



UFAM

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS – UFAM

FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRARIAS – FCA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS E

AMBIENTAIS - PPGCIFA

**APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS MADEIREIRO PARA A PRODUÇÃO DE
ENERGIA: CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA**

ANDRESSA CAROLINE RODRIGUES DA SILVA

MANAUS

2013



UFAM

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS – UFAM
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRARIAS – FCA
PROGRAMA DE POS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS E
AMBIENTAIS - PPGCIFA

APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS MADEIREIRO PARA A PRODUÇÃO DE
ENERGIA: CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA

ANDRESSA CAROLINE RODRIGUES DA SILVA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ciências Florestais e Ambientais da Universidade Federal do Amazonas, como requisito parcial para a obtenção do Título de Mestre em Ciências Florestais e Ambientais, área de concentração

Orientador: Dr. Bazílio Vasco Vianez
Corientadora: Dra. Maria de Jesus Coutinho Varejão

MANAUS

2013

Ficha Catalográfica
(Catalogação realizada pela Biblioteca Central da UFAM)

Sumário

1.1 Silva, Andressa Caroline Rodrigues da

Aproveitamento de resíduos madeireiro para a produção de energia elétrica: caracterização química / Andressa Caroline Rodrigues da Silva. – Manaus, 2013.

81f.; il. color.

Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais e Ambientais) – Universidade Federal do Amazonas.

Orientador: Dr. Bazílio Vasco Vianez

1. Recursos energéticos 2. Fontes alternativas de energia 3. Resíduos vegetais I.Vianez, Bazílio Vasco (Orient.) II. Universidade Federal do Amazonas II. Título

CDU 2007 620.929(043.3)

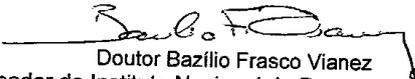


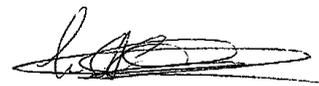
Poder Executivo
Ministério da Educação
Universidade Federal do Amazonas
Faculdade de Ciências Agrárias
Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Ciências Florestais e Ambientais - PPGCIFA



PARECER
Defesa nº 140

A banca examinadora, instituída pelo colegiado do Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais e Ambientais, da Faculdade de Ciências Agrárias, da Universidade Federal do Amazonas, após arguir da mestranda **ANDRESSA CAROLINE RODRIGUES DA SILVA**, em relação ao seu trabalho de dissertação intitulado **"APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS MADEIREIROS PARA A PRODUÇÃO DE ENERGIA: CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA"** é de parecer favorável à APROVAÇÃO da mestranda habilitando-a ao título de Mestre "*Magister Scientiae*" em Ciências Florestais e Ambientais, na área de concentração em **CIÊNCIAS FLORESTAIS E AMBIENTAIS (CIFA)**.


Doutor Bazílio Frasco Vianez
Pesquisador do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia
Presidente de banca examinadora


Doutora Ceci Sales-Campos
Pesquisadora do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia
Primeira examinadora


Doutor Nabor da Silveira Pio
Professor da Faculdade de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Amazonas
Segundo examinador

Manaus, 18 de novembro de 2013.


Prof. Dr. Julio César Rodríguez Tello
Coordenador do Programa de Pós-graduação em:
Ciências Florestais e Ambientais - PPG-CIFA



Resumo

Na década de 1970, surgiram novos conceitos de sustentabilidade ambiental, econômica e social estabelecendo-se um novo padrão ideal de geração e de consumo de energia. E esses novos conceitos vem se difundindo cada vez mais, principalmente em relação ao aumento do consumo do petróleo para geração de energia elétrica, por se tratar de uma fonte não renovável, e geradora de poluentes. Neste âmbito a biomassa surge como fonte de energia alternativa, uma vez que é oriunda de fontes renováveis e não degrada o meio ambiente. O presente trabalho teve como objetivo avaliar as características químicas dos resíduos madeireiros para a produção de energia. Os resíduos das espécies florestais foram selecionados com base no projeto de estudo de Monitoramento Periódico das madeiras comercializadas no município de Itacoatiara no Estado do Amazonas, onde se selecionou os resíduos das espécies *Brosimum portabile* Ducke (amapá doce), *Brosimum rubescens* Taub (muirapiranga), *Hymenolobium petraeum* Ducke (angelim pedra), *Simarouba amara* Aubl (marupá) sendo as espécies mais utilizadas nas serrarias da região. Das espécies foram retiradas amostras dos resíduos madeireiros, que foram identificados anatomicamente, fragmentados para determinação da densidade básica e submetidos a moagem para determinação do teor de umidade da madeira, poder calorífico e propriedades químicas (teor de extrativos, teor de celulose, teor de Lignina, teor de cinzas, teor de sílica). A densidade das espécies estudadas variou de 0,55 a 0,88 g/cm³ e a umidade dos resíduos das espécies de 8,5% a 9,5%. A análise descritiva por espécie demonstrou que das quatro espécies estudadas, as que apresentaram melhores desempenhos para produção de energia foram muirapiranga com o poder calorífico (4866,6 cal/g), extrativos (22,61%), ligninas (34,53%) e cinzas (0,46%) e angelim pedra com o poder calorífico (4568 cal/g), extrativos (10,29%), ligninas (34%) e cinzas (0,52%). A análise de regressão demonstrou que há correlações positivas entre o poder calorífico e os extrativos, entre o poder calorífico e a lignina e entre o poder calorífico e a sílica. No entanto a análise de regressão demonstrou haver uma regressão negativa entre o poder calorífico e a celulose, e entre o poder calorífico e o teor de cinzas.

Palavras-chave: resíduos madeireiros, caracterização química, biomassa, energia

Abstract

In the 1970s, new concepts were established about environmental, economic and social sustainability by setting a new ideal standard for generation and consumption of energy. These new concepts have been spreading, especially in relation to the increased consumption of oil for electric power generation, since it is a non-renewable and a pollutant-generating source. In this context the biomass appears as an alternative energy source, since it is from renewable sources and do not degrade the environment. The objective of the present work was to evaluate the chemical characteristics of wood residues to produce energy. The residues of forest species were selected based on the project: Periodic Monitoring Study of Woods Sold in the city of Itacoatiara in Amazonas State, from which the most commonly used species in sawmills of the region, *Brosimum portabile* Ducke (amapá), *Brosimum rubescens* Taub (muirapiranga), *Hymenolobium petraeum* Ducke (angelim pedra) and *Simarouba amara* Aubl (marupá) were selected. Samples of wood residues were taken from these species, which have been anatomically identified, fragmented for the determination of basic density and milled for the determination of wood moisture content, heat value and chemical properties (content of extractives, cellulose, lignin, ashes and silica). The density of the studied species ranged from 0.55 to 0.88 g/cm³ and humidity from 8.5% to 9.5%. The descriptive analysis by species showed that from the four studied species, the ones that showed better performances for the production of energy were muirapiranga with heat value (4,866.6 cal/g), extractives (22.61%), lignins (34.53%), ashes (0.46%) and angelim pedra with heat value (4,568 cal/g), extractives (10.29%), lignins (34%) and ashes (0.52%). Regression analysis showed that there are positive correlations between heat value and extractives, between heat value and lignin and between heat value and silica. However the regression analysis showed a negative correlation between heat value and cellulose, and between heat value and ash content.

Keywords: wood residues, chemical characterization, biomass, energy.

A maior benção recebida de Deus,
minha filha Pietrah Carollyne
Rodrigues do Nascimento.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Deus pela sua infinita benção em minha vida

A minha mãe Rose Mary Rodrigues da Silva por seu amor e apoio ao longo deste trabalho.

Ao meu esposo Andreyde Lopes do Nascimento pelo apoio, compreensão, e por estar sempre ao meu lado, mesmo que isso significasse ficar acordado a noite toda, ou cuidando de nossa filha para que este projeto fosse concluído.

Aos meus familiares, minha irmã Lorena Stefanny, minha prima Kamilla Rodrigues, minha tia Doraci Rodrigues e a minha sogra Maria de Nazaré Rebelo por estarem sempre presentes ao meu lado nos momentos de dificuldades.

À Universidade Federal do Amazonas, (UFAM) ao curso de pos graduação em Ciências Ambientais e Florestais (PPGCIFA) e ao Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA) pela oportunidade de realizar este trabalho.

À Capes pela bolsa e incentivos a pesquisa e inovação tecnológica essencial para conquista deste trabalho.

Ao Pesquisador Dr. Bazílio Frasco Vianez, pela atenção e orientação deste trabalho concedida ao longo deste projeto.

A Pesquisadora, Dra. Maria de Jesus Coutinho Varejão por sua dedicação e orientação e principalmente por sua cobrança durante a realização deste trabalho, pois sem sua força e incentivo jamais teria concluído.

Aos amigos que conquistei ao longo deste trabalho, MSc. Cristiano de Souza Nascimento, MSc. Jorge Alves de Freitas, MSc. Marta Martins Brasil, Dra. Suely de Souza Costa e Esp. Irineide de Almeida Cruz.

Aos amigos do Laboratório de Química da Madeira do INPA, pela agradável convivência e companheirismo, Nilyan Adria, Nirla Sampaio, André Mota, Joe Martinni, Hellen Alexandre, Rob Martins.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Matriz de oferta interna de energia (% de tep).....	8
Figura 2. Matriz da oferta interna de eletricidade	9
Figura 3. Etapas do processo do material para análise.....	23
Figura 4. Corte dos resíduos para análise.....	24
Figura 5. Extração em etanol-tolueno.....	25
Figura 6. Extração em etanol.....	26
Figura 7. Extração em água quente.....	27
Figura 8. Determinação do teor de lignina	27
Figura 9. Determinação do teor de celulose.....	28
Figura 10. Determinação do poder calorífico	29
Figura 11. Análise estatística do teor de extrativo das espécies.....	32
Figura 12. Análise estatística do teor de celulose das espécies.....	33
Figura 13. Análise estatística do teor de lignina das espécies.....	34
Figura 14. Análise estatística do poder calorífico das espécies.....	35
Figura 15. Análise estatística do teor de sílica das espécies.....	36
Figura 16. Análise estatística do teor de cinzas das espécies.....	37
Figura 17. Análise de regressão do poder calorífico em função do teor de extrativos	40
Figura 18. Análise de regressão do poder calorífico em função do teor celulose	41
Figura 19. Análise de regressão do poder calorífico em função do teor de lignina.....	42
Figura 20. Análise de regressão do poder calorífico em função do teor de cinzas.....	43
Figura 21. Análise de regressão do poder calorífico em função do teor de sílica.....	44

LISTA DA TABELA

Tabela 1. Operações florestais e geração de resíduos.....	5
Tabela 2. Empreendimentos em operações de energia no Brasil.....	10
Tabela 3. Composição elementar da madeira.....	12
Tabela 4. Composição média de madeira de conífera e folhosas.....	13
Tabela 5. Valores de Densidade e Umidade das espécies.....	31
Tabela 6. Análise de variância entre as espécies.....	38
Tabela 7. Comparação de médias entre as espécies.....	39
Tabela 8. Análise de correlação com todas as espécies.....	39

Sumário

Lista de figuras.....	V
Lista de Tabelas.....	VI
Resumo.....	IX
Abstract.....	X
1 Introdução.....	1
2 Objetivo.....	3
2.1 Objetivo Geral.....	3
2.2 Objetivos específicos.....	3
3 Revisão de literatura.....	4
3.1 Geração de resíduos florestais.....	4
3.2 Energias Renováveis.....	6
3.3 A madeira como fonte de energia.....	11
3.4 Composição química da Madeira.....	13
3.4.1 Celulose.....	14
3.4.2 Lignina.....	14
3.4.3 Hemicelulose.....	15
3.4.4 Extrativos.....	16
3.4.5 Cinzas.....	17
3.4.6 Sílica.....	17
3.5 Poder calorífico.....	18
3.6 Densidade da madeira.....	18
3.7 Umidade da madeira.....	19
3.8 Características gerais das espécies estudadas.....	20
3.8.1 <i>Brosimum potabile</i> Ducke.....	20
3.8.2 <i>Brosimum rubescens</i> Taub.....	20
3.8.3 <i>Hymenolobium petraeum</i> Ducke.....	21
3.8.4 Simarouba amara Aubl.....	22
4 Material e Métodos.....	23
4.1 Material.....	23
4.2 Métodos.....	24
4.2.1 Determinação da densidade básica.....	24
4.2.2 Determinação do teor de umidade.....	25
4.2.3 Determinações das propriedades químicas nos resíduos de madeira.....	25
4.2.3.1 Determinação do teor de extrativos em tolueno etanol (2:1).....	25
4.2.3.2 Determinação do teor de extrativos em etanol.....	26
4.2.3.3 Determinação do teor de extrativos em água quente.....	27
4.2.3.4 Determinação do teor de lignina.....	27
4.2.3.5 Determinação do teor de Celulose.....	28
4.2.3.6 Determinação do teor de cinzas no resíduo de madeira.....	29
4.2.3.7 Determinação do teor de sílica nas cinzas no residuo de madeira.....	29
4.2.4 Determinação do poder calorífico.....	29
4.2.5 Análise estatística.....	30
5 Resultados e Discussão.....	31
5.1 Análise dos resíduos de madeira.....	31

5.2	Análise estatística descritiva por espécie.....	44
5.3	Análise estatística descritiva entre as espécie.....	37
5.4	Análise de correlação dos parâmetros analisados entre as espécies.....	39
5.5	Análise de regressão entre as espécie de madeira	40
5.5.1	Poder calorífico X extrativos.....	40
5.5.2	Poder calorífico X celulose.....	41
5.5.3	Poder calorífico X lignina.....	54
5.5.4	Poder calorífico X teor de cinzas.....	55
5.5.5	Poder calorífico X teor de sílica	44
6	Conclusões.....	45
7	Referências	46
Apêndice A	Quadro de análise Extrativos	57
Apêndice B	Quadro de análise Celulose	58
Apêndice C	Quadro de análise Lignina.....	59
Apêndice D	Quadro de análise Cinzas	60
Apêndice E	Quadro de análise Poder Calorífico	61
Apêndice F	Estatística descritiva espécie Amapá	62
Apêndice F	Estatística descritiva espécie Angelim.....	63
Apêndice G	Estatística descritiva espécie Marupá.....	64
Apêndice H	Estatística descritiva espécie Muirapiranga	65

1 introdução

Nos últimos dez anos as indústrias de base florestal tiveram um crescimento significativo no mercado mundial, principalmente com o aumento das exportações no setor moveleiro. Em contrapartida a crescente demanda no setor elevou o aumento das áreas desmatadas e a quantidade de resíduos florestais gerados, tanto nas indústrias moveleiras, quanto nas áreas de exploração florestal. Esse elevado crescimento contribuiu para aumento das fiscalizações dos órgãos ambientais, o que acarretou uma preocupação dos empresários com o destino final destes resíduos madeireiros. Neste âmbito surge a utilização dos resíduos madeireiros para produção de energia elétrica, uma vez que é uma fonte de biomassa, de origem renovável e seu uso não gera poluentes como os combustíveis fósseis que são derivados do petróleo (BRAND, 2009).

A biomassa atualmente vem ganhando destaque no mercado de produção de energia. Um dos principais produtos é a cana-de-açúcar que teve uma grande participação no mercado de oferta interna de energia no Brasil, assim como a lenha e o carvão vegetal (MME, 2009).

Pesquisas vêm sendo realizadas no âmbito de substituir o petróleo que hoje é uma das principais fontes de energia elétrica, por fontes renováveis, especialmente pela crescente elevação do preço do barril de petróleo e pelo aumento nas emissões de gases de efeito estufa aliado à crise energética que o Brasil vem enfrentando. Para isso governo federal vem investido em energias renováveis, com a intenção de aumentar a capacidade geradora de energia interna no país, e dessa forma suprir a demanda de energia elétrica, sobretudo nas áreas de difícil acesso. O Amazonas por ser um estado de grande extensão territorial, e um dos que mais sofre no abastecimento de energia elétrica principalmente nas comunidades isoladas, onde a falta de energia elétrica é constante (GOMES *et al.*, 2007).

