator

<Chromatogram>



<Peak Table>

Detector A Channel 1

Peak#	Ret. Time	Area	Height	Conc.	Unit	Mark	Name
1	6,136	4019108	385841	0,000		S	
2	6,895	2955	255	0,018	mg/L	T	CELOBIOSE
3	7,795	2505	162	0,000			
4	8,142	3082	266	0,000		V	
5	8,571	179180	12968	0,603	mg/L		GLICOSE
6	9,188	62322	4224	0,200	mg/L	V	XILOSE
7	10,058	4445	330	0,010	mg/L		ARABINOSE
8	14,648	6014	320	0,000			
Total		4279612	404368				

Fonte: Software HPLC - Faita (2015).

Os resultados de todas as análises da composição química realizadas nas trinta espécies de madeiras do bioma amazônico são apresentados na Tabela 4, mostrando, de forma ordenada: o número da amostra, seu nome popular, o teor percentual de umidade, celulose, hemicelulose, lignina total, extrativos, cinzas e ao final, a soma de todos os componentes.

Tabela 4 - Caracterização da biomassa: composição das madeiras (%)

Caracterização da Biomassa (%)								
Amostra	**Madeira**	**Umidade**	**Celulose**	**Hemicelulose**	**Lignina Total**	**Extrativos**	**Cinzas**	**TOTAL**
701	Angico	10,14	25,88 ± 8,953	10,50 ± 3,170	27,57 ± 0,931	10,56	0,504 ± 0,336	75,01
702	Embaúba Branca	8,98	37,06 ± 5,294	14,23 ± 1,510	30,16 ± 1,295	3,296	1,364 ± 0,196	86,11
703	Leiteiro Vermelho	9,91	32,87 ± 9,774	11,20 ± 2,122	29,21 ± 1,395	9,839	3,684 ± 0,021	86,80
704	**Limoeiro**	**8,60**	**41,92 ± 4,412**	**16,18 ± 1,220**	**28,85 ± 0,347**	**1,708**	**0,824 ± 0,035**	**89,48**
705	Quina	9,30	32,81 ± 3,681	10,27 ± 0,602	31,22 ± 0,777	1,252	0,926 ± 0,113	76,48
706	Embaúba Branca	8,61	33,95 ± 6,853	12,46 ± 1,799	27,34 ± 0,298	11,76	1,346 ± 0,072	86,86
707	Leiteiro Branco	8,28	36,18 ± 4,407	13,38 ± 1,749	30,57 ± 0,769	1,610	2,799 ± 0,353	84,54
708	**Cambará**	**8,45**	**45,65 ± 6,679**	**11,62 ± 1,896**	**32,27 ± 1,252**	**0,182**	**3,899 ± 0,494**	**93,62**
709	Timburí	7,96	-	-	-	-	0,849 ± 0,000	-
710	**Tauaí**	**7,94**	**49,14 ± 2,201**	**7,712 ± 1,869**	**30,65 ± 0,674**	**3,168**	**0,504 ± 0,336**	**91,17**
711	Canelão	7,09	-	-	-	0,299	0,749 ± 0,000	-
712	Amescla	5,78	41,87 ± 13,86	12,41 ± 3,168	30,06 ± 0,009	3,776	1,044 ± 0,077	89,16
713	Leiteiro	8,28	42,63 ± 7,074	11,88 ± 1,350	29,78 ± 1,411	6,292	1,499 ± 0,070	92,08
714	**Roxinho**	**7,29**	**39,59 ± 13,91**	**8,971 ± 2,079**	**30,66 ± 0,293**	**6,763**	**1,549 ± 0,282**	**87,53**
715	Cacauí	9,91	25,88 ± 8,953	10,50 ± 3,170	27,57 ± 0,931	10,56	0,504 ± 0,336	75,01
716	Paxiúba	8,27	28,46 ± 6,943	9,30 ± 2,303	29,42 ± 287,0	4,869	2,224 ± 0,105	74,27
717	**Mamica de Porca**	**7,94**	**41,36 ± 1,093**	**16,97 ± 0,352**	**30,53 ± 0,619**	**5,227**	**0,699 ± 0,070**	**94,79**
718	Tachi	9,17	37,81 ± 5,229	11,39 ± 1,783	30,88 ± 1,585	1,460	1,221 ± 0,103	82,76
719	Peroba Mica	10,06	35,55 ± 2,724	13,84 ± 0,815	30,49 ± 156,1	6,023	0,273 ± 0,036	86,18
720	**Amescla Branca**	**8,37**	**40,15 ± 2,834**	**12,52 ± 0,868**	**29,60 ± 0,966**	**5,060**	**2,887 ± 0,428**	**90,22**
721	**Parirí**	**8,04**	**41,34 ± 2,490**	**10,91 ± 0,656**	**27,62 ± 0,297**	**1,657**	**0,724 ± 0,105**	**82,25**
722	**Mandioqueira**	**6,00**	**42,75 ± 16,85**	**13,57 ± 5,064**	**28,65 ± 0,210**	**3,294**	**1,124 ± 0,036**	**89,39**
723	**Araça**	**8,07**	**40,32 ± 1,644**	**15,75 ± 0,296**	**32,57 ± 538,2**	**1,474**	**1,647 ± 0,000**	**91,76**
724	Marfim	9,23	-	-	-	0,790	4,124 ± 0,319	-
725	Itaúba	8,55	34,54 ± 6,619	11,74 ± 1,884	22,13 ± 4513,	2,390	0,624 ± 0,105	71,42
726	Sucupira Amarela	8,26	31,73 ± 3,311	12,09 ± 1,142	31,21 ± 1079,	3,402	0,648 ± 0,212	79,08
727	**Samaúma**	**9,11**	**43,87 ± 3,080**	**12,53 ± 0,774**	**32,49 ± 465,3**	**0,535**	**1,499 ± 0,070**	**90,92**
728	Guarantã	7,40	34,38 ± 12,65	10,46 ± 2,822	27,80 ± 0,194	1,467	0,549 ± 1,254	74,66
729	Morcegueira	9,71	-	-	-	0,714	1,724 ± 0,035	-
730	Ucuúba	8,49	-	-	-	2,622	0,849 ± 0,070	-