A utilização dos resíduos madeireiros para produção de energia elétrica, pode suprir essa demanda, principalmente nas comunidades isoladas do estado do

Amazonas um dos detentores de uma das maiores biodiversidade do país, onde o acesso dá apenas por meio fluvial, e a grande maioria da população rural da região utiliza da extração da madeira para produção de móveis como fonte de renda (SILVA & CAVALIEIRO 2001).

A quantidade de resíduos gerados por essas serrarias pode ser reaproveitada para geração de energia, uma vez que na sua maioria são descartados, sem nenhum aproveitamento. A sua utilização como fonte de energia agregaria valor a estes resíduos tornando-os competitivos no mercado, o que geraria uma fonte de renda para essas regiões.

2 Objetivo

2.1 Objetivo Geral

Avaliar as características químicas dos resíduos madeireiros para a produção de energia.

2.2 Objetivos específicos

- Determinar a densidade básica dos resíduos;
- Avaliar os teores de extrativos, celulose e lignina e os teores de cinza e sílica;
- Determinar o poder calorífico dos resíduos para produção de energia;
- Correlacionar o poder calorífico com os parâmetros químicos das espécies estudadas;
- Avaliar as espécies estudadas em função das variáveis analisadas.

3 Revisão de literatura

3.1 Geração de resíduos florestais

O Brasil apresenta uma grande extensão de florestas tropicais, grande parte dessas florestas está ainda preservada, cerca de 415,9 milhões de hectares, correspondendo a cerca de 30% das florestas do mundo. Segundo a Organização Nacional da Agricultura – FAO, a área reflorestada de 5,4 milhões de hectares é a oitava maior do mundo, crescendo 21 mil hectares por ano (FAO, 2006).

No Brasil são desmatados, em média, 3,1 milhões de hectares todos os anos. As causas mais importantes são a expansão da fronteira agrícola, seguida do desmatamento comercial e da construção de estradas (FAO, 2007).

Entre os anos de 1991 a 2004 a taxa média de crescimento do comércio internacional de produtos florestais atingiu 4,2% aa, enquanto que, no mesmo período, a taxa de crescimento das exportações brasileiras de produtos florestais alcançou 11,1% aa. Dessa forma o Brasil ganha espaço no mercado Internacional de produtos florestais, em contrapartida contribuiu com aumento das áreas exploradas para o desmatamento comercial e a geração de grandes quantidades de resíduos, que são deixados na exploração florestal (ABIMCI, 2004).

Magossi (2007) descreve que o termo “resíduo” significa qualquer sobra decorrente de uma ação ou processo produtivo, que são acumulados ou descartados no ambiente e potencialmente capazes de gerar problemas ambientais.

Os resíduos florestais podem ser caracterizados como aqueles gerados e deixados na floresta devido às atividades da colheita de madeira. Este conceito engloba todo o material resultante da exploração da madeira e que permanece sem utilização definida. São considerados resíduos florestais os seguintes materiais: casca, galhos, copas e árvores com diâmetro inferior ao mínimo comercial ou árvores doentes e mortas, tocos e raízes (SOUZA, 2010).

O extinto IBDF (Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal) e a Universidade Federal do Paraná classificaram os resíduos em três tipos distintos:

a) serragem - resíduo originado da operação de serras, encontrado em todos os tipos de indústria, à exceção das laminadoras; **b) cepilho** - conhecido também por maravalha, resíduo gerado pelas plainas nas instalações de serraria/beneficiamento e beneficiadora (indústrias que adquirem a madeira já transformada e a processam em componentes para móveis, esquadrias, forros, etc.); **c) lenha** - resíduo de maiores dimensões, gerado em todos os tipos de indústria, composto por costaneiras, aparas, refilos, resíduos de topo de tora, restos de lâminas (FONTES, 1994).

Segundo a FAO (2006), muitos países não têm a clara percepção da quantidade de biomassa que pode ser coletada das operações florestais em andamento. A maior parte desse material consiste de galhos deixados na floresta durante o processo de corte e colheita. A Tabela 1 mostra que ao longo da cadeia produtiva, em florestas plantadas e nativas, somente de 30% a 40% do volume total da árvore será efetivamente processada. Do total da biomassa disponível na floresta, de 10% a 20% constituem-se de galhos, ponteiros, raízes e troncos sem valor. Das toras destinadas ao uso industrial, de 24% a 36% se transformarão em produtos comerciais, sendo o restante composto de resíduos como casca, fuligem, chips sem uso comercial e outros resíduos madeireiros.

Tabela 1. Operações florestais e geração de resíduos (% da tora em pé)

Operação	Florestas nativas		Florestas plantadas	
	Produto	Resíduo	Produto	Resíduo
Corte	30-40	60-70	80-90	10-20
Processamento primário e secundário	10-20	10-20	30-40	40-50
Total	10-20	80-90	30-40	60-70

Fonte: FAO (2006)

O processamento das toras para a produção de tábuas, vigas, pranchas e outras peças, por si só já é responsável pela geração de grande quantidade de resíduos. Outros itens como a qualidade das toras, a espécie utilizada, o sistema de desdobro, as condições do maquinário e a qualificação da mão-de-obra também interferem diretamente no volume de resíduos gerados (SOUZA, 2010).

As formas mais comuns de destinação dos resíduos é a queima a céu aberto dos restos de madeira, painéis e da serragem (AZEVEDO, 2009). A disposição inadequada destes resíduos pode causar problemas ambientais como a poluição do solo, ar, lençol freático, visual, além de alguns ocuparem grandes áreas ao serem descartados (ROSI *et al.*, 2011).

As indústrias que utilizam a madeira como matérias-primas estão em posição invejável, pois, asseguradas as condições climáticas favoráveis, as árvores podem converter energia solar e estocá-la em forma de madeira, cascas e resíduos florestais. Até recentemente, a maioria das atividades de exploração florestal visava apenas o produto principal, isto é, a madeira para celulose, chapas, lâminas e compensados, serraria etc., deixando os resíduos com possibilidade de conversão para energia diversa no local (COUTO; BRITO, 1980, ALMEIDA *et al.*, 2010).

Com o aumento do preço do petróleo e as pressões ambientais dos órgãos responsáveis pela fiscalização, as indústrias de base florestal passaram a se preocupar com o descarte desses resíduos e a sua reutilização para geração de energia. Neste contexto a biomassa florestal passou a ser foco de atenção do setor florestal e de empresas geradoras de energia onde culminaram com a necessidade de realizar pesquisas de prospecção do uso da biomassa florestal para a geração de energia (BRAND, 2009).

3.2 Energias Renováveis

A partir da crise do petróleo na década de 1970, surgiram novos conceitos de sustentabilidade ambiental, econômica e social estabelecendo-se um novo padrão ideal de geração e de consumo de energia. Essa transição se faz pela gradativa substituição de fontes de energia de origem fóssil, principalmente petróleo e seus derivados, por fontes renováveis e menos poluentes. Tal mudança é impulsionada principalmente pela progressiva redução das reservas de carbono fóssil, pelos conflitos entre nações ocasionadas pela detenção e/ou dependência dessas reservas e também devido aos problemas ambientais decorrentes do uso de combustíveis não renováveis (SACHS, 2005).

O uso de energias renováveis é uma tendência mundial, cada vez mais difundida, principalmente por razões ambientais e econômicas. Das diversas formas

existentes de energias renováveis, a biomassa tem grande destaque, devido sua capacidade produtiva e versatilidade de aplicação (CINTRA, 2009). No Brasil, a biomassa tem grande expressão no suprimento energético do país, 31,6% do total e a madeira corresponde a quase a metade desse valor (BRASIL, 2008).

O setor elétrico do Brasil enfrenta dificuldades significativas. Para o futuro, a Eletrobrás prevê altos riscos de déficit. O sistema de geração brasileiro apresenta altas características sazonais, devido à origem de sua hidroeletricidade, sendo que no período de secas o risco de interrupção de energia é ainda maior. Com base nesse dado, o governo brasileiro está desenvolvendo políticas para o incentivo à instalação de termoelétricas, cuja fonte energética pode ser a biomassa (COELHO *et al.*, 2002).

No Brasil, a participação das fontes renováveis na oferta interna de energia tem aumentado, principalmente na última década, representando atualmente 45,3% da matriz energética brasileira. Deste percentual de energia renovável, 25,6% correspondem à energia de biomassa de origem florestal (lenha e carvão vegetal). A biomassa florestal representa, portanto, a quarta fonte de energia da matriz nacional (depois do petróleo, da cana-de-açúcar e da energia hidráulica). A quantidade de lenha consumida para fins energéticos no Brasil foi de 94 milhões de toneladas em 2008 (CANTO, 2009).

Segundo os estudos do atual Plano Decenal de Energia, a Oferta Interna de Energia (OIE) – energia necessária para movimentar a economia – atinge o montante de 439,7 milhões Tep (Toneladas equivalentes de petróleo) em 2020, resultando em crescimento de 5,1% aa, desde 2010, taxa superior à prevista para o PIB (Produto Interno Bruto), de 5% aa. De fato, para a próxima década, em especial, nos primeiros 5 anos, é esperado um forte crescimento de setores intensivos em energia, como aço e celulose, por exemplo, voltados para exportação e para o mercado interno. Três grandes eventos promovem essa expansão: a copa do mundo de 2014, as Olimpíadas de 2016 e a exploração de petróleo do Pré-Sal (MME, 2011).

Na matriz da OIE, as fontes renováveis continuam crescendo em participação, de 45,3% em 2010, para 47,7% em 2020 (Figura 1). Produtos da cana (bagaço e etanol) e “outras” fontes (eólica e biodiesel) aumentam suas participações. Já hidráulica e lenha perdem participação (MME, 2011). Sendo a energia hidráulica

aquela proveniente de usinas hidrelétricas, é obtida a partir da energia mecânica produzida pela movimentação do eixo de turbinas pelo fluxo de queda d'água represada em reservatórios (COELHO, 2010).

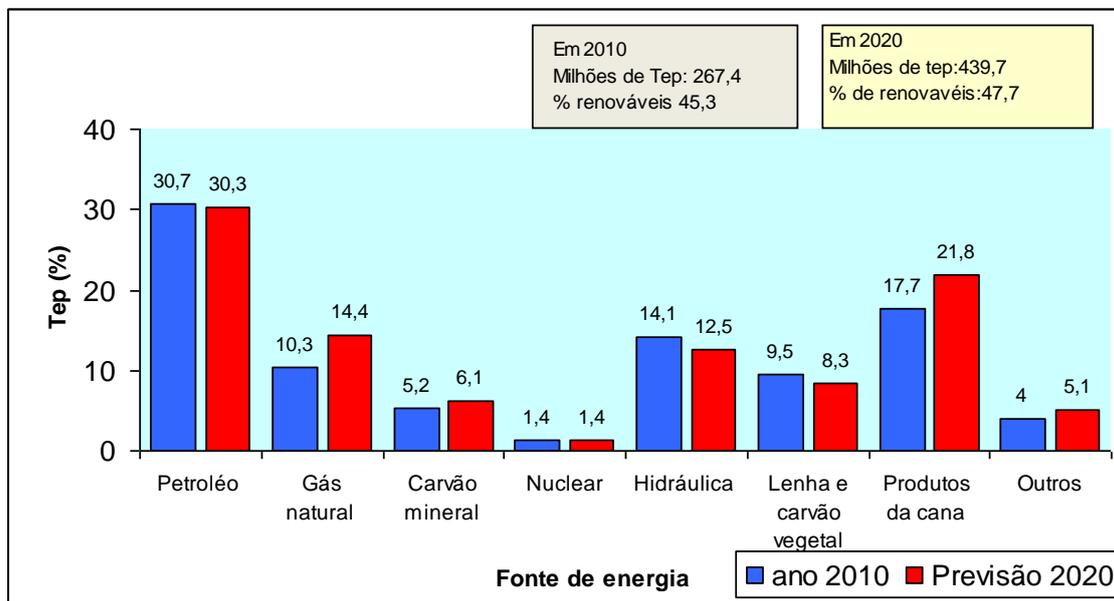


Figura 1. Matriz de oferta interna de energia (% em tep).

Fonte: MME - 2011.

No entanto quando se fala de oferta interna de energia elétrica (OIEE), esta atingirá o montante de 867,3 TWh (Terawatt-hora) em 2020, mostrando crescimento de 4,8% aa sobre 2010, taxa um pouco menor do que a prevista para o PIB. Alguns setores eletrointensivos, como alumínio, por exemplo, não apresentam desempenho muito elevado (MME 2011).

Na matriz de OIEE a energia hidráulica continua com supremacia em 2020, respondendo por 73,4% do total, contra 80,6% em 2010 (incluindo importação) (Figura 2). A redução da fonte de energia hidráulica é compensada por relevantes incrementos na geração por biomassa e por eólica. Neste contexto, as fontes renováveis ficarão com 87,7% de participação em 2020, percentual superior ao verificado em 2010, de 86,2% (MME 2011).

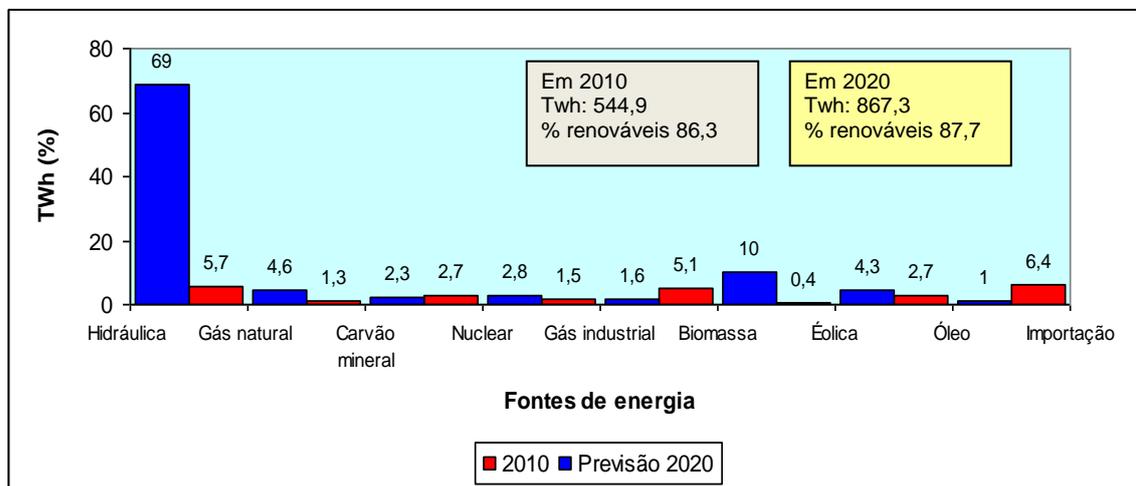


Figura 2. Matriz de Oferta Interna de Eletricidade (%)

Fonte: MME - /2011.

Esse elevado crescimento se deve aos investimentos neste setor, que cresceram nos últimos 10 anos, principalmente após a assinatura do protocolo de Kyoto em 1998, que estabelecia que os países tinham que investir em energias renováveis e assim diminuir a quantidade de emissões de gases de efeito estufa. Com a crise do petróleo aliado a crise energética que atingiu o país em 2001. O governo federal criou a Empresa de Planejamento Energético (EPE), pela Lei 10.847/04; o Programa de incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA) através da Lei 10.438/02; e diversas ações inovadoras entre as quais cabe citar o Plano Nacional de Agroenergia do Ministério da Agricultura (GOMES *et al.*, 2007).

O PROINFA previu, em sua primeira fase, assegurar a participação de 3.300 MW (Mega Watt) de energia a partir de fontes renováveis. Na segunda fase, as energias renováveis deverão atender a 10% do consumo anual de energia elétrica no País em 20 anos. Para que a meta seja atingida, no mínimo 15% do incremento anual de energia elétrica, devem ser supridos pelas fontes renováveis. A finalidade do programa é aumentar a participação da energia elétrica gerada a partir de unidades de produção baseadas em biomassa, energia eólica e pequenas centrais hidrelétricas, oferecendo condições especiais de financiamento aos empreendedores (MME, 2009).

No Brasil existem aproximadamente 20 milhões de pessoas sem acesso à energia elétrica. Esse quadro será minimizado à medida que os custos na geração e distribuição de energia sofrerem redução. Isso se dará quando novas fontes de energias forem disponibilizadas gradativamente em substituição aos combustíveis

fósseis (ORTIZ, 2002). Pesquisas sobre melhores práticas e tecnologias mostram o crescimento no número de empreendimentos em construção e operação no Brasil. A Tabela 2 mostra a quantificação dos empreendimentos em operações utilizando energias renováveis (JUNIOR *et al*, 2010).

Tabela 2. Empreendimentos em operação e capacidades de geração de energia no Brasil.

Empreendimentos em Operação							
Tipo		Capacidade instalada		%	Total		%
		N.º de Usinas	(kW)		N.º de Usinas	(kW)	
Hidro		846	78.979.833	68,10	846	78.979.833	68,10
Biomassa	Bagaço de Cana	292	4.806.315	4,14	360	6.403.460	5,52
	Licor Negro	14	1.193.298	1,03			
	Madeira	38	327.767	0,28			
	Biogás	9	44.672	0,04			
	Casca de Arroz	7	31.408	0,03			
Eólica		39	740,784	0,64	39	740,784	0,64

Fonte: ANEEL, 2010; JUNIOR *et al*, 2010.

Alguns princípios básicos deverão ser seguidos com a finalidade de amenizar o impacto ambiental e otimizar seu aproveitamento, tais como: Reciclagem, tecnologia sofisticada, treinamento dos operários, serras e maquinários adequados ao corte. (GOMES & SAMPAIO, 2004; SHUBART, 1983; SILVA *et al*, 2005; SOARES *et al* 2010).

Na geração de energia elétrica, os sistemas isolados da Região Amazônica consomem grandes volumes de combustíveis derivados de petróleo. No entanto, suas potencialidades energéticas advindas de fontes renováveis e não renováveis (gás natural) são abundantes e devem ser estudadas e utilizadas, de modo sustentado, para atendimento às suas demandas, incrementando o desenvolvimento regional e a universalização dos serviços de energia elétrica na região, em harmonia com o meio ambiente. (FROTA, 2004).

Assim é extremamente importante o estudo da biomassa oriunda dos resíduos florestais, uma vez que o estado do Amazonas tem um grande potencial

para geração de energia, o que agregaria valor aos resíduos florestais tornando-os competitivos no mercado.

3.3 A madeira como fonte de energia

Desde os primórdios da existência do homem a madeira já era utilizada como fonte de energia. No início da humanidade a madeira era utilizada como fonte de aquecimento e depois para preparação dos alimentos. Nos dias atuais apesar de toda a tecnologia ainda pode se encontrar em determinadas regiões a madeira como combustível para preparação, tanto dos alimentos, como para aquecimento, principalmente nos municípios onde a energia elétrica ainda não chegou.

No Amazonas, por sua grande extensão de terra, ainda há comunidades isoladas onde se usa a lenha como principal fonte de energia, que é o terceiro energético primário consumido no Brasil, com um valor médio nos últimos 26 anos de $9,78 \times 10^7$ toneladas/ano. (VALE *et al.*, 2000).

Desta forma, pode-se afirmar que a lenha ocupa posição importante no cenário energético nacional, tratando-se de um recurso natural renovável, que pode ter sua produção sustentável e não possui o caráter poluidor de outras fontes fósseis. Acrescente-se ainda a vocação florestal brasileira e sua grande área geográfica (VALE *et al.*, 2000).

Parte da energia gerada através da madeira poderá ser proveniente de resíduos da exploração florestal, ou seja, copa de árvores, lenha fina, material proveniente de desbrota e resíduos das indústrias: casca, madeira não descascada, quebra de torretes, serragem dos picadores, constituindo um modo de mitigação de impacto ambiental (FAZZIO, 1980).

Os resíduos do corte mais a serragem da madeira não têm finalidade útil, muitas vezes são jogados e queimados, emitindo grandes quantidades de CO₂ na atmosfera. Com a geração de eletricidade, esses resíduos são vendidos, proporcionando geração de renda aliada à qualidade ambiental, já que depois de devidamente processada, a madeira transforma-se em energia, compensando a queima de combustíveis fósseis (KIKUCHI, 2001).

Tillman (1978), classificava a madeira como sendo livre de poluição, pois a mesma não apresenta os problemas costumeiros de poluição provocados pelos

combustíveis fósseis, devido ao baixo teor de enxofre. Para Earl (1975), o conteúdo de cinzas na madeira é usualmente baixo, variando de 0,5 a 5,0% e é de pouca consequência.

Embora a constituição química da madeira (celulose, lignina, hemicelulose, extrativos e constituintes minerais) do tecido lenhoso seja praticamente a mesma para todas as espécies, o rendimento energético da madeira depende dessa composição, e cada tipo de árvore possui sua porcentagem diversificada. Sendo de extrema necessidade conhecer a composição da madeira adequada para a utilização em processos de combustão (CUNHA *et al*,1989).

Os principais elementos existentes são o Carbono (C), o Hidrogênio (H), o Oxigênio (O) e o Nitrogênio (N), este em pequenas quantidades. A Tabela 3 apresenta a composição química elementar da madeira de diversas espécies, coníferas e folhosas, sendo os seus valores, a composição percentual em relação ao peso seco da madeira (KLOCK *et al*, 2005):

Tabela 3: Composição elementar da madeira

Elemento	Porcentagem
C	49-50
H	6
O	44-45
N	0,1-1

Fonte: Klock *et al*, (2005).

Além destes elementos, encontram-se pequenas quantidades de Cálcio (Ca), Potássio (K), Magnésio (Mg) e outros, constituindo as substâncias minerais existentes na madeira. (KLOCK *et al*, 2005):

Do ponto de vista da análise dos componentes da madeira, uma distinção precisa ser feita entre os principais componentes macromoleculares constituintes da parede celular que são a celulose, polioses (hemiceluloses), e lignina, que estão presentes em todas as madeiras, e os componentes minoritários de baixo peso

molecular, extrativos e substâncias minerais, os quais são geralmente mais relacionados a madeira de certas espécies, no tipo e quantidade (Tabela 4). As proporções e a composição química da lignina e polioses diferem em coníferas e folhosas, enquanto que a celulose é um componente uniforme da madeira (KLOCK *et al*, 2005):

Tabela 4: Composição Média de Madeiras de Coníferas e Folhosas

Constituinte	Folhosas (%)	Coníferas (%)
Celulose	42 ± 2%	45 ± 25%
Polioses	27 ± 2%	30 ± 5
Lignina	28 ± 2%	20 ± 4
Extrativos	5 ± 3%	3 ± 2

Fonte: Klock *et al*, (2005)

São diversas as características da madeira que exercem influência sobre seu uso energético. Alguns autores que já estudaram as características físicas e químicas da madeira destacam que as principais são o poder calorífico, a composição elementar, o teor de compostos químicos, o teor de umidade e a densidade básica (BARRICHELO, 1977a, 1977b, 1980; CORDER, 1973; DOAT, 1977; CINTRA, 2009).

A madeira é um componente essencial no atendimento da demanda energética, com a maior parte do consumo situa –se nos setores de produção de carvão vegetal, domiciliar, industrial e agropecuário (BRITO 2007).

3.4 Composição química da Madeira

A madeira é distinta de outros materiais por apresentar um conjunto formado por paredes celulares e espaços vazios (lúmens das células), sendo sua estrutura celular constituída tipicamente de células tubulares (SILVA & SILVA, 1991). Sua composição química é baseada em três componentes principais, celulose, hemicelulose e lignina acompanhada de componentes de menor proporção, como os compostos inorgânicos, e principalmente aqueles denominados de extrativos (NASCIMENTO, 2000).

3.4.1 Celulose

É o componente majoritário, perfazendo aproximadamente a metade das madeiras tanto de coníferas, como de folhosas. Pode ser brevemente caracterizada como um polímero linear de alto peso molecular, constituído exclusivamente de β -D-glucose. Devido a suas propriedades químicas e físicas, bem como à sua estrutura supra molecular, preenche sua função como o principal componente da parede celular dos vegetais (KLOCK *et al*, 2005).

A biossíntese da celulose nas plantas segue o mesmo princípio de formação de outros polímeros na natureza. As plantas produzem os compostos básicos que são polimerizados através da ação de catalizadores orgânicos, tais como as enzimas. A fotossíntese é um processo no qual a água e o gás carbônico que são combinados, empregando a luz solar na produção de glicose e de outros açúcares simples, produzindo também oxigênio (STAMM, 1964)

3.4.2 Lignina

A palavra lignina vem do latim *lignum*, que significa madeira (SANTOS, 2008). São estruturas complexas e abundantes, com aproximadamente 30% do carbono da biosfera (Fengel & Wegener, 1989), presentes na maioria das plantas, mas com estrutura básica diferente entre espécies vegetais. São encontradas, principalmente, na lamela média e, em menores proporções, na parede secundária e nos traqueídeos, com funções como aumento da rigidez da parede celular, agente cimentante entre uma célula e outra, redução da permeabilidade da parede celular à água, proteção da madeira contra microrganismos e aumento da resistência da planta à compressão para permitir o seu crescimento (D'ALMEIDA *et al.*, 1988; WILLFÖR *et al.*, 2002; ZANUNCIO & COLODETTE, 2010).

Os grupos funcionais metoxílicos (OCH₃) característicos da lignina e com aproximadamente 90% da ocorrência na natureza em moléculas de lignina de coníferas; o hidroxílico (fenólico), que representa cerca de 10% do peso da lignina de coníferas e folhosas; e os grupos carboxílicos (COOH) e carbonilas (CO) representam outra característica importante da lignina (ZANUNCIO & COLODETTE, 2011).

Uma característica peculiar da lignina é a presença de agrupamentos éster, que conferem maior flexibilidade ao caule sendo este comportamento observado na família Poaceae em Pinus (ABREU & OERTEL, 1999).

O constituinte químico da madeira que exerce maior influencia sobre as características físicas e químicas de seus derivados energéticos é sem dúvida, a lignina. (ANDRADE, 1998),

Foi constatado por Brito & Barrichello (1977), que embora a lignina comece a degradar-se sob o efeito de temperaturas relativamente baixas (por volta de 150 graus centígrados), observa-se que, ao contrário da celulose e das hemiceluloses, a decomposição da lignina é mais lenta, apresentando mais resistência a degradação térmica do que esses polissacarídeos. Por isso os autores afirmam que a lignina está diretamente correlacionada com a produção e o rendimento gravimétrico do carvão vegetal, já que esse produto é o resíduo carbonoso da queima controlada da madeira (CINTRA, 2009;).

3.4.3 Hemicelulose

É um polissacarídeo associado à celulose e à lignina no tecido vegetal. Enquanto a celulose é formada pela repetição da mesma unidade monomérica, a hemicelulose aparece condensada por um grupo heterogêneo de açúcares, que contém unidades de glicose, manose, galactose, xilose, arabinose e ácido glucorônico que formam a hemicelulose. Possuem cadeias ramificadas e menores (LEPAGE, 1986).

O termo hemicelulose é usado como uma geração dos termos pentanasas, hexosanas, e outras polioses da madeira. A hemicelulose apresenta cerca de 20 a 30 % de madeira em peso e está associada à parede celular. São açúcares simples, solúveis em meio alcalino e facilmente degradado sob hidrólise ácida (BARRICHELO & BRITO, 1976).

As hemiceluloses são intimamente relacionadas com a celulose e contribuem com os componentes estruturais das árvores. Algumas hemiceluloses estão presentes nas árvores sob estresse, por exemplo, a madeira comprimida tem uma grande quantidade de D-galactose (um tipo de hemicelulose) e lignina (ROWELL *et al.*, 2005; SANTOS, 2008).

3.4.4 Extrativos

Os extrativos não fazem parte integrante da formação estrutural da parede celular ou lamela média do tecido xilemático, mas tem presença marcante nas suas características e propriedades, tais como cheiro, cor, resistência ao ataque de organismos xilófagos, resistência mecânica, densidade e higroscopicidade. Alguns tipos podem escurecer a madeira quando expostas ao ar devido a um processo de oxidação, outros restringem a penetração de líquidos comprometendo a eficiência da colagem, principalmente aqueles solúveis em água fria, que durante a secagem afloram à superfície formando depósitos, devido ao movimento da água no interior da madeira (FPL, 1987).

A quantidade e a qualidade dos extrativos são bastante variáveis de espécie para espécie. As variações nos teores dessas substâncias são evidentes entre indivíduos dentro de uma mesma espécie, variando do cerne mais interno para o recém-formado, sendo mais efetivo neste último. Também, quanto aos tipos de solventes, os quais solubilizam os extrativos de caráter fungicida e inseticida nas madeiras de elevada durabilidade natural, são amplamente variáveis e dependentes das espécies (OLIVEIRA *et al*, 2005).

Os extrativos podem ser retirados da madeira por água e solventes orgânicos, como etanol, acetona, diclorometano, metanol e etanol/tolueno, entre outros, ou mesmo por volatilização. Os extrativos que conferem durabilidade à madeira são normalmente formados durante a transformação do alburno em cerne, sendo de caráter fenólico e polifenólicos, que se acumulam nos lúmens e paredes das células, resultando, na maioria das vezes, numa coloração escura do cerne (OLIVEIRA *et al*, 2005).

Os extrativos que são solúveis em álcool apresentam altos valores calóricos e podem chegar até 8.500 kcal/Kg. Para gomas esses valores estão por volta de 3.500 Kcal/Kg e os extrativos solúveis em solventes como álcool e benzeno, apresentam valores ao redor de 6.500 Kcal/Kg (SHAFIZADEH, 1976; DEGROOD, 1976; DOART, 1977; CINTRA, 2009).

3.4.5 Cinzas

A porção inorgânica da madeira é analisada como cinza por incineração do material orgânico madeira a 600~850°C. A porcentagem de cinzas está entre 0,2, e 0,5% no caso de madeiras de zonas temperadas, mas frequentemente valores mais altos podem ser encontrados em madeiras tropicais. (KLOCK, 2005).

Os constituintes minerais são compreendidos principalmente de sais de cálcio, potássio e magnésio, e sais de outros elementos que estão presentes em menor quantidade. Os radicais ácidos são carbonatos, fosfatos, silicatos, sulfatos e em alguns casos oxalatos. Apesar da composição da cinza ser variável, muitas vezes está composta de 40 a 70% de óxido de cálcio, 10 a 30% de óxido de potássio, 5 a 10% de magnésio e 0,5 a 2% de óxido de ferro. Os óxidos de alumínio, manganês e sódio também estão presentes, e análises espectroscópicas indicam a presença de vários outros minerais. A migração dos compostos inorgânicos para a superfície com deposição durante a secagem reduz a flamabilidade das espécies (BROWNING, 1963).

3.4.6 Sílica

O Silício é um elemento de grande importância para os seres vivos e faz parte da composição química de muitos tecidos vegetais e animais. Em seres humanos, por exemplo, tal elemento está presente na forma de sílica e é responsável por iniciar e/ ou acelerar o processo de mineralização dos ossos (XIA *et al.*, 2000 *apud* RODRIGUES & SANTANA, 2005).

O Silício é absorvido do solo pelas raízes, na forma de ácido silícico em solução e transportado até as partes superiores das plantas. A precipitação do Si na forma de SiO₂ ocorre nas células da planta, mais especificamente nos pontos em que a concentração de ácido silícico excede a concentração de saturação, isto é, cerca de 140 ppm. Tal precipitação ocorre porque a planta perde água durante o processo de transpiração (JONES, 1978).

A quantidade de ácido silícico absorvida pelo vegetal varia conforme a espécie e o tipo de solo em que a planta vive. A palha e a casca de arroz, por exemplo, podem conter até 15% de sílica, enquanto que as espécies de folhosas (angiospermas) contêm de 0,1% a 0,4 % (JONES, 1978). Entretanto, um grupo de

espécies dos gêneros *Licania* e *Parinari* e várias espécies do gênero *Eschweilera* possuem mais de 2% de sílica (PANSHIN & DE ZEEW, 1980)

Foi constatado que aproximadamente 0,5% de sílica causa rápido desgaste das serras, provavelmente devido à ação abrasiva da sílica. O teor abrasivo da madeira contribui como um fator importante nas operações de caldeira que utilizam madeira como combustíveis, sendo a sílica e a alumina componentes encontrados predominantemente nas incrustações das tubulações das caldeiras (FARMER, 1967).