Fonte: Faita (2015).

Após os cálculos, valendo-se das equações 1 a 10 e valores provenientes do HPLC, foi verificado a ocorrência de erro nos resultados do balanço de massa nas madeiras Timburí, Canelão, Marfim, Morcegueira e Ucuúba pois os balanços de massa fecharam com valores percentuais muito baixos, menores que 100%.

O erro pode ser atribuído a falhas experimentais e as análises deverão ser repetidas para estas amostras a fim de confirmar os resultados. Todavia, os valores de porcentagem de cinzas

e extrativos estão dentro do esperado e, portanto, estes resultados foram adicionados na Tabela 4.

Segundo Vale *et al.* (2010) *apud* Phillipp e D"Almeida (1998), a proporção aproximada para a celulose, hemicelulose e lignina são respectivamente 50:20:30%. Dentre as madeiras analisadas, as que obtiveram proporções aproximadas à literatura foram: Limoeiro; Cambará; Tauaí; Roxinho; Mamica de Porca; Samauma; Araça; Mandioqueira; Amescla Branca e Parirí, destacadas em negrito na Tabela 4 anteriormente apresentada.

A celulose, principal componente da madeira, representa de 40 a 50% de acordo com a literatura e os valores encontrados no presente trabalho estão na faixa de 26% a 49% conforme apresentados na Tabela 4.

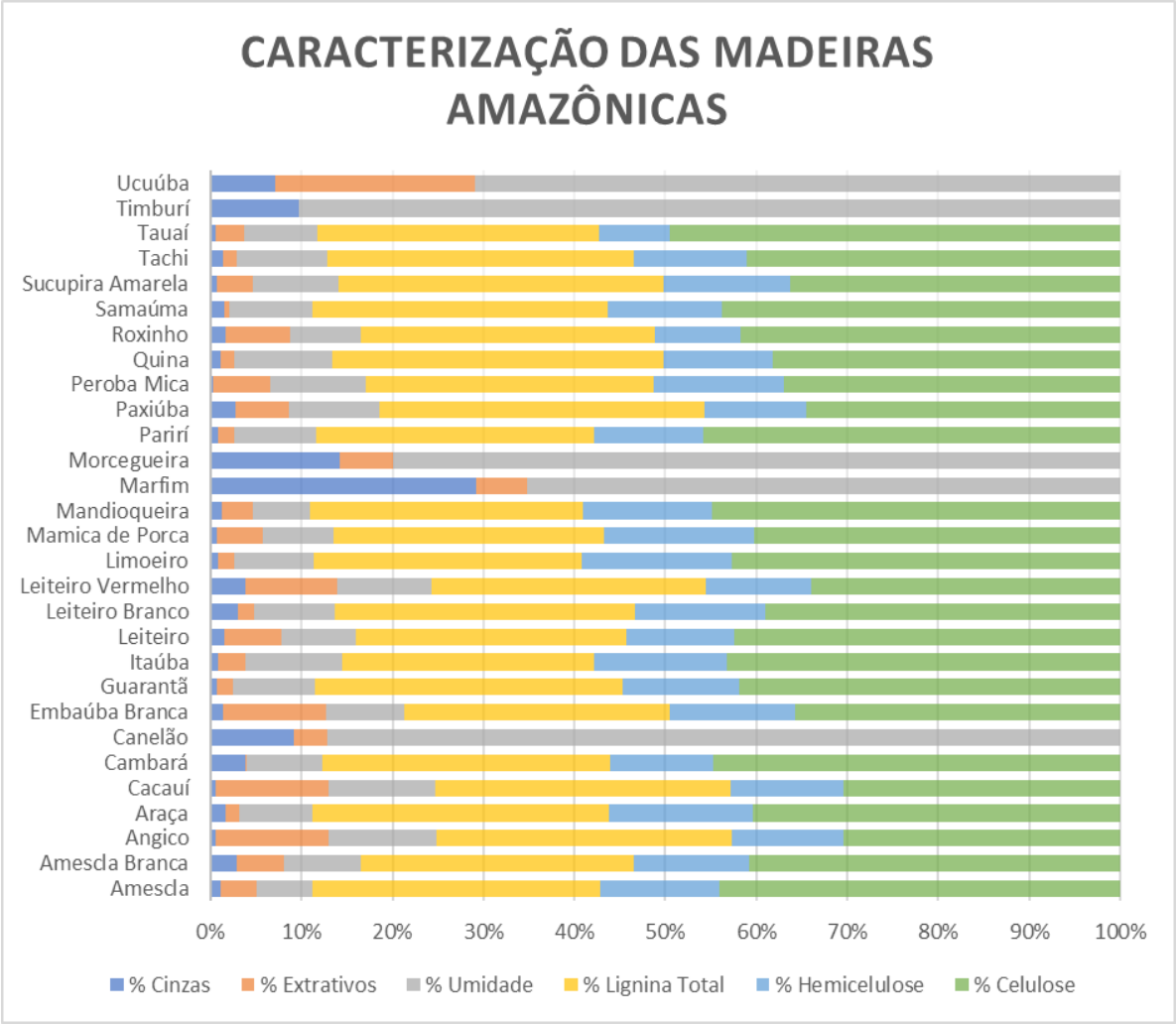
A porcentagem de matéria total (soma de todos os componentes exceto a umidade) ideal, de acordo com a literatura, é acima de 80,0%, para uma caracterização efetiva. Todavia, obtiveram-se valores de porcentagem de matéria total acima de 70,0%.