3.5 Poder calorífico

A medida do poder calorífico é de extrema importância na avaliação energética de qualquer combustível. Todo o combustível possui dois tipos de poder calorífico, o poder calorífico superior e o inferior (PIMENTA, 2000; BARCELOS, 2000; MOULIN, 2010).

O poder calorífico superior é aquele em que a combustão se efetua a volume constante e no qual a água formada durante a combustão é condensada e o calor que é derivado desta condensação é recuperado (BRIANE & DOAT, 1985).

O poder calorífico superior, como define Earl (1975), exclui o calor que é derivado da condensação do vapor da água produzido pela combustão da água líquida. O vapor da água pode ser derivado de qualquer umidade livre presente no combustível ou da combustão do hidrogênio presente na madeira em combinação química.

O poder calorífico inferior é a energia efetivamente disponível por unidade de massa de combustível após deduzir as perdas com a evaporação da água (JARA, 1989).

3.6 Densidade da madeira

A densidade básica da madeira pode ser definida como a massa seca por unidade de volume saturado e expresso por Kg/m^3 (BOWYER *et al.*, 2003).

Segundo Moreira (1964), madeiras mais densas produzem carvão vegetal mais denso e madeiras mais leves produzem carvão mais leve e poroso. Já Vale *et al.* (2002), afirma que ao se utilizar de madeira com baixa densidade para produção direta de calor, haverá uma queima rápida e uma menor produção de energia por unidade de volume, ao contrário do que ocorre com maiores densidades, porém

essas apresentam maiores dificuldades para o início da queima. Os mesmos autores sugerem a faixa intermediária entre madeiras médias e madeiras duras, variando a densidade básica de 0,65 a 0,80 g/cm³ para a utilização da madeira na forma de lenha, com o intuito de facilitar o início da queima (CINTRA, 2009; BRITO & BARRICHELLO,1980).

3.7 Umidade da madeira

Existem dois tipos de água na madeira, que devem ser considerados por ocasião da secagem para fins energéticos: 1) Água de capilaridade (água livre) localizada nos vasos, meatos, canais e lúmens das células, podendo ser facilmente retirada. Na secagem ao ar livre, quando toda a água de capilaridade é retirada da madeira, remanescendo apenas a água de adesão, diz-se que a madeira atingiu o ponto de saturação das fibras (PSF). Normalmente, o PSF varia de 22% a 30% de umidade, dependendo da espécie. 2) Água de adesão ou higroscópica (água presa), que é ligada às fibras da madeira. A retirada da água higroscópica é mais difícil e mais lenta, sendo necessária a utilização de energia no processo de secagem (LIMA *et al.* 2008).

Segundo Earl (1975), citado por CUNHA *et al.* (1989), enfatiza que é importante que o teor de umidade da madeira a ser usada como combustível seja reduzido, diminuindo assim o manejo e o custo de transporte, agregando valor ao combustível, pois quanto maior o conteúdo de umidade da madeira, menor é o seu poder de combustão, devido ao processo de evaporação da umidade, o qual absorve energia.

O conteúdo de umidade máximo que uma madeira pode ser queimada no forno está em torno de 65% a 70% em base úmida. Por existir essa umidade, é inevitável que ocorra uma perda de calor nos gases de combustão em forma de vapor de água, já que a umidade da madeira evapora e absorve energia em combustão. A quantidade máxima de água que a madeira pode conter para entrar em combustão tem sido calculada em aproximadamente 65% na base úmida (o resto corresponde ao material sólido). Desta forma, madeira muito úmida, com teor de umidade acima deste limite, necessita calor de origem externa para secar e entrar em combustão (CUNHA *et al.*, 1989).

3.8 Características gerais das espécies estudadas

3.8.1 *Brosimum potabile* Ducke

Distribuição geográfica:

Região Amazônica, ocorrendo nos Estados do Amazonas, Pará e Amapá, onde é mais freqüente. Prolifera ainda no planalto das Guianas, nas matas altas de terra firme (Mady, 2000).

Características gerais da árvore e da madeira:

Árvore de até 35 m de altura, dotada de látex branco, fluido e amargo. Tronco retilíneo, de aproximadamente 51 cm de diâmetro. Madeira de cor branca, leve e moderadamente dura, de alta qualidade. Útil para a indústria madeireira, particularmente para a fabricação de lâminas de compensado.

Denominações vulgares:

Amapá-doce, amapá-da-várzea, leiteira, machinga, tamamuri-de-altura, amapáleitera.

Principais usos:

Cabo para rodo, vassoura e esfregão, cabo para utensílio doméstico (faca, canivete, talheres, cabo de panela e bandeja), cabo para utensílio de horta e jardim (cutelo, ancinho e sacho), escultura, hélice de ventilador, pequeno objeto (puxador, brinquedo, cinzeiro, cabide, prendedor de roupa, escova de lavar e tábua para bater carne), raquete (tênis, frescobol e pingue-pongue), revestimento em geral (forro) e tonel (MADY, 2000).

3.8.2 *Brosimum rubescens* Taub

Distribuição geográfica:

Distribui-se por toda a Amazônia brasileira, principalmente nas matas de terra firme dos estados do Estados de Mato Grosso, Amazonas, Pará e Amapá. Ocorre ainda no Peru, Colômbia, região das Guianas e Norte do Paraná (MADY, 2000).

Características gerais da árvore e da madeira:

Apresenta em média 11,5m de altura comercial e 54cm de DAP; tronco reto, cilíndrico; Medula, quase sempre concêntrica. Madeira com cerne distinto nas

primeiras toras, marrom avermelhado a púrpura escuro; alburno marrom claro. Anéis de crescimento pouco distintos. Brilho fraco. Grã cruzada revessa. Textura média. Quanto à resistência ao ser cortada manualmente, é dura (FEDALTO *et al.* 1989).

Denominações vulgares:

Rainha, pau rainha, muirapiranga, pau brasil (MADY, 2000).

Principais usos:

Móveis decorativos especiais, cabos e objetos torneados, faqueados decorativos, objetos de adorno, além de usos menos nobres abrangendo construção (FONSECA *et al.*, 1991)

3.8.3 *Hymenolobium petraeum* Ducke

Distribuição geográfica:

Floresta de terra firme em toda Amazônia brasileira (MADY, 2000).

Características gerais da árvore e da madeira:

Árvore de porte gigantesco, chegando a 60m de altura, com diâmetro chegando a 2 m; casca avermelhada, espessa, com placas soltas (caducas). Madeira pesada; cerne castanho amarelado com manchas castanho escuro, alburno creme; grã reversa, textura grossa; figura atrativa; cheiro desagradável quando úmida, porem ausente quando seca; gosto amargo (FONSECA *et al.*, 1991).

Denominações vulgares:

Angelim-rajado, igarana-da-terra-firme, urubuzeiro, ingá-caetitu, bois serpent, cassie, p ás-chaco-brasil, surinam, shakeword, zebra-woord (MADY, 2000).

Principais usos:

Construções, obras gerais de carpintaria, marcenaria e acabamento, assoalhos, divisórias, moveis, paletes, cabos e objetos torneados, dormentes, postes e pilares, compensados, faqueados decorativos.

3.8.4 Simarouba amara Aubl

Distribuição geográfica:

Ocorre principalmente nas matas de várzea, do extremo norte da América do Sul até a Bahia, freqüente em toda Amazônia.

Características gerais da árvore e da madeira:

Apresenta, em média, 12,5m de altura comercial e 60cm de DAP, tronco reto, cilíndrico. Medula às vezes, excêntrica. Cerne e alburno indistintos ou pouco distintos. Brilho fraco. Grã direita, textura média. Quanto à resistência ao ser cortada manualmente, é média (FEDALTO *et al.* 1989).

Denominações vulgares:

Marupá, tamanqueira, marupá-uba, parariúba, praíba, paraíba, simaruba, simarupá, marubá (MADY, 2000).

Principais usos:

Móveis, instrumentos musicais de sopro e componente de instrumentos de corda, cabos e objetos torneados, construção pesada, dormentes, postes e pilares (FONSECA *et al.*, 1991).

4 Material e Métodos

4.1 Material

Com base no estudo realizado através do projeto intitulado “Coleta de resíduos sólidos e Monitoramento Periódico das Madeiras Comercializadas no município de Itacoatiara”, foram selecionadas quatro espécies mais comercializadas nas serrarias de grande e pequeno porte no município de Itacoatiara no Estado do Amazonas. O material utilizado na pesquisa é constituído dos resíduos das espécies florestais: *Brosimum portabile* Ducke (amapá doce), *Brosimum rubescens* Taub (muirapiranga), *Hymenolobium petraeum* Ducke (angelim pedra), *Simarouba amara* Aubl (marupá), dos quais foram retiradas amostras para análise do poder calorífico, densidade básica e propriedades químicas desses resíduos.

Estes materiais foram coletados, transportados para Manaus, depositados na serraria, para separação das amostras e encaminhadas para a classificação anatômica no Laboratório de Anatomia da Madeira. Em seguida, foram retirados amostras desses resíduos para as análises químicas tradicionais. Estas foram fragmentadas em serra fita e feita a preparação de serragem da seguinte forma: picotamento da madeira (Picotador PALLMANN - PZ8) e submetida à moagem em moinho de facas, sendo peneirada e separada em 60 e 80 mesh no Laboratório de Química da Madeira do INPA. (Figura 3).



Figura 3. Etapas do processo. A - Corte dos resíduos - B- Separação das peças - C- corte de peças menores na serra de fita- D - Moagem dos resíduos - E e F - separação dos resíduos por espécie.

Foto – Autor (2012)

4.2 Métodos

Os corpos-de-prova para determinação da densidade básica e das propriedades químicas foram retirados aleatoriamente dos resíduos, tendo sido confeccionados de acordo com a norma da Comissão Panamericana de Normas Técnicas – COPANT (1972) e a norma da ASTM para determinação das propriedades químicas.

4.2.1 Determinação da densidade básica

Apesar da literatura indicar os valores de densidade básica das espécies estudadas, houve a necessidade de se calcular o valor da densidade, por se tratar de resíduos provenientes de locais diferentes.

A determinação da densidade foi obtida através do método de máximo teor de umidade. Este método baseia-se na relação existente entre a densidade da madeira e o seu máximo teor de umidade (TRUGILHO *et al*, 1990). Foi utilizada uma balança modelo Marte AS2000, com precisão de 0,001g, com corpos de provas medindo 2,0 x 2,0 x 5,0 cm (Figura 4). A densidade básica ρ_{bas} foi determinada pela seguinte fórmula:

$$\rho_{bas} = \frac{m_s}{V_{sat}}$$

Onde:

m_s = massa seca da madeira, em quilogramas (g)

V_{sat} = volume da madeira saturada, em metros cúbicos (g/cm^3).



Figura 4 - A- Corte dos resíduos para análise amostras; B - Identificação das amostras; C - Separação e identificação em sacos plásticos; D- imersão em água; E - secagem em estufa; F- Pesagem das amostras.

Foto – Autor (2012)

4.2.2 Determinação do teor de umidade

Foi realizada conforme a Norma ASTM (1984), obtida pela fórmula:

$$U\% = \frac{P_u - P_s}{P_s} \times 100$$

Onde:

P_u: massa úmida (g)

P_s: massa seca (g/cm³)

4.2.3 Determinações das propriedades químicas nos resíduos de madeira

Do material a ser estudado obteve-se os cavacos e a serragem. Em seguida foram efetuados diversos testes, de acordo com metodologia específica para cada determinação.

4.2.3.1 Determinação do teor de extrativos em tolueno-etanol (2:1)

O teor de extrativos (TE) foi determinado pela Norma ASTM D1107-56 (2007) (Figura 5) e calculado partir da equação:

$$TE (\%) = (P_f - P_i) / P_s \times 100$$

Onde:

P_i = Peso do balão seco inicia (g);

P_f = Peso do balão com extrativos(g);

P_s = Peso da amostra seca livre de umidade (g/cm³).



Figura 5 - Extração Etanol-Tolueno 1:2; A – espécie muirapiranga; B- angelim pedra; C- amapá doce; D- marupá.

Foto – Autor (2012)

4.2.3.2 Determinação do teor de extrativos em Etanol

O teor de extrativos (TE) em etanol foi determinado pela Norma ASTM D1105-56 (2007) (Figura 6) e calculado partir da equação:

$$TE (\%) = (P_f - P_i) / P_s \times 100$$

Onde:

P_i = Peso do balão seco inicial;

P_f = Peso do balão com extrativos (g);

P_s = Peso da amostra seca livre de umidade (g)



Figura 6 - Extração Etanol; A - marupá.; B - muirapiranga; C - angelim pedra; D- amapá doce.
Foto – Autor (2012)

4.2.3.3 Determinação do teor de extrativos em água quente

Das serragens que foram extraídas, anteriormente, com hexano-etanol e etanol, foi determinado o teor de extrativo em água quente conforme a Norma ASTM D1110-84 (2007) (Figura 7). O teor de extrativo (TE) foi calculado pela fórmula:

$$TE (\%) = (P_1 - P_2 / P_1) \times 100$$

Onde:

P_1 : Peso da amostra antes da extração (g);

P_2 : Peso seco após a extração(g).



Figura 7 – Extração em água quente; A – amostras identificadas; B – Amostras imersas em água destilada; C – Amostras em Banho maria.
Foto – Autor (2012)

4.2.3.4 Determinação do teor de lignina

Foi determinado pelo método da Norma ASTM D1106-56 (2007) (Figura 8). O teor de lignina foi calculado pela fórmula:

$$\text{Lignina (\%)} = (P_2 / P_1) \times 100$$

Onde:

P_1 : Peso seco inicial da amostra (g)

P_2 : Peso seco da lignina obtida (g)

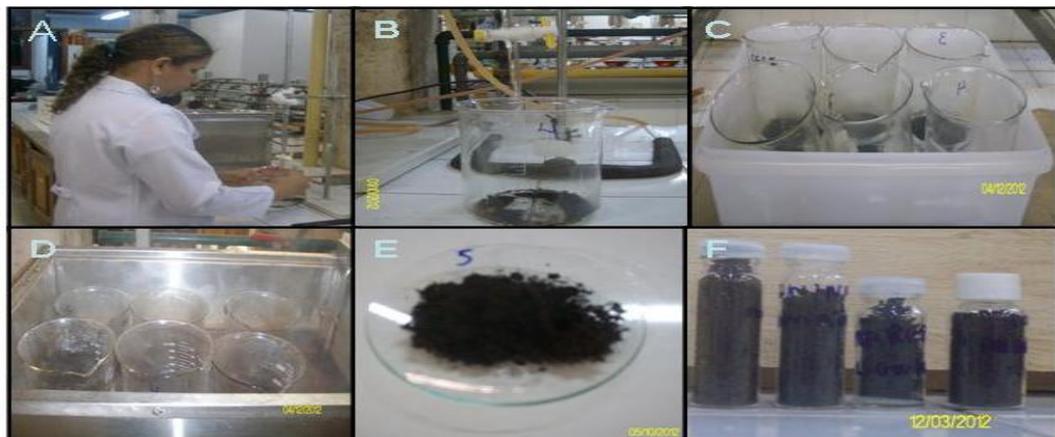


Figura 8 – Determinação do teor de Lignina; A e B - Gotejamento em ácido Sulfúrico; C - amostras em banho de gelo; D - amostras em banho maria. E - amostras secas em estufa; F - amostras de lignina.
Foto – Autor (2012)

4.2.3.5 Determinação do teor de celulose

Foram realizadas segundo Halward & Sanchez, (1975) (Figura 9). Sendo calculada pela equação.

$$\text{Celulose (\%)} = (P_2 / P_1) \times 100$$

Onde:

P_1 : Peso seco inicial da amostra (g)

P_2 : Peso seco de celulose obtida (g)

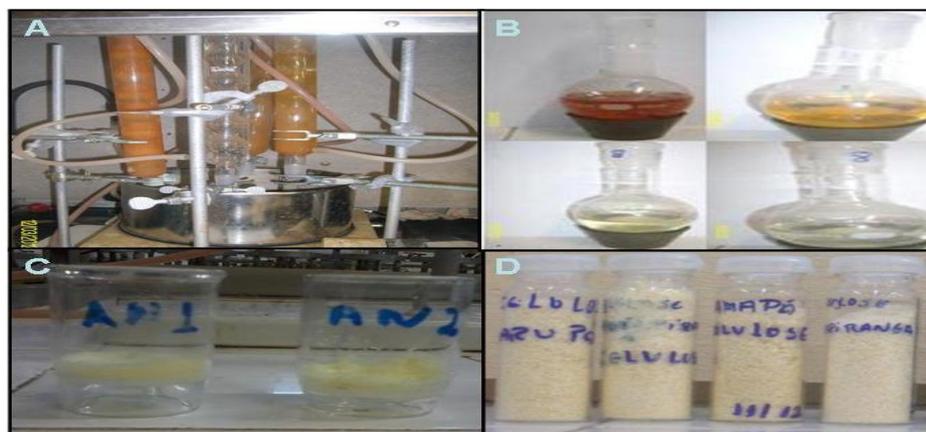


Figura 9 - Determinação do teor de Celulose; A – Extração celulose em banho maria sobre refluxo B- Soluções de ácido nítrico e etanol após extração; C – amostras de celulose seca D - amostras de celulose.

Foto – Autor (2012)

4.2.3.6 Determinação do teor de cinzas no resíduo de madeira

A determinação foi realizada conforme a norma ASTM D1102-56 (2007). Sendo calculado pela fórmula.

$$\% \text{Cinzas} = (P_{\text{cinza}} / P_s) \times 100$$

Onde:

P_{cinza} = Peso da cinza (g)

P_s = Peso da serragem seca (g)

4.2.3.7 Determinação do teor de sílica nas cinzas do resíduo de madeira

A determinação da sílica nas cinzas foi realizada conforme VOGEL, (1981). Calculada pela fórmula.

$$\% Si = \frac{P_1 - P_2}{P_o} \times 100$$

Onde:

P1= cadinho com amostra (H₂SO₄ a 850°C) – peso do cadinho seco (g)

P2= cadinho com amostra (H₂SO₄ + HF a 850°C) – peso do cadinho seco (g)

Po= amostra inicial (menor peso o cadinho + amostra a 100°C – peso do cadinho seco a 600°C) (g).

4.2.4 Determinação do poder calorífico

Os ensaios de poder calorífico superior (p.c.s) foram realizados conforme a Norma ASTM D2015-77 (Figura 10). Com auxílio de uma bomba calórica, foram colocados dentro de um calorímetro PARR, cerca de 0,8 gramas de madeira moída e após a ignição foram medidas os valores do poder calorífico.

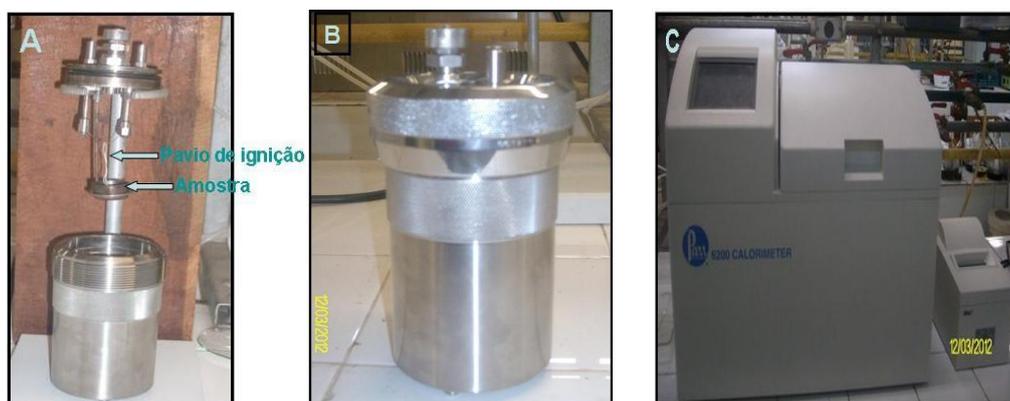


Figura 10 - Determinação do poder calorífico; A – Preparação da amostra; B – Bomba calórica; C - Calorímetro PARR 6200.

Foto: Autor (2012)

4.2.5 Análise estatística

A análise estatística dos parâmetros estudados foi realizada por meio do programa estatístico Assistat 7.6.

Inicialmente foi realizada a análise exploratória dos dados por meio de análise descritiva de dados para cada variável. Analisou-se:

a) a tendência central ou de posição (mínima, máxima, media);

b) as medidas de variabilidade ou dispersão (amplitude total, variância, desvio padrão, erro padrão da média e coeficiente de variação);

A seguir foi realizado o Intervalo de confiança da média com ($\alpha=0,05$), para cada variável dentro de cada espécie
$$P\left(\bar{X} - t_{(n-1;\alpha/2)} \frac{S}{\sqrt{n}} \leq \mu \leq \bar{X} + t_{(n-1;\alpha/2)} \frac{S}{\sqrt{n}}\right) = 1 - \alpha.$$

Posteriormente foi realizada a Análise de Variância (ANOVA) pelo teste F, ao nível de 5% de probabilidade.

Finalmente analisou-se a relação entre as variáveis: densidade, celulose, lignina, extrativos, cinza e sílica, por meio de correlação linear simples ao nível de 1% ou 5% de probabilidade e Estimou-se o poder calorífico por meio do modelo linear em função de outras variáveis, tais como celulose, lignina, extrativos, cinza e sílica.

5 Resultados e Discussão

5.1 Análise dos resíduos de madeira

Na tabela 1 estão apresentados os valores médios da umidade e da densidade da madeira. Os teores de umidade das espécies não variaram muito entre si, ficando na faixa de umidade entre de 8,5% a 9,5%. Segundo Galvão (1975) a umidade da madeira depende principalmente da umidade relativa e da temperatura do meio para ajustar-se a um valor denominado umidade de equilíbrio.

Segundo Brand, (2007) o tempo de estocagem tem influência sobre o teor de umidade, sendo que há uma variação significativa da umidade com relação ao período de estocagem.

Essa faixa de umidade dos resíduos coletados está dentro dos sugeridos por Farinhaque (1981), que sugere que para o bom aproveitamento da combustão da madeira os teores de umidade devem estar abaixo de 25%, pois acima desse valor o excesso de umidade promove a formação de crostas, fuligem nas chaminés e no interior da câmara de combustão.

Em relação à densidade básica o maior valor foi para a espécie muirapiranga ($0,88 \text{ g/cm}^3$), considerada uma madeira de alta densidade, seguida pelas espécies amapá doce ($0,55 \text{ g/cm}^3$), angelim pedra ($0,40 \text{ g/cm}^3$) e marupá ($0,35 \text{ g/m}^3$) que podem ser classificadas como de baixa densidade. Resultados semelhantes foram encontrados por Quirino *et al.* (2005) e Melgueiro (2011), que estudaram diferentes espécies para produção de energia utilizando espécies nativas e exóticas com diferentes classes de densidade.

Tabela 5 – Valores da Densidade e Umidade das espécies

Espécie	Densidade (g/cm^3)	Umidade (%)
Amapá doce	0,55	9,5
Angelim pedra	0,40	9,8
Marupá	0,35	8,5
Muirapiranga	0,88	8,5

Fonte: O Autor (2013)

5.2 Análise estatística descritiva por espécie

Na Figura 11 estão apresentados os valores mínimo, média e máximo do teor de extrativos encontrados para as espécies estudadas. A espécie que apresentou máximo teor de extrativo foi muirapiranga (22,86%), seguida do angelim-pedra (10,29%), amapá doce (2,98%) e marupá (1,93%) que apresentou o menor valor. A análise mostrou que não houve diferença entre os valores máximo, média e mínimo encontrados na mesma espécie. Sendo os intervalos das médias das variáveis a 95% de confiança para as espécies: amapá doce [2,2136; 2,7047], angelim-pedra [9,4021;9,8613], marupá [1,6714 ;1,8586] e muirapiranga [22,490 ; 22,745].

Segundo Goulart (2012), que analisou diferentes partes do Barbatimão (*Stryphnodendron adstringens*), constatou que não houve diferença significativa nos teores de extrativos encontrados para a mesma espécie, entre as diferentes posições da mesma árvore.

Os valores encontrados para as espécies analisadas apresentaram diferenças significativas entre as espécies, valores acima dos citados por Klock *et al* (2005) que ficou em torno de 11,24% para espécies de folhosas, mas bem próximos encontrados por Goulart (2012), que para o fuste do Barbatimão encontrou 20,66% no teor de extrativos. Bananeira (1986) encontrou 22,23% para o teor de extrativos da espécie muirapiranga, muito próximo do valor encontrado neste estudo. Esse alto valor de extrativos torna-se interessante na produção de energia já que alguns tipos de extrativos contribuem para ao aumento do poder calorífico (MORAES *et al.* 2005).

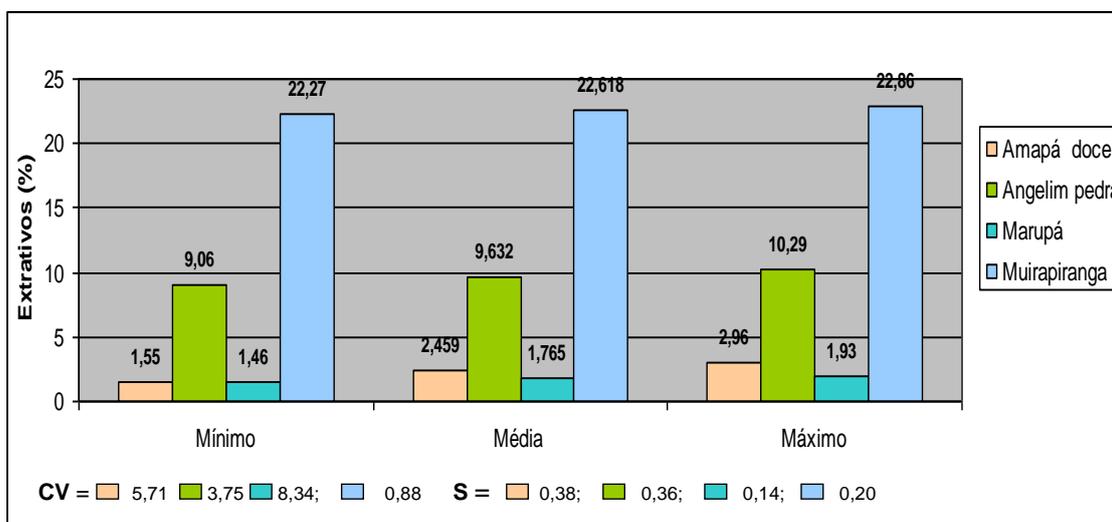


Figura 11 – Análise estatística do teor de extrativos das espécies

Fonte: O Autor (2013)

Nota: extrativos totais solúveis em álcool tolueno + álcool+ água.
 CV – coeficiente de variação
 S – desvio padrão

Para os teores de celulose a espécie marupá foi a que apresentou o maior valor (56,79%) em relação às demais espécies que ficaram abaixo de 53%. Não houve diferença significativa dentro da mesma espécie para as variáveis medidas máxima, média e mínima. Mas houve diferença significativa entre as espécies. Sendo os intervalos das médias da variável celulose a 95% de confiança para as espécies: amapá doce [51,401 ; 51,744]; angelim pedra [52,388 ; 52,727]; marupá [56,175 ; 56,527] e muirapiranga [48,486 ; 48,979]. (Figura 12).

A espécie muirapiranga foi a que apresentou o menor valor para o teor de celulose (48,04%). O teor médio de celulose para esta espécie encontrado neste trabalho foi 48,73%, valor abaixo dos encontrados por Silva *et al.* (1991) e Bananeira (1991), que obtiveram para a mesma espécie teores médios de 56% e 56,30%, respectivamente. Segundo Klock (2005), a composição média da madeira de folhosas para a celulose está em torno de 45± 2%. No entanto de acordo com Bodig & Jayne (1982) e Goulart (2011), existe grande variabilidade quantitativa dos componentes químicos na madeira de uma mesma espécie e, inclusive, no mesmo indivíduo, podendo uma mesma espécie apresentar diferentes valores, dependendo do local de sua coleta.

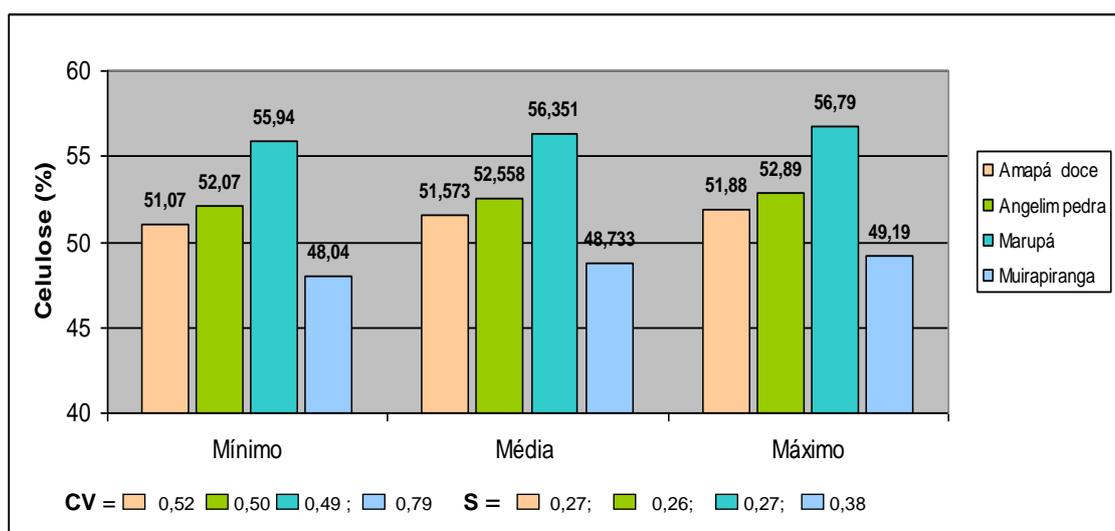


Figura 12 – Análise estatística do teor de Celulose das espécies

Fonte: O Autor (2013)

Nota: CV – coeficiente de variação

S – desvio padrão

O máximo teor de lignina encontrado foi para a espécie muirapiranga (35%) foi superior ao encontrado por Bananeira (1986) e Silva (1991), que foi de (33%) para a mesma espécie. O fato desta espécie ter apresentado o menor teor de celulose e o maior valor de lignina, está de acordo com Trugilho *et al.* (1996), que comprovou que quanto menor for o teor de lignina maior será o teor de holocelulose. A espécie angelim pedra apresentou valor próximo (34%) ao da espécie muirapiranga sendo que as demais espécies apresentaram valores inferiores: amapá doce (31%) e marupá (28,95%). Não houve diferença significativa entre as medidas estatísticas por espécie, mas houve diferença entre as espécies estudadas. Sendo os intervalos das médias da variável celulose a 95% de confiança para as espécies: amapá doce [31,131 ; 31,524]; angelim pedra [33,173 ; 33,653]; marupá [28,391 ; 28,742] e muirapiranga [34,238 ; 34,839]. (Figura 13).