Em relação ao PCS das madeiras, de forma indutiva, pode-se dizer que as amostras com maiores proporções de lignina têm um maior PCS, ou seja, são mais fáceis de sofrerem queimas e devem ser o foco, em se tratando da preservação das florestas. Às madeiras com maiores índices de lignina foram: Cambará, Araçá e Samaúma, com aproximadamente 32 % de sua massa caracterizada composta por lignina.

A Figura 41 mostra a proporção dos elementos da caracterização em relação à porcentagem total de massa caracterizada. Dessa forma, a coluna "Total" Tabela 4 foi considerada como 100% da composição de cada amostra, segundo seus valores e, as colunas "Hemicelulose", "Celulose", "Lignina", "Extrativos", "Cinzas" e "Umidade", foram calculadas proporcionalmente à esse 100% para que fosse possível realizar uma análise de proporção de composição de forma mais visual.

Assim, as madeiras que não tiveram os valores de hemicelulose, celulose e lignina, segundo a devido a erros experimentais, são apresentadas na Figura 41 como uma proporção de extrativos, cinzas e umidade, considerando o seu "Total" de massa caracterizada. Todas as outras amostras contém as proporções de todos os elementos caracterizados e podem então ser comparadas com facilidade.

Figura 41 - Proporção de elementos segundo o total de massa caracterizado



Fonte: Produção do próprio autor.

Pode-se perceber então, na Figura 41, que a celulose (barras verdes) representam o primeiro componente das amostras, seguidas da lignina (barras amarelas) e hemicelulose (barras azuis), respeitando a ordem de maior proporção de elementos, segundo Vale *et al.* (2010) *apud* Phillipp e D"Almeida (1998) anteriormente comentada.

A coloração das madeiras está intimamente ligada com o valor de extrativos presente em diferentes quantidades nas amostras de madeiras. Na Figura 42, pode-se perceber que a amostras mais escuras são as de número: (a) 709 (Timburí) e (b) 715 (Cacauí) e as mais claras, as (c) 704 (Limoeiro) e (d) 728 (Guarantã).

Figura 42 - Análise cromática das amostras: (a) 709; (b) 715; (c) 704 e (d) 728

(a) (b) (c) (d)

Fonte: Fotografado pelo autor.

É interessante perceber, com auxílio da Tabela 5, derivada da Tabela 4 que a porcentagem de extrativos da amostra 715 (Cacauí) foi de 10,56%, uma porcentagem bastante alta, comparando-se com as outras amostras. Provavelmente a madeira 709 (Timburí), apresentaria, também, um alto teor de extrativos devido a sua colocarão mais escura.

As amostras 704 (Limoeiro) e 728 (Guarantã), apresentaram menores porcentagens de extrativos do que a amostra 715 sendo assim, coerentes com a sua coloração mais clara, apresentando baixa porcentagem de extrativos, com 1,708 (704 - Limoeiro) e 1, 467 (728 - Guarantã).

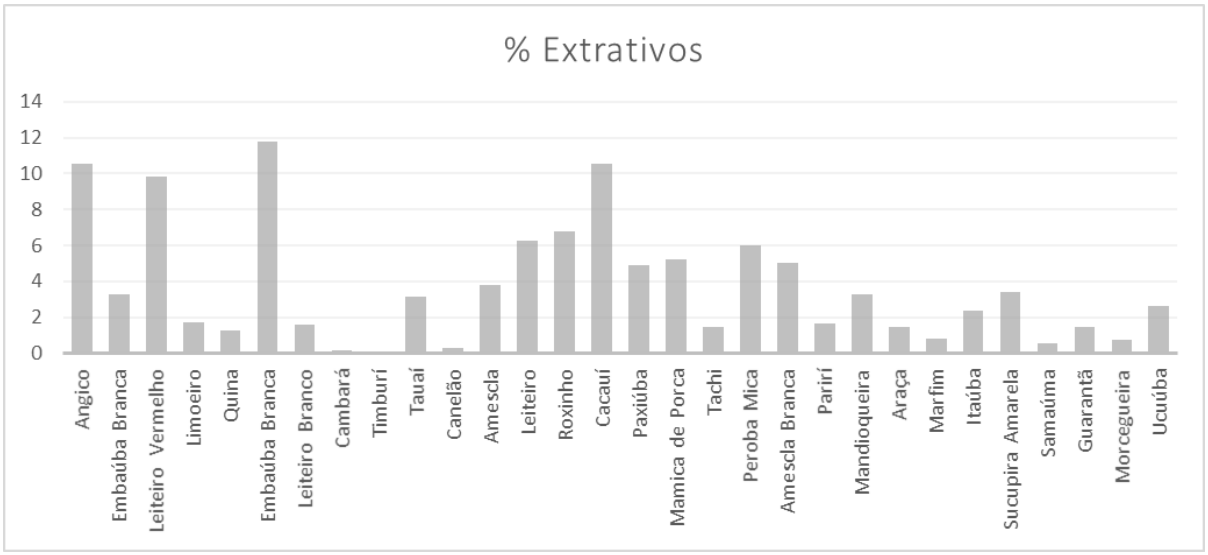
Tabela 5 - Extrativos versus Coloração das Amostras

Amostra	Madeira	% Extrativos
709	Timburí	-
715	Cacauí	10,56
704	Limoeiro	1,708
728	Guarantã	1,467

Fonte: Adaptado de Faita (2015).

Com o gráfico da Figura 43 é possível comparar de forma visual a porcentagem de extrativos das 30 madeiras.

Figura 43 - Porcentagem de extrativos



Fonte: Produção do próprio autor.

6 CONCLUSÃO

6.1 VERIFICAÇÃO DOS OBJETIVOS

Este estudo logrou êxito quanto aos objetivos propostos à medida que realizou a caracterização físico-química das madeiras do bioma da Amazônia, ordenando e apresentando as quantidades dos componentes e, propôs, a ampliação desses dados para esclarecer a composição química dessas madeiras para a preservação ambiental e, também, para o uso sustentável.

Com o objetivo de proteger o meio ambiente e utilizar a biomassa de forma sustentável, a caracterização das madeiras é uma fonte de dados para que esse conhecimento possa ser explorado e expandido.

O saber, em relação a quantidade de cinzas, auxilia na seleção de madeiras para fins de combustão e geração de energia. Àquelas madeiras com menor quantidade de cinzas e maior poder calorífico são melhores eleitas para esta finalidade, fazendo com que a preservação de madeiras seja possível e não sejam usadas madeiras em vão, dado que o uso dessa biomassa, fonte renovável, é mais adequado do que o uso de combustíveis fósseis, não renováveis.

Por outro lado, pela perspectiva da preservação ambiental, o alto teor de cinzas favorece a não ignição natural da biomassa lenhosa e as madeiras estudadas obtiveram teores maiores do que outras espécies utilizadas na indústria. Este comportamento reforça a ideia de estimular o uso de madeiras oriundas de reflorestamento, como por exemplo, a madeira de eucalipto para fabricação de carvão vegetal e dessa forma preservar as florestas nativas que são prioridades quando se almeja manter o equilíbrio desses ecossistemas.

Em relação a quantidade de umidade, pode-se perceber, que as madeiras com maiores teores são menos passíveis a ignição humana ou natural, dado que a quantidade de água é um entrave para a combustão, visto que o poder calorífico é inversamente proporcional ao teor de umidade. As madeiras analisadas, possuíram baixos teores de umidade, necessitando, então, de uma atenção especial para sua preservação quanto a queimadas, justificando a sua facilidade relativa de ignição e as altas taxas de desmatamento ilegal do bioma amazônico nos últimos anos.

A quantidade de celulose, lignina e hemicelulose, ficaram semelhantes as encontradas na literatura, variando de acordo com as espécies e com influência da região, idade e outras variáveis sendo estes importantes variáveis a serem analisadas pela indústria. Foi possível perceber a existência de outros materiais com maiores quantidades de celulose, hemicelulose

e lignina do que as madeiras estudadas neste trabalho, ratificando a importância da preservação das madeiras do bioma amazônico e a exploração sustentável de outros recursos disponíveis no mercado.

Os extrativos, caraterizados pelo acúmulo sais, açúcares e outros de nutrientes, responsáveis pela variação das cores e diferentes aromas das madeiras, podem ser observados facilmente, pela intensidade de cor das madeiras analisadas.