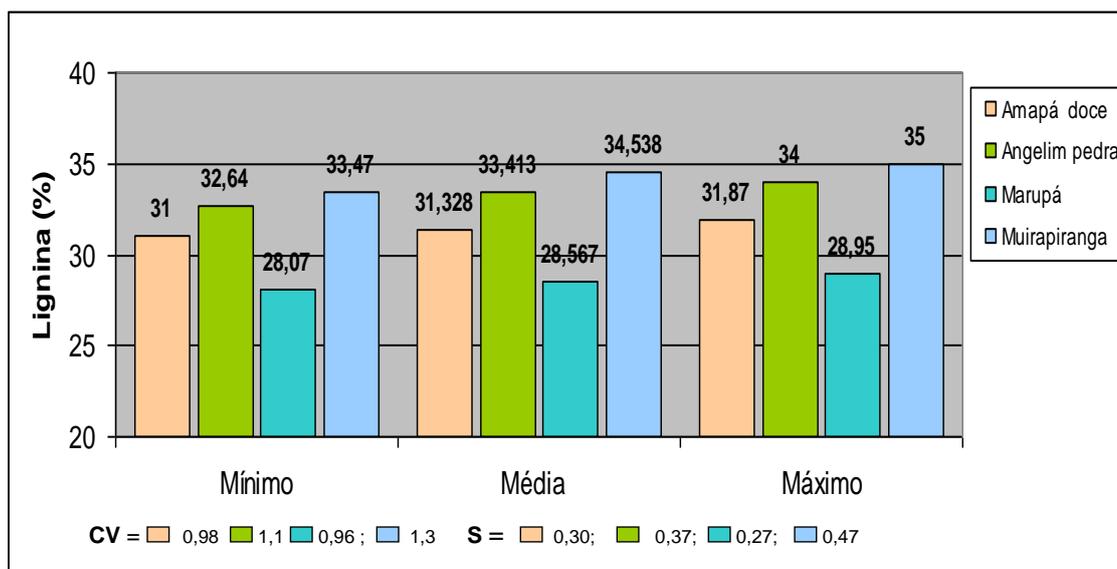


Figura 13 – Análise estatística do teor de Lignina das espécies

Fonte: o Autor (2013)

Nota: CV – coeficiente de variação

S – desvio padrão

O poder calorífico para as espécies variou de 4301 cal/g para espécie marupá a 4896 cal/g para a espécie muirapiranga. Esse valor foi determinado em bomba calorimétrica para os valores de umidade que estavam na faixa de 8,5 % a 9,5%, obtida em função do tempo de estocagem dos resíduos. Sendo o intervalo da média

da variável celulose a 95% de confiança para as espécies: amapá doce [4406,7; 4428,1]; angelim pedra [4478,8; 4561,4]; marupá [4303 ; 4372,9] e muirapiranga [4332,3 ; 4366,2]. (Figura 14).

A espécie muirapiranga foi a que apresentou maior poder calorífico 4896 cal/g. Já a espécie angelim pedra obteve 4568 cal/g, resultados acima da média para as 258 espécies florestais, encontrados por Quirino et al (2004) que foi 4.524 a 4.736 kcal kg⁻¹. As demais espécies amapá doce (4447 cal/g) e marupá (4385 cal/g), obtiveram valores menores, mas próximos dos valores encontrados por Cunha *et al.* (1989), Quirino *et al.* (2005) e Farage (2009).

Esses valores estão entre os valores encontrados por Vale *et al.* (2000), que obtiveram o poder calorífico superior (PCS) do fuste de *Eucalyptus grandis* igual a 4641 kcal/kg, Já Monteiro *et al* (2012), obteve PCS de 4735 kcal/kg nas costaneiras, aparas e serragem, enquanto Brito (1993), concluiu que para as espécies de folhosas tropicais está entre 3.500 e 5.000 kcal/kg, o que demonstra que os valores encontrados neste trabalho estão dentro do intervalo de valores esperados para esta variável.

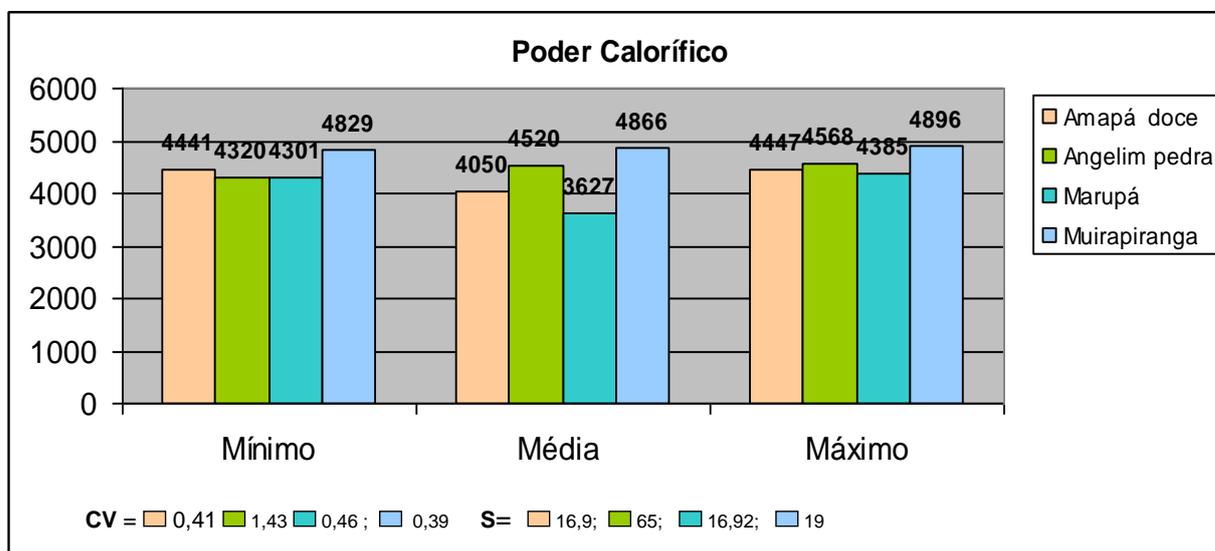


Figura 14 – Análise estatística do Poder calorífico das espécies estudadas

Fonte: o Autor (2013)

Nota: CV – coeficiente de variação

S – desvio padrão

Os teores de cinzas encontrados para as espécies variaram de 0,42% a 0,71%. A espécie marupá apresentou a maior quantidade de cinzas 0,71% valor

equivalente ao encontrado por Castilho (1984), de 0,72% e inferior ao valor obtido por Cunha *et al.* (1989), de 1,2%. No entanto as espécies amapá doce (0,65%), angelim pedra (0,52%) e muirapiranga (0,46%) apresentaram resultado dentro da variação obtida por Marabotto (1986) de 0,44% a 0,74% que analisou cinco árvores por espécie e retirou amostras de alturas diferentes na mesma árvore e concluiu que uma mesma espécie pode apresentar valores diferentes no seu teor de cinzas, sílica e poder calorífico para a mesmas espécie.

A espécie muirapiranga foi a que obteve menor quantidade de cinzas para as espécies analisadas. As cinzas por apresentarem um comportamento residual na madeira e abrasivo de corrosão em equipamentos metálicos é extremamente importante seu conhecimento (CINTRA 2009). O intervalo da média da variável cinzas a 95% de confiança para as espécies foi: amapá doce [0,64; 0,66]; angelim pedra [0,43; 0,45]; marupá [0,700 ; 0,707] e muirapiranga [0,4623 ; 0,4634] (Figura 15).

Essa variação do teor de cinzas das espécies está dentro da faixa de variação estudada por Marabotto (1986), dependendo do local da coleta e da altura que é retirada à amostra, podendo o coeficiente variação do teor de cinzas chegar até 0,34% para uma mesma espécie.

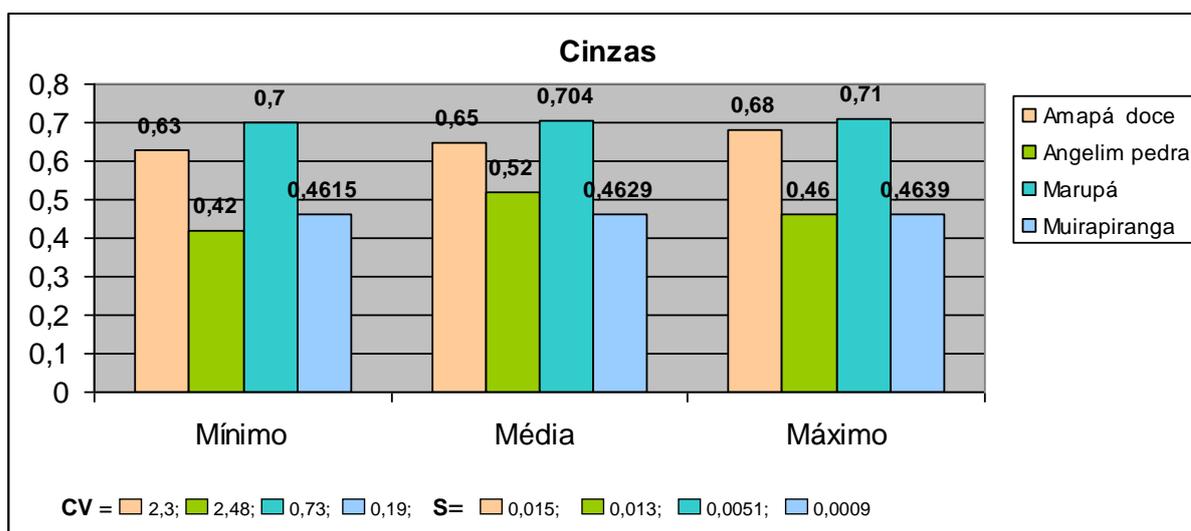


Figura 15 Análise do teor de cinzas das espécies

Fonte: O Autor (2013)

Nota: CV – coeficiente de variação
S – desvio padrão

Na figura 16 estão relacionados o teor sílica das espécies. A espécie amapá doce não apresentou sílica em sua composição, resultado semelhante ao encontrado por Marabotto (1986), para a mesma espécie. No entanto, a espécie muirapiranga apresentou maior quantidade de sílica 0,2%, seguida das espécies marupá e angelim pedra ambas com 0,1%. Segundo Barbosa *et al.* (1985), em um estudo com 29 espécies concluíram que 70% das espécies estudadas continham sílica sempre em porcentagem abaixo de 0,5%, resultado obtido também no presente estudo.

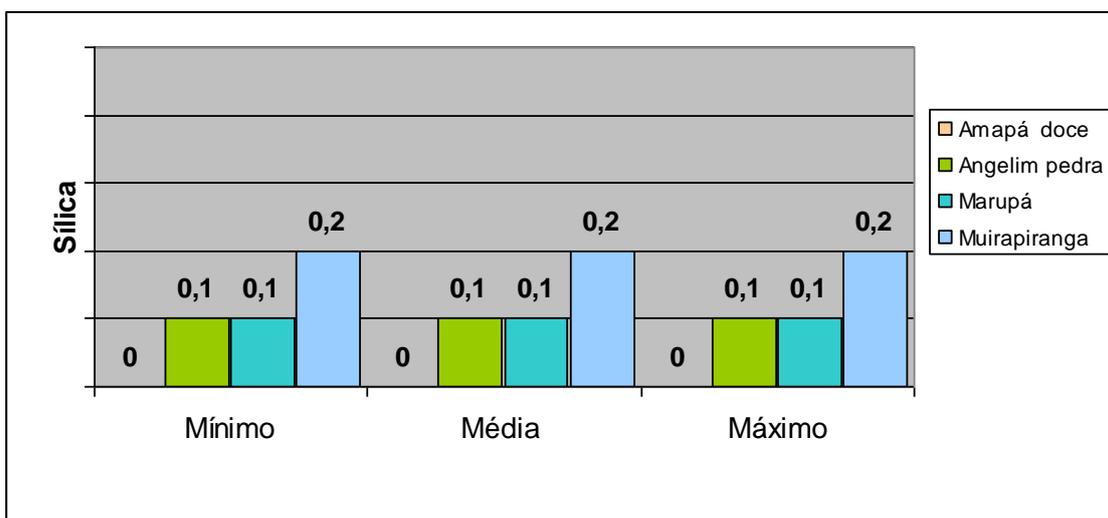


Figura 16 – Análise estatística do teor de sílica das espécies

Fonte: O Autor (2013)

5.3 Análise estatística descritiva entre as espécie

Na Tabela 6 análise de variância mostrou haver diferença significativa ao nível de 1% de probabilidade pelo teste de F entre os tratamentos para poder calorífico, extrativos, celulose, lignina e cinzas. A sílica por apresentar resultados muito próximos para as espécies não houve variação estatística. Os extrativos apresentaram maior coeficiente de variação em relação aos demais parâmetros analisados, este pode estar relacionado ao fato de as espécies apresentarem variação entre seus valores de que vão desde 1,46% a 22,86%.

Tabela 6 - Análise de variância entre as espécies

Fonte de Variação	GI	Poder calorífico (cal/g)	Extrativo (%)	Celulose (%)	Lignina (%)	Cinza (%)	Sílica (%)
Espécies	3	634036,74**	1123,628**	118,9273**	82,69**	0,2093 **	-
Resíduo	44	1397,15	0,08551	0,0927	0,1346	0,0001	-
CV (%)	47	0,82	3,21	0,58	1,15	1,82	-

Fonte: o Autor (2013)

Nota ** Houve diferença significativa, ao nível de 1% de probabilidade, pelo teste F

Mediante os dados apresentados na Tabela 7, pode-se dizer que houve diferença significativa ao nível de 5% pelo teste de Tukey entre os tratamentos. A espécie muirapiranga, de acordo com o poder calorífico (4866,67 cal/g), extrativos (22,61%) e lignina (34,53%) foi a que apresentou melhor desempenho entre as espécies, apresentando também um teor de cinzas baixo (0,46%), Resultado semelhante foi encontrado por Neto (2011), que encontrou para espécie *Handroanthus impertiginosus* médias para o poder calorífico (4806,30 kcal/kg), extrativos (6,88%) e lignina (28,4%). Esse aumento no poder calorífico se torna maior quando se verifica o aumento nos teores de lignina e extrativos, porque esses constituintes químicos da madeira contêm menos oxigênio que os polissacarídeos presentes na holocelulose (NETO 2011; CUNHA et al. 1989; BROWING 1963).

A espécie angelim pedra apresentou poder calorífico de (4520 cal/g), extrativos (9,63%) e lignina (33,41%) obtendo o menor valor para as cinzas (0,44%) quando comparado com as demais espécies analisadas, o que pode ser considerado uma característica positiva, uma vez que o alto teor de cinzas compromete a utilização da madeira para produção de energia. As espécies que apresentaram elevado teor de cinzas e celulose foram marupá (0,7%, 56,3%) e amapá doce (0,65%, 51,6%) e menor teor de lignina (28,56 e 31%) respectivamente.

Resultado esse já relatado por Oliveira (2003) e Souza, (2010) que enfatizam que um maior percentual de cinzas na madeira está associado a um menor teor de lignina. Obtendo dessa forma um poder calorífico baixo, mas dentro do limite estabelecido por Kollmann (1968), que afirma que o poder calorífico da madeira seca, sem considerar o erro de cinzas, pode ser tomado com um valor médio de 4.500 Kcal/K.

Tabela 7 - Comparação de média entre as espécies

Espécie	Poder calorífico ² (cal/g)	Extrativo ³ (%)	Celulose ³ (%)	Lignina ³ (%)	Cinza ³ (%)
Muirapiranga	4866,6670 a (19) ¹	22,61750 a (0,201)	48,7325 d (0,39)	34,5383 a (0,47)	0,4629 c (0,0009)
Angelim pedra	4520,0830 b (65)	9,6316 b (0,36)	52,5575 b (0,26)	33,4133 b (0,37)	0,4442 d (0,29)
Amapá doce	4417,4170 c (12)	2,4591c (0,38)	51,57 c (0,27)	31,3275 c (0,30)	0,6542 b (0,015)
Marupá	4349,2500 d (16)	1,7650 d (0,14)	56,32a (0,27)	28,5666 d (0,27)	0,7042 a (0,005)

Fonte: o Autor (2013)

Nota: médias seguidas de mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey ao nível 5% de probabilidade (a, b, c,d) na vertical.

1 - Desvio Padrão 2 - média de 22 repetições 3 - média de 12 repetições.

5.4 Análise de correlação dos parâmetros analisados entre as espécies

A tabela 8 mostra que as espécies conjuntamente estudadas apresentam boa correlação entre o poder calorífico da madeira e os parâmetros analisados, todas elas significativas ao nível de 1%. O poder calorífico está mais correlacionado com o teor de extrativos ($r=0,991$), porém tem menor correlação com o teor de cinzas ($r=0,772$). A correlação do poder calorífico é positiva com o extrativo, a lignina e o teor de sílica, ou seja, quanto maiores forem esses parâmetros, maior será o poder calorífico. Por outro lado, a correlação do poder calorífico com a celulose e o teor de cinzas é negativa, significando que, quanto maiores forem esses dois parâmetros, menor será o poder calorífico da madeira.