É perceptível que a composição química da biomassa é muito variável e já é de conhecimento que depende da idade, do cultivo e da região, variando, também, de acordo com a espécie das madeiras. Este estudo mostrou de forma evidente essa variação.

Após as conclusões, é possível estabelecer uma relação às questões norteadoras deste presente trabalho, levando-se em conta as discussões, cálculos, valores e análises levantadas por esta pesquisa.

A Figura 44 ilustra de forma sucinta as perguntas estabelecidas pela Figura 2 do capítulo 1 (Introdução) e as respostas discutidas no capítulo 5 (Resultados e Discussão).

Figura 44 - Respostas às questões norteadoras da pesquisa

Fonte: Produção do próprio autor.

6.2 PROPOSTAS FUTURAS

Os resultados deste trabalho têm grande importância quanto à tomada de decisão em relação à exploração e utilização desses recursos naturais de modo a promover o desenvolvimento de novos usos e produtos de maneira eficiente dentro do conceito de gestão integrada e responsável do manejo de florestas nativas.

Os cálculos e análises para a determinação de valores do Poder Calorífico Superior (PCS) poderiam colaborar, de forma concreta o mapeamento de áreas passíveis de ignição para a sua preservação e, a confirmação de relações entre componentes das madeiras e o PCS relatados pela literatura.

Ademais, a realização de estudos mais detalhados, como análise elementar CHONS (C - Carbono, H - Hidrogênio, O - Oxigênio, N - Nitrogênio e S - Enxofre), e análise das microestruturas das amostras através da Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) poderiam colaborar para um estudo mais completo das madeiras do bioma amazônico, proporcionando um maior número de dados que devem ser levados em conta no tocante a preservação do bioma amazônico e sua utilização de forma sustentável.

6.3 RISCOS E DIFICULDADES NAS ANÁLISES LABORATORIAIS

A realização de experimentos laboratoriais pode conter variações devido ao ambiente, temperatura e pressões diferentes as quais os elementos são expostos. Dessa forma, a padronização de certos elementos pode diminuir esta variação, obtendo-se assim resultados mais robustos.

Para uma maior preparação do pesquisador, frente ao seu estudo, a leitura de métodos e dificuldades encontradas por outros pesquisadores é bastante útil. Após a leitura de diferentes protocolos, a visualização geral, do início ao fim é útil para que seja seguido por todos os auxiliares de pesquisa.

Outros detalhes evidenciados por esta pesquisa também podem ser levados em conta em estudos futuros como, por exemplo, a utilização de luvas, esterilização de equipamentos entre outras coisas.

A utilização de luvas e pinças é imprescindível para manuseio de vidrarias, papel de filtro, e outros equipamentos que entram em contato direto com as amostras, e que serão posteriormente pesados. A não utilização acarreta no acúmulo de gorduras e outros materiais presentes nas mãos do pesquisador e seus auxiliares que podem causar algumas diferenças nos resultados.

A lavagem, esterilização ou calcinação utilizando os mesmos parâmetros para as vidrarias, recipientes, cadinhos e outros itens que serão pesados e estão em contato direto com o objeto de estudo pode contribuir para se evitar contaminações entre amostras e outros materiais presentes no laboratório, oriundos de outras pesquisas ou do meio ambiente.

A atenção para tempos de ciclo deve ser alta para que sejam sempre iguais entre as amostras realização de experimentos. Neste estudo foi utilizado despertadores para que as amostras fossem retiradas nos tempos definidos pelo protocolo de caracterização.

Em relação a identificação de amostras alguns pontos necessitam de certa atenção:

- Para a realização dos extrativos, os envelopes de papel filtro foram identificados com grafite para que, ao serem mergulhados em etanol, a sua identificação não fosse perdida/diluída e as amostras fossem confundidas.
- Uso de materiais na mufla: a identificação de cadinhos e vidrarias com canetões, pinceis marcadores e outras tintas acabavam saindo devido a alta temperatura de calcinação. Dessa forma, a metodologia adotada foi o mapeamento de amostras pela posição: Colocavam-se as amostras na mufla, e simultaneamente desenhava-se um mapa, em uma folha, com as posições das amostras na mufla, e deixava-se este mapa, colado ao lado do equipamento, com parâmetros de início e fim da etapa para que não fossem posteriormente utilizados e confundidos.

A utilização de duplicatas e triplicatas é necessária por proporcionar a determinação da média e desvio padrão dos resultados obtidos, para que estes estejam mais próximos a valores reais e confiáveis e as variações devido a erros experimentais sejam insignificantes.

A utilização de Equipamento de Proteção Individual (EPI) foi importante, pois a metodologia se vale da utilização de produtos tóxicos ao ser humano, e neste estudo, os EPIs foram extremamente úteis já que ocorreram quebra de tubos de ensaio com amostras e ácido na etapa de hidrólise ácida: Ao agitar o conteúdo dos tubos de ensaio com bastões de vidro, alguns tubos, já fragilizados quebraram, fazendo com que as amostras com ácido derramassem nos jalecos e luvas do pesquisador.