Tabela 8 - Análise de Correlação (r) com todas as espécies

	Poder calorífico
Extrativo	0,991 (r) 0,001 **
Celulose	-0,853 (r) 0,001 **
Lignina	0,855 (r) 0,001 **
Cinzas	-0,772 (r) 0,001 **
Sílica	0,790 (r) 0,001 **

Significativo ($P < 0,01$)**

Fonte: Autor (2013).

Nota: r – correlação

5.5 Análise de regressão entre as espécie de madeira

5.5.1 Poder calorífico X extrativos

A análise de regressão do poder calorífico em função dos extrativos demonstrou que há uma regressão positiva ao nível de 98,2% com um desvio padrão de 26,9%, ou seja, os extrativos influenciam diretamente na combustão, esta relação pode estar associada ao fato dos extrativos conterem em sua composição substâncias que podem acelerar a combustão (Figura 17).

O poder calorífico superior da madeira, além da umidade, é muito influenciado pela constituição química da madeira, principalmente a lignina e extrativos (resinas, óleos-resinas, matérias graxas, óleos, etc) (JARA,1989; QUIRINO, 2005).

Browning (1963), citado por CUNHA *et al.* (1989), afirma que o poder calorífico é mais alto quanto maior for o teor de lignina e de extrativos, porque os mesmo contêm menos oxigênio que os polissacarídeos presentes na holocelulose (celulose e hemicelulose). Dessa forma os extrativos presentes nas espécies estudadas, têm influência direta no poder calorífico.

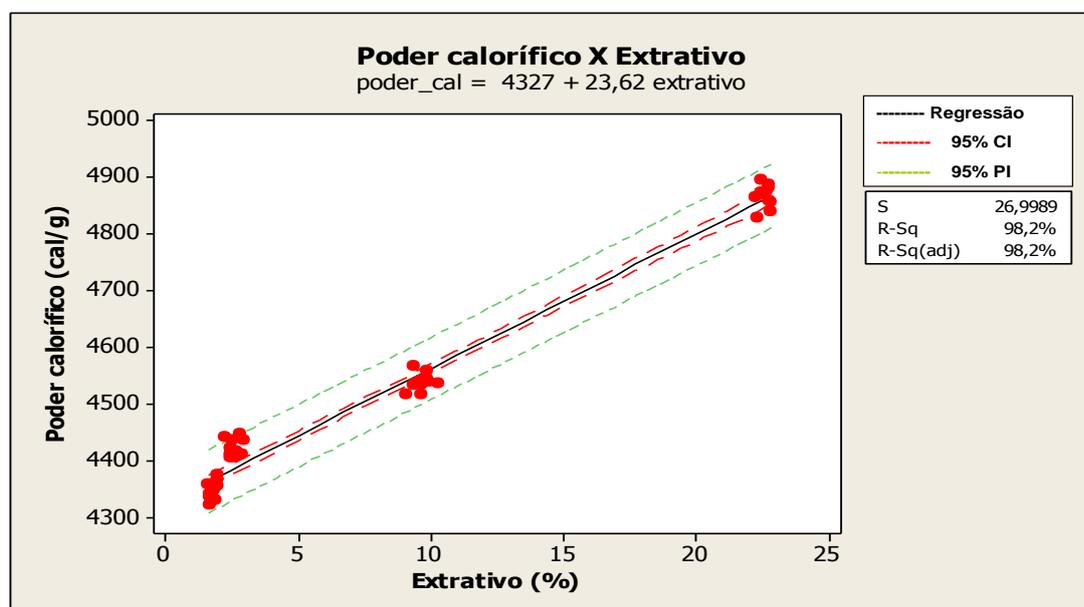


Figura 17 - Análise de regressão do poder calorífico em função do teor de extrativos
Fonte: Autor (2013)

5.5.2 Poder calorífico X celulose

No entanto, a análise de regressão do poder calorífico em função da celulose demonstrou que há uma correlação negativa de 72,89% quanto a combustão, este fato está relacionado a composição estrutural da celulose (Figura 18).

E o seu arranjo e sua composição química, compostos por carboidratos, fazem com que quando expostos ao calor tendem a se degradar mais rápido do que a lignina, principalmente quando relacionados à produção de carvão vegetal. Teoricamente se deduz que na carbonização, a celulose da madeira rapidamente se degrada não conseguindo contribuir no teor de carbono fixo do carvão (BRITO & BARRICHELO, 1977).

Diminuindo dessa forma o poder calorífico, ou seja, quanto maior for a quantidade de celulose presente em uma determinada espécie, menor será o seu poder calorífico, tornando-se uma relação inversa ao que acontece quanto ao teor de extrativos na madeira (BRITO & BARRICHELO, 1977).

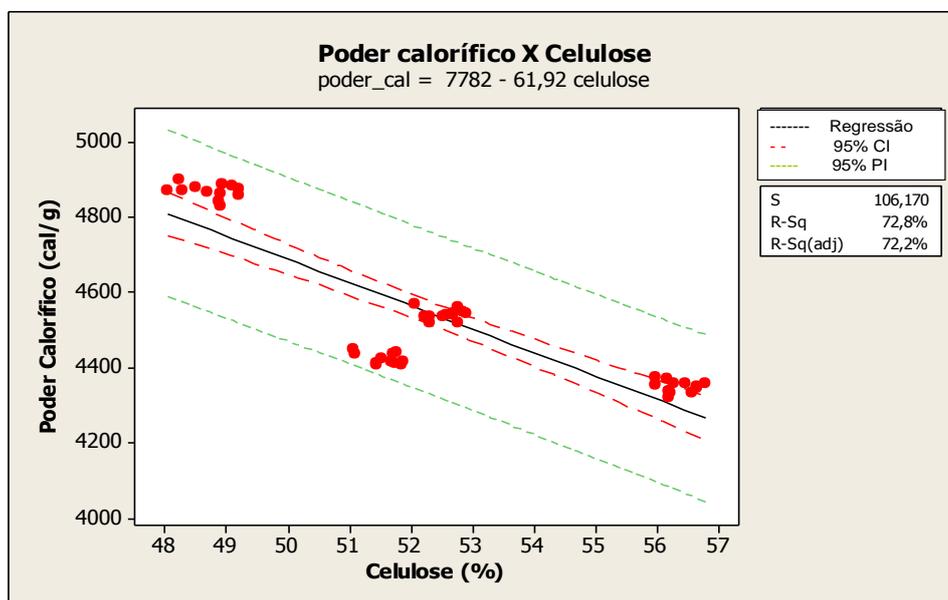


Figura 18 - Análise de regressão do poder calorífico em função do teor de celulose
Fonte: Autor (2013)

5.5.3 Poder calorífico X lignina

Ao contrário do ocorreu para celulose, a análise de regressão da lignina demonstrou que há uma correlação positiva de 73,2% com o poder calorífico. Apesar dessa correlação ser menor do que a demonstrada em função do teor de extrativos, ela influencia diretamente na combustão da madeira (Figura 19).

A complexa estrutura da lignina faz dela um componente da madeira, mais resistente a degradação térmica, podendo ao mesmo tempo influenciar na elevação do poder calorífico da madeira como na qualidade do carvão vegetal (CINTRA,2009; BRITO; BARRICHELO, 1977; SHAFIZADEH; DEGROOT, 1976).

Segundo Castilho (1999), uma madeira com uma alta porcentagem de lignina, poderá apresentar valores de poder calorífico superior aos encontrados em espécies com baixo teor de lignina. Estes resultados também foram encontrados por Neto, (2011) Cintra, (2009); Santos, (2008); Castilho, (1984) estudando a relação da lignina com o poder calorífico.

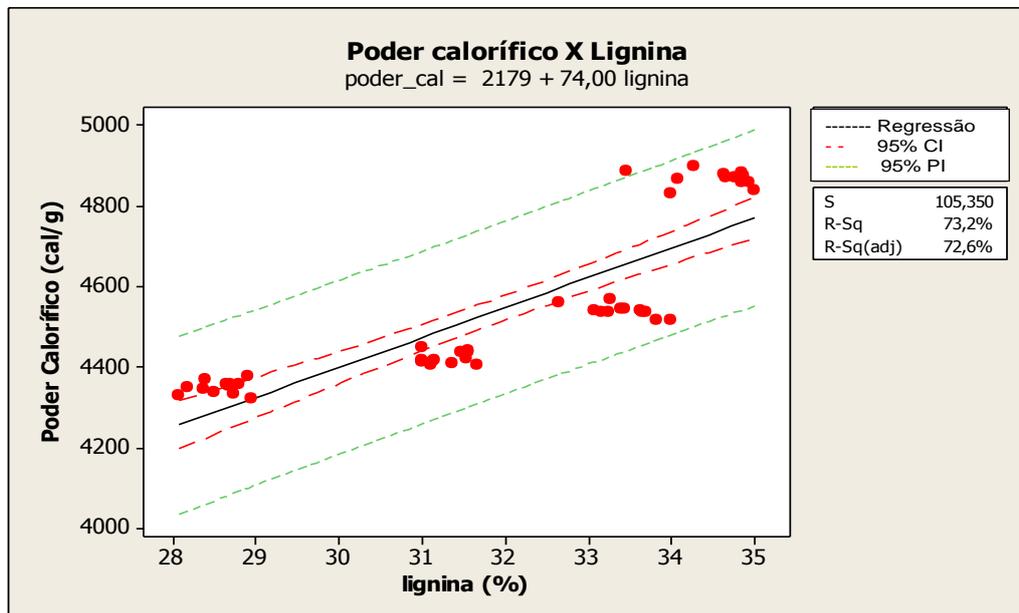


Figura 19 - Análise de regressão do poder calorífico em função do teor de Lignina
Fonte: Autor (2013)

5.5.4 Poder calorífico X teor de cinzas

Análise de regressão demonstrou que há uma correlação negativa do poder calorífico com o teor de cinzas de 59,6% com um desvio padrão de 129,3, sendo esse valor do desvio padrão considerado alto se comparado às demais análises realizadas neste estudo (Figura 20).

Segundo Cintra (2009), altos teores de cinzas reduzem significativamente as qualidades físicas e químicas do carvão vegetal.

Em estudos feitos por Barros *et al.* (2009), ficou demonstrado que quanto maior for a quantidade de cinzas, maior será o nível de impurezas da madeira, o que resulta no menor desempenho dessas espécies na combustão.

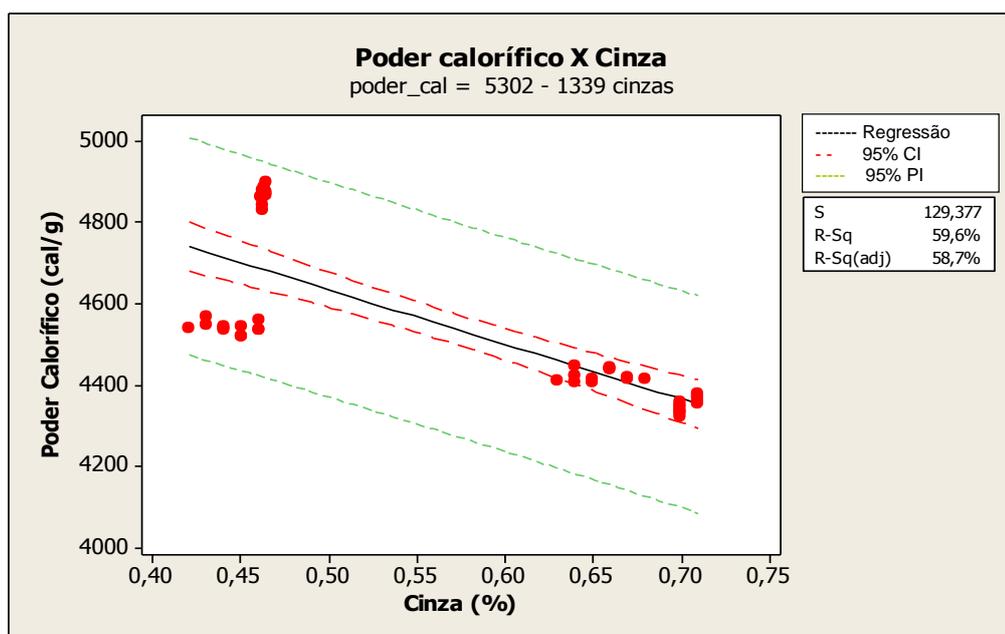


Figura 20 - Análise de regressão do poder calorífico em função do teor de cinzas

Fonte: Autor (2013)

5.5.5 Poder calorífico X teor de sílica

Apesar de muitos autores não citarem o teor de sílica como tendo influência direta no poder calorífico, a análise de regressão demonstrou que há uma relação positiva, não muito alta, de 62,4% entre eles. Esse resultado pode estar relacionado ao fato de as espécies estudadas, terem apresentado baixa ou nenhuma quantidade de sílica, influenciando pouco no poder calorífico das espécies (Figura 21).

Cunha *et al* (1989), estudando 55 espécies encontrou um teor de 0 a 0,41% de sílica, sendo que a espécie *Mezilaurus Itaúba*, que apresentou maior valor de sílica em sua composição, apresentou também o maior valor para poder calorífico superior (5263 cal/g). Entretanto, Marabotto (1986), encontrou o teor de sílica (0,30%) e poder calorífico (4728.6 kcal/g) na espécie *Apuleia molares* e demonstrou que o teor de sílica não influenciou no valor do poder calorífico das espécies.

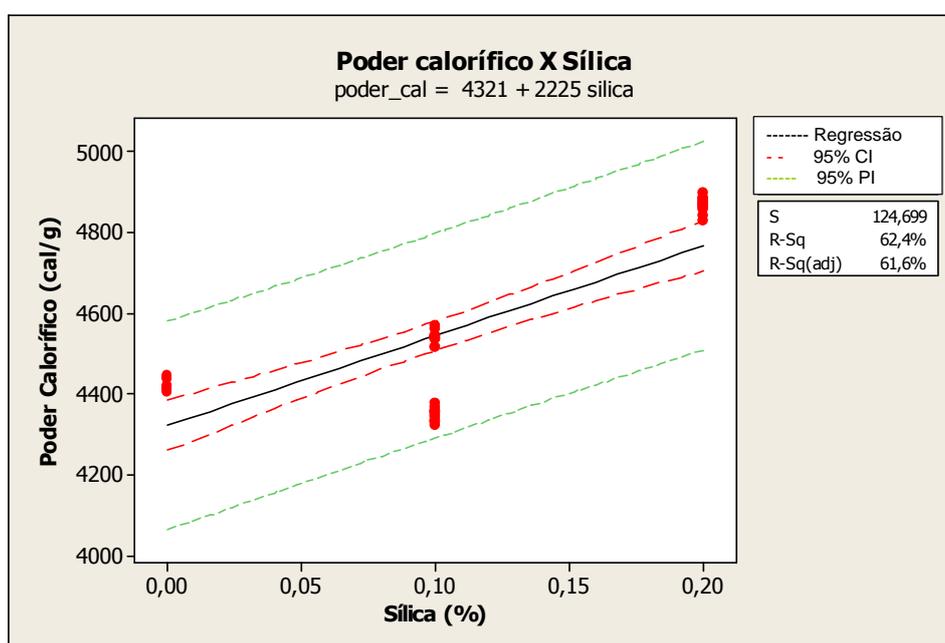


Figura 21 - Análise de regressão do poder calorífico em função do teor de sílica
Fonte: Autor 2013

6 Conclusões

Das análises efetuadas pode-se concluir que:

- ✓ A correlação do poder calorífico com o conteúdo de celulose e o teor de cinzas é negativa, significando que, quanto maiores forem esses dois parâmetros, menor será o poder calorífico da madeira.
- ✓ O poder calorífico apresentou correlação positiva com o teor de extrativos e lignina. No entanto o teor de extrativos apresentou maior influência com relação ao poder calorífico do que a lignina para essas espécies.
- ✓ O resíduo da espécie *Brosimum rubescens* Taub (muirapiranga) obteve melhor desempenho para a produção de energia em relação aos parâmetros analisados que as outras espécies estudadas.
- ✓ Considerando que se trata de resíduos e não de madeira sólida, as propriedades químicas aqui analisadas não poderão ser tomadas como referências-padrão, embora isso não inviabilize técnica e economicamente seu uso na produção de energia.