Dessa forma, as oportunidades, riscos e pontos de atenção podem ser levados em conta ao se repetirem metodologias similares a desde estudo, proporcionando maior robustez a pesquisas relacionadas a caracterização de biomassas.

REFERÊNCIAS

ALAKANGAS, E. et al. Biomass fuel trade in Europe. **Summary Report VTT – R – 03508 – 07.** EUBIONET II. Intelligent Energy Europe. Finlandia, 2007. 57 p.

ALMEIDA, J. C.; BRAZ, G. F. A Participação dos engenheiros de produção na gestão ambiental empresarial. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO: a engenharia de produção e o desenvolvimento sustentável, 29., 2009, Salvador. Anais... Salvador, 2019.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Banco de informações de geração.** Rio de Janeiro: BIG - ANEEL, 2018. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.cfm>. Acesso em: 16 set. 2018.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Atlas de energia elétrica do Brasil.** Brasília: ANEEL, 2005. 2d. ed. 243 p. Disponível em: < http://www.aneel.gov.br/documents/656835/14876406/2005_AtlasEnergiaEletricaBrasil2ed/06b7ec52-e2de-48e7-f8be-1a39c785fc8b >. Acesso em: 16 set. 2018

ANDREAE, M.O.; MERLET, P. Emissions of trace gases and aerosols from biomass burning. **Global Biogeochemical Cycles**, Washington, v. 15, p. 955-966, 2001.

BOUGNOM, B. P. et al. Possible use of wood ash and compost for improving acid tropical soil. In: INSAM, H.; KNAPP, B. A. (eds), **Reclycling of Biomass Ashes**, Heidelberg. Springer Verger. 2011. p. 87-105.

BRAND, M. A. **Qualidade de biomassa florestal para o uso na geração de energia em função da estocagem.** 2017. 169 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Centro de Ciências Florestais e Agrárias, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2007.

BRASIL. **Conheça os biomas brasileiros.** Diversidade Biológica. GOVBR. 2017. Disponível em: <http://www.brasil.gov.br/meio-ambiente/2009/10/biomas-brasileiros>. Acesso em: 01 nov 2018.

CANETTIERI, E. V. **Caracterização físico-química e análise da combustão de madeiras do bioma amazônico.** FAPESP. Processo 2013/04441-1. Departamento de Energia - FEM-UNESP, Guaratinguetá, 2013.

CANETTIERI, E. V.; SILVA, V. P.; SOARES NETO, T. G. Psycochemical and thermical characteristics of sugarcane straw and its cellugnin. **Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering**, São Paulo, v. 40, n. 416, 2018, 13 p.

CHEN, H. **Biotechnology of lignocellulose:** theory and practice. China: Chemical Industry Press, 2014. 510 p.

CRUTZEN, P.J.; ANDREAE, M.O. Biomass burning in the tropics: impact on atmospheric chemistry and biogeochemical cycles. **Science**, Washington, v. 250, p. 1669-1678, 1990.

DEMIRBAS, A. Biomass resource facilities and biomass conversion processing for fuels and chemicals. **Energy Conversion and Management**, Turquia, v. 42, p.1357-1378, 2001.

DEMIRBAS, A. Combustion characteristics of different biomass fuels. **Progress in Energy and Combustion Science**, Oxford, n. 30. p.219-230, 2004.

DENCE, C.W. The determination of Lignin. In: LIN, Y.L.; DENCE, C.W. (eds.). **Methods in Lignin Chemistry**. Berlin: Springer, p. 33-61, 1992.

DUNNING, J.W.; DALLAS, D.E. Improvement of charcoal yield by two-step pyrolysis on eucalyptus wood. **Analytical Chemistry**, Washington, v. 21. p. 727-729, 1949.

ELYOUNSSI, K. et al. Improvement of charcoal yield by two-step pyrolysis on eucalyptus wood: a thermogravimetric study. **Fuel**, Londres, v. 96, p. 161–167, 2012.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Relatório síntese do balanço energético nacional 2018**: ano base 2017. Rio de Janeiro: EPE, 2018. Disponível em: < http://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2018>. Acesso em: 16 set. 2018.

FAITA, J. R. **Análise físico-quimica de madeiras do bioma amazônico.** 2015. Iniciação Científica. FAPESP. Processo 14/10379-0. Departamento de Energia – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2015.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **State of the Word's Forests.** Roma: FOA, 2011. Disponível em: < http://www.fao.org/docrep/013/i2000e/i2000e00.htm>. Acesso em: 3 out. 2018.

FREDDO, A. et al. Elementos minerais em madeiras de eucaliptos e acácia negra e sua influência na indústria de celulose Kraft branqueada. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.9, n.1, p.193-209, 1999.

GARCIA, D. P. **Caracterização química, física e térmica de pellets de madeira introduzidos no Brasil**. 2010. 101 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2010.

GARCIA, R. **Combustíveis e combustão industrial**. 2. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2002. 358 p.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2017. 184 p.

GOUVEIA, E.R. et al. Validação de Metodologia para a caracterização química de bagaço de cana-de-açúcar. **Química Nova**, v. 32. 6. ed. p. 1500-1503, 2009.

HANSEN, M. C. et al. **High-Resolution global maps of 21st-century forest cover change. Science,** Washington, v. 342, n. 6160, p. 850-853. 2013. Disponível em: <http://earthenginepartners.appspot.com/science-2013-global-forest>. Acesso em: 5 out 2018.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISA ESPACIAL. **Monitoramento da floresta amazônica por satélite.** INPE, 2018. Disponível em: < http://www.obt.inpe.br/OBT/assuntos/programas/amazonia/prodes>. Acesso em: 16 set. 2018.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISA ESPACIAL ESTIMATIVA DE EMISSÕES. **Estimativa de emissões dos gases do efeito estufa (GEE) por mudanças de cobertura da terra.** INPE - EM, 2018. Disponível em: < http://inpe-em.ccst.inpe.br/>. Acesso em: 16 set. 2018.

IOELOVICH, M. Cellulose as a nanostructured polymer: a short review**. BioResources**, North Carolina, v. 3, n. 4, p. 1403-1418, 2008.

KOTHARI, C. R. **Research methodology, methods and techniques**. 2. ed. New Delhi: New Age International, 2001. 418 p.

LIMA, E. A.; ABDALA, E. M.; WENZEL, A. A. **Comunicado Técnico 220:** influência da umidade no poder calorífico superior da madeira. Colombo, 2008. Disponível em: < https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/315901/1/comtec220.pdf>. Acesso em 12. set. 2018.

MCALLISTER, S. et al. Piloted ignition of live forest fuels. **Fire Safety Journal,** Missoula, v. 51, p. 133-142, 2012.

MICHELAZZO, P.A.M. et al. Mercury emissions from forest burning in Southern Amazon. **Geophysical Research Letters**, Washington, v. 37, n. 9, 2010. Disponível em: < https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/2009GL042220>. Acesso em: 16 set. 2018.

MINISTÉRIO PÚBLICO FEDERAL. **A Amazônia Protege.** MPF. 2018. Disponível em: < http://www.amazoniaprotege.20-.br/o-projeto/por-que>. Acesso em: 5 out 2018.

MORAES, J. P. S.; ROSA, M. F.; MARCONCINI, J. M. Procedimentos para análise lignocelulósica. **Documentos 236**, Campina Grande, 54 p. 2010.

NOBRE, A. D. O Futuro climático da Amazônia. **Relatório de Avaliação Cientifica.** São José dos Campos, 42 p. 2014. Disponível em: <http://www.ccst.inpe.br/wp-content/uploads/2014/10/Futuro-Climatico-da-Amazonia.pdf_>. Acesso em: 5 out 2018.

NOGUEIRA, E. M. et al. Wood density in forests of Brazil's "arc of deforestation": implications for biomass and flux of carbon from land-use change in Amazonia. **Forest Ecology and Management.** Amsterdam, v. 248. p. 119–135, 2017.

NÚÑEZ-REGUEIRA, L.; RODRIGUEZ-AÑÓN, J.; PROUPIN-CASTIÑEIRAS, J. Calorific values and flammability of forest species in Galicia. Continental high mountainous and humid Atlantic zones. **Bioresource Technology,** Santiago de Compostela, v. 61, 111 p. 1997.

NÚÑEZ-REGUEIRA, L.; RODRIGUEZ-AÑÓN, J.; PROUPIN-CASTIÑEIRAS, J. Using bomb calorimetry for determination of risk indices of wildfires originating from pine residues. **Thermochimica Acta,** Santiago de Compostela, n. 394, p. 291-304, 2000.

PARTHASARATHY, P.; & NARAYANAN, S. K. Determination of kinetic parameters of biomass samples using thermogravimetric analysis, **Environmental Progress and Sustainable Energy,** Hoboken, n. 33, p. 256-266, 2013.

PRODANOV, C. C.; FREITAS, E. C. **Metodologia do trabalho científico:** métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico. 2. ed. Novo Hamburgo: FEEVALE, 2013. 270 p.

QUIRINO, W.F. **Características e índice de combustão de brinquetes de carvão vegetal.** 64f. 1991. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 1991.

RAMAGE, J.; SCURLOCK, J. Biomass**.** In: BOYLE, G. **Renewable Energy**: power for a sustainable future. New York: Oxford University Press, 1996.

RAMANATHAN, V. et al. Trace gas trends and their potential role in climate change. **Journal of Geophysical Research,** Hoboken, v. 90, p. 5547-5566. 1985.

ROCHA, G. J. de M. et al. Influence of mixed sugarcane bagasse samples evaluated by elemental and physical-chemical composition. **Industrial Crops and Products,** v. 64, p. 52-58. 2015. Disponível em: < https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S092666901400689X>. Acesso em: 10 ago. 2018.