7 Referências

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS - **ASTM D1105** - 84. Standard Test Method for Preparation of Extractive-Free Wood. Estados Unidos da América. 2007. 2pp.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS - **ASTM D1110** - 84 *Standard Test Methods for Water Solubility of Wood*. Estados Unidos da América., 2007. 2pp.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS - **ASTM D1106** - 96. *Standard Test Method for Acid-Insoluble Lignin in Wood*, Estados Unidos da América. 2007. 1pp.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS - **ASTM D1102** - 84 *Standard Test Method for Ash in Wood ASTM*, Estados Unidos da América, 2007. 3pp.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS - **ASTM D1107-56**. *Standard Test Method for Ethanol-Toluene Solubility of Wood*. American Section of the International Association for Testing Materials. Estados Unidos da América, 2007. 2pp.

ABIMCI, **Estudo setorial Indústria de madeira processada mecanicamente**, 2004.

ABREU, H. S.; OERTEL, A. C. Estudo Químico da lignina de *Paullinia rubiginosa*. Revista **Cerne**, v. 5, n. 1, 1999. p. 52-60.

ALMEIDA, N. F. de.; CAMARGO, D. T.; ARRIEL D.A. A.; MORI, F. A. Avaliação das propriedades dos resíduos de *Pinus Patula* em lferentes períodos de armazenamento visando a cogeração de energia. **FLORESTA**, Curitiba, PR, v. 40, n. 2, abr./jun. 2010. p. 269-274.

ANDRADE, A. M.; CARVALHO, L. M. Potencialidades energéticas de oito espécies florestais do estado do Rio de Janeiro . **Floresta e Ambiente**, Rio de Janeiro, v. 5 n. 1. p.24-42. Jan/Dez 1998.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. **Atlas de energia elétrica do Brasil**. Brasília: ANEEL, 2010. 153 p.

Azevedo, P. S. **Estratégias e requisitos ambientais no processo de desenvolvimento de produtos na indústria de móvel sob encomenda.** Dissertação de Mestrado. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, SP. 2009.

BANANEIRA, M. M. **Chemical comparison between tree Amazônian woods and north american hardwoods.** Master' thesis. Colorado State University. Fort Collins-CO . USA, 1986. 104 f.

BARBOSA, ET AL 1985

BARRICHELO, L.E.G., ***Pinus caribaea* var. *hondurensis*: principais interações entre as características da madeira e o rendimento e qualidade da celulose.** Piracicaba: IPEF, 1980. 10p. (IPEF. Circular técnica, 86).

BARROS, S. V. dos SANTOS ; PIO, N. S.; NASCIMENTO, C.C.; COSTA. S. S. de. Avaliação do potencial das espécies florestais *Acacia auriculiformis* e *Ormosia paraensis* cultivadas no município de Iranduba/Amazonas, Brasil. **Madera y Bosques** 15(2), 59-69. 2009.

BODIG, J.; JAYNE, B. A. **Mechanics of wood and wood composites.** New York: V. N. Reinhold, 1982. 712 p

BOWYER, J. L.; SHMULSKY, R. HAYGREEN, J.G. **Forest products and wood science.** An Intoduction. Blackwell Publishing. New York, 2003.

BRAND, M. A.; OLIVEIRA, L. C. de; MARTINS, S. A.; LACERDA, S.R.; JUNIOR, L. S. Potencialidade de uso de biomassa de florestas nativas sob manejo sustentável para geração de energia. **V Congresso de inovação Tecnológica em energia elétrica.** I Seminário de eficiência energética no setor elétrico. Belém-Pa. 22 a 24 de Junho de 2009.

BRAND; M.A. **Qualidade da biomassa florestal para o uso na geração de energia em função da estocagem.** Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007. 169 f

BRASIL. Empresa de Pesquisa Energética. **Balanco Energético Nacional 2009 – Ano base 2008:** Resultados Preliminares. Rio de Janeiro: EPE, 2009. 48 p.

BRASIL. Empresas de Pesquisas Energéticas. **Balanco Nacional 2008: ano base 2007:** resultados preliminares. Rio de Janeiro, 2008 25p.

BRITO J. O. **O uso energético da madeira.** *Estudos Avançados* 21 (59). 2007

BRITO, J. O.; BARRICHELO, L. E. G. Correlação entre as características físicas e químicas da madeira e a produção de carvão: 2 – Densidade da madeira x densidade do carvão. **Serie Técnica IPEF**. Piracicaba, n 20, p 121-126, 1980.

BRITO, J. O.; BARRICHELO, L. E. G. Correlação entre as características físicas e químicas da madeira e a produção de carvão mineral: densidade e teor de lignina na madeira de eucaliptos. **Serie Técnica IPEF**. Piracicaba (14): 9-20,1977.

BROWNING, B. L. **The chemistry of wood**. New York: Interscience, 1963. 689 p.

CANTO, J. L. **Colheita mecanizada de biomassa florestal para energia**. Tese de Doutorado do programa de pos graduação em Ciências Florestal, da Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, 2009.

CASTILHO, M. E. U, Determinacion del poder calorifico de 20 especies forestales de la amazonia peruana. **Revista Forestal del Perú**. V. 12(1-2): 1-15. 1984.

CINTRA, T. C., **Avaliações energéticas de espécies florestais nativas plantadas na região do médio Paranapanema**., Dissertação Mestrado Escola Superior de Tecnologia Luiz de Queiroz. SP. Piracicaba 2009. 84 p.

COELHO, S. T.; VARKULYA JR., A.; PALETTA, C. E. M.; GUARDABASSI, P.; MARTINS, O. S. Geração de energia da madeira de reflorestamento. **Revista da Madeira**. Curitiba, Ano 11, n. 65. 2002. p. 24-26.

CORDER, S. E., **Wood and bark as fuel** , Forest Research Laboratory. Oregon State University, School of forestry, Research Bulletin n 04. Corvallis. USA.

COUTO, H. T. do; BRITO, J. O. Inventário de resíduos florestais. **Série Técnica IPEF**. Piracicaba, v. 1,n. 2, p. A.1-A 13, jul.1980.

CUNHA, M. P. S. C. et al. Estudo químico de 55 espécies lenhosas para geração de energia em caldeiras. In: Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeira, 3., 1989, São Carlos. **Anais...** São Carlos: 1989. v.2, p. 93-121.

D'ALMEIDA, M.L.O. Composição química dos materiais lignocelulósicos. In: D'ALMEIDA, M.L.O. Celulose e papel: tecnologia de fabricação da pasta celulósica. 2.ed., São Paulo: IPT, v.1. p.45-106. 1988.

DOAT, J. **Le pouvoir calorifique des bois tropicaux**. Bois et forets des Tropiques, Nogente-Sur-Marne, n.172, , mar/abr.1977. p. 33-55.

EARL, D. E. **Forest Energy and Economic Development**: Clarendon Press Oxford, 1975, 128p.

FARAGE, R. M. P. **Aproveitamento dos resíduos lignocelulósicos gerados no pólo Moveleiro de Ubá para fins energéticos**. Dissertação de mestrado do curso de pós graduação em Engenharia Ambiental, Universidade de Federal de ouro Preto. 2009.

FARINHAQUE, R. Influencia da umidade no poder calorífico da madeira de bracatinga (*Mimosa scabrella Benth*) e aspectos gerais de combustão. **Serie Técnica. FUPEF**. Curitiba – PR, 1981, 14p.

FEDALTO, L. C.; MENDES, I. da C. A.; CORADIN, V. T. R. madeiras da Amazônia. Descrição do lenho de 40 espécies ocorrentes na floresta nacional do tapajós. Brasília: **IBAMA**, p. 156. 1989

FENGEL, D. E.; WEGENER, G. **Wood chemistry, ultrastructure, reactions**. Berlin: Water de Gruyter, 1989. 613p.

Galvão, A. P. M. Estimativas da umidade de equilíbrio da madeira em diferentes cidades do Brasil. **Instituto de Pesquisa e Estudo Florestais**. Piracicaba, n11, 1975. p. 53-65.

GOMES J.I; SAMPAIO S.S.. Aproveitamento de Resíduos de Madeira em Três Empresas Madeireiras do Estado do Pará. **Revista EMBRAPA** 1(1): 1517-2244. 2004.

GOULAT, S. L.; MORI, F. A.; RIBEIRO, A. de O.; COUTO, A. M.; ARANTES, M. D. C.; MENDES L. M. Análises Químicas e densidade básica da madeira de raiz, fuste e galho de barbatimão [(*Stryphnodendron adstringens*) Coville] DE BIOMA CERRADO. **Cerne**, Lavras, v. 18, n. 1, p. 59-66, jan./mar. 2012.

FPL (Florest Products Laboratory). 1987. **Wood Handbook**: Wood as an Engineering Material. Forest Service/ USDA, Washington DC, Cap 2, p. 4.

Food and Agriculture Organization of the United Nations. Global forest resources assessment 2005. **FAO**, Rome 2006.

Food and Agriculture Organization of the United Nations. State of the world's forests 2007. **FAO**, Rome 2008.

FONTES, P. J. P. **“Auto-Suficiência Energética em Serraria de Pinus e Aproveitamento dos Resíduos”**, dissertação de Mestrado do curso de Pós-

Graduação em Engenharia Florestal da Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 1994.

FROTA, W. M. **Sistemas isolados de energia elétrica na Amazônia no novo contexto do setor elétrico brasileiro.** (DISSERTAÇÃO DE MESTRADO). CAMPINAS, SP: UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS – UNICAMP, 2004, 131 P.

JARA, E. R. P. O poder calorífico de algumas madeiras que ocorrem no Brasil. São Paulo: **Instituto de Pesquisas Tecnológicas**, (Comunicação Técnica, 1797) 1989. 6 p.

JUNIOR, R. O. M.; FERREIRA, L. F. R. ; RUZENE, D. S.; SILVA, D. P. Energias alternativas no Brasil: Uma breve apresentação do seu potencial. **Cadernos de Graduação** - Ciências Exatas e Tecnológicas - v. 11 - n. 11 – 2010.

KIKUCHI, S. **Energia Potencial a ser explorado.** Ecologia e Desenvolvimento ano10 - Nº 94 – 2001.

KOLLMANN, F.F.P.; COTÊ, W.A. **Principles of wood science and technology**, 2 vol. Berlin: Springer Verlag, 1968.

KLOCK, U.; Muniz, G. I.B. de; H. J. A.; Andrade, A. S. de. QUÍMICA DA MADEIRA. 3ª. Edição revisada. **Universidade Federal do Paraná Setor de Ciências Agrárias Departamento de engenharia e Tecnologia Florestal Curitiba 2005. Apostila.**

JONES, L.P.H. Mineral components of plant cell walls. **The American Journal of Clinical nutrition**, Estados Unidos, v.31, p.s 94-s97,1978.

LEPAGE, E. S. 1986. **Química da madeira.** In: Manual de preservação de madeira, vol. 1 IPT, São Paulo/SP, 250p.

LIMA, E. A. de; ABDALA, E. M.; WENZEL A. A. Influência da Umidade no Poder Calorífico Superior da Madeira. **Comunicado técnico 220.** ISSN 1517-5030. Colombo, PR, Dezembro, 2008.

MADY, F. T. M. Conhecendo a madeira 1. ed. Manaus SEBRAE/AM. Programa de desenvolvimento Empresarial e Tecnológica . 2000. p. 212.

MAGOSSI, D. C. **A Produção florestal e a industrialização de seus resíduos na região de Jaguariaíva-Paraná.** Dissertação apresentada ao curso de Pósgraduação em Engenharia Florestal, do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná. Curitiba 2007.

MARABOTO, M. T.; CUNHA, M.P.S.; CRUZ, I. A. C.; SILVIA, L. F. **Poder calorífico e pirólise de dez espécies florestais da Amazônia brasileira –Peruana .** Universidade Nacional Amazônia – Peruana – Iquitos/ Peru 1986.

MELGUEIRO, F. I.G. **Consumo e procedência de lenha utilizada por panificadora no município de Itacoatiara/AM.** Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Florestal da Universidade do Estado do Amazonas para a obtenção do título de Engenheiro Florestal. 2011.

Ministério de Minas e Energia. **MME.** Plano Decenal de Expansão de Energia PDE.2020 . edição 18/07/2011. Disponível em:<<http://www.mme.gov.br>>.. Acesso em 22 de Outubro de 2011.

Ministério de Minas e Energia. **MME.** Balanço Energético Nacional 2008. Disponível em:<<http://www.mme.gov.br>>. Acesso em: 22 de Outubro de 2011.

Ministério de Minas e Energia. **MME.** Balanço Energético Nacional 2009. Disponível em:<<http://www.mme.gov.br>>. Acesso em: 22 de Outubro de 2011.

MORAES, MORAIS, S. A. L. de; NASCIMENTO, E. A. do; MELO, D. C. de. Análise da madeira de *Pinus oocarpa* parte I: estudo dos constituintes macromoleculares e extrativos voláteis. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 29, n. 3, p. 461-470, 2005.

MOREIRA, C.S. **Contribuição ao estudo da eficiência de pequenos fornos na produção de carvão vegetal destinado a alto forno.** Tese de Doutorado em recursos Florestais – Escola superior de Agricultura- Luis de Queiroz – Universidade de São Paulo. Piracicaba. 1964. 110p.

MOULIN, J. C., **Avaliação energética da maravalha gerada em uma serraria no município de Jerônimo Monteiro/ ES.** Monografia apresentada ao Departamento de Engenharia Florestal do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo para obtenção do título de Engenheiro Industrial Madeireiro. 2010.

Nascimento, C.. **Avaliação de Propriedades Termicidas de Extrativos de Madeiras Amazônicas Quanto ao Ataque de *Nasutitermes sp* (Isoptera, Termitidae).** Monografia do Curso de Tecnologia em Indústria da Madeira. UTAM, Departamento de Engenharia Florestal. Manaus/AM. 2000. 39p.

NETO, P. N. DE M. **Avaliações físico do lenho das espécies *handroanthus impertiginosus* no semiárido pós-graduação em ciências florestais físico-químicas, anatômicas e energéticas *Poincianella pyramidalis* Tul.L.P. (Mart. ex DC.) Mattos DE OCORRÊNCIA BRASILEIRO.** Dissertação Pós-Graduação em Ciências Florestais, na Área de Ecologia, Manejo e Utilização dos Recursos Florestais da Universidade Federal de Campina Grande, no CSTR – Centro de Saúde. e Tecnologia Rural 2011.

OLIVEIRA, E. **Características anatômicas, químicas e térmicas da madeira de três espécies de maior ocorrência no semiárido nordestino.** Tese (Doutorado em Ciências Florestais) Universidade Federal de Viçosa , Minas Gerais. 2003. 122p.

OLIVEIRA, J. T. da S.; SOUZA, L. C. de; LUCIA, R. M. D.; JÚNIO, W. P. de S. Influência dos extrativos na resistência ao apodrecimento de seis espécies de madeira. **R. Árvore**, Viçosa-MG, v.29, n.5, p.819-826, 2005.

ORTIZ, L. S. **Fontes alternativas de energia e eficiência energética – Opção para uma política energética sustentável no Brasil.** Seminário Internacional. Brasília. 2002.

PANSHIN, A.J. & DE ZEEUW, C. **Textbook of Wood Technology:** Structureidentification, Properties and uses of the Commercial woods of the United States and Canada. New York: McGraw-Hill Book Company, p.772 1980.

PIMENTA, A. S. BARCELLOS, D. C. Curso de atualização e carvão vegetal. Centro de Produções técnicas – **CPT**. 2000. 76p.

QUIRINO, Waldir F.; VALE, A. T. do; ANDRADE, A. P. A. de; ABREU, V. L. S.; AZEVEDO, A. C. dos S. PODER CALORÍFICO DA MADEIRA E DE MATERIAIS LIGNO-CELULÓSICOS. **Revista da Madeira** nº 89 abril 2005 pag 100-106.

RODRIGUES, L. C.; SANTANA, M. A. E. Metodologia para determinação do teor de sílica em materiais lignocelulósicos via espectrometria no Ultravioleta-visível. **Floresta e Ambiente** V.12, n.1. 2005. p. 57 - 62.

ROSSI