SAHU, S. G. et al. Thermogravimetric assessment of combustion characteristics of blends of a coal with different biomass chars. **Fuel Processing Technology**, Amsterdam, v.91. p. 369–378. 2010.

SERRANO-RUIZ, J. C.; LUQUE, R.; SEPÚLVEDA-ESCRIBANO, A. Transformations of biomass-derived platform molecules: from high added-value chemicals to fuels via aqueous-phase processing. **Chemistry Society Reviews,** Cambridge, n.11, p. 5266–5281, 2011.

SLUITER, A. et al. Determination of extractives in biomass. **Laboratory Analytical Procedure** (LAP), 2005. Disponível em: < https://www.nrel.gov/docs/gen/fy08/42619.pdf>. Acesso em: 15 mar. 2018.

SPIRIDONAND, I.; POPA, V. I. Hemicelluloses: Major sources, properties and applications, **Monomers, polymers and composites from renewable resources**. Utrecht. p. 289-304. 2008.

TEIXEIRA, M. A. **Biomassa de Babaçu no Brasil.** 2002. Departamento de Energia – Faculdade de Engenharia Mecânica - Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2002.

VALE, A. T.; DIAS, I. S.; SANTANA, A. E. Relações entre propriedades químicas, físicas e energéticas da madeira de cinco espécies de cerrado. **Ciência Florestal,** Santa Maria, v. 20, n. 1, p. 138, 2010.

VALE, A. T. et al. Potencial energético da biomassa e carvão vegetal do epicarpo e da torta de pinhão manso (Jatropha curcas). **Cerne,** Lavras, v. 17, n. 2, p. 267-273. 2011.

VAN DONKELAAR, A. et al. Satellite-based estimates of ground-level fine particulate matter during extreme events: a case study of the Moscow fires in 2010. **Atmospheric Environment,** Oxford, v. 45, p. 6225-6232, 2011.

VASCONCELOS, S. S. et al. Forest fires in southwestern Brazilian Amazonia: estimates of area and potential carbon emissions. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v.291, p.199-208. 2013.

WARD, D.E.; SHEA, R.; HAO, W.M. Fires in tropical savanna ecosystems – The need for mitigation**.** In: PROCEEDINGS OF THE AIR AND WASTE MANAGEMENT ASSOCIATION INTERNATIONAL SPECIALTY CONFERENCE, 1994, Arizona. **Proceedings…** Arizona, 1994.

WIEMANN, M.; WILLIAMSON, G. Wood specific gravity gradients in tropical dry and montane rain forest trees. **American Journal of Botany,** Lancaster, v. 76, n.6, p. 944-928. 1996.

BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

AMARAL, S. S. et al. Comparative study for hardwood and softwood forest biomass: chemical characterization, combustion phases and gas and particulate matter emissions. **Bioresource Technology**, Essex, p. 55-63, 2014.

AMORIM, E.B. et al. Influence of specimen size, tray inclination and air flow rate on the emission of gases from biomass combustion. **Atmospheric Environment**, Oxford, p.52-59. 2013. Disponível em: < https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1352231013001684>. Acesso em: 20 maio 2018.

ASTM METHODS (AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, US) D.110656. **Standard test method for lignin in wood**, Philadelphia, p. 396-398. 1966.

COSTA, F.S.; SANDBERG, D.V. Mathematical model of smoldering of logs. **Combustion and Flame,** New York, v. 139, n. 3, p. 227-338. 2004.

COSTA, M.A.M. et al. Real-time sampling of particulate matter smaller than 2.5 μm from Amazon forest biomass combustion. **Atmospheric Environment**, Oxford, v. 54, p. 480-489, 2012.

KRÓL, D., POSKROBKO, S. Waste and fuels from waste: parte i. analysis of thermal decomposition. **Journal of Thermal Analysis and Calorimetry,** Budapest, Hungary, 2012.

NETO, T.G.S. et al. Laboratory evaluation of Amazon forest biomass burning emissions**. Atmospheric Environment,** Oxford, v.45, p. 7455-7461, 2011.

TENORIO, C. et al. **Evaluation of wood properties from six native species of forest plantations in Costa Rica.** Instituto Tecnológico de Costa Rica – Escuela de Ingeniería Florestal, Cartago, Costa Rica, p. 71-84, 2016. Disponível em: < https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/9804/evaluation_wood_properties_six_native.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 22 jun. 2018.

YIN, C.Y.; GOH, B.M. Thermal degradation of rice husks in air and nitrogen: Thermogravimetric and Kinetic Analyses. **Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects,** v. 34, 3 ed., p.246–252, 2011. Disponível em: < https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/15567030903586048>. Acesso em: 23 jun. 2018.

YOON, H. C.; POZIVIL, P.; STEINFELD, A. Thermogravimetric pyrolysis and gasification of lignocellulosic biomass and kinetic summative law for parallel reactions with cellulose, xylan, and lignin. **Energy & Fuels,** Washington, v.26. p. 357–364. 2012.

ZHANG, Y. et al. Particulate emissions from different types of biomass burning. **Atmospheric Environment**, Oxford, v.72, p. 27-35, 2013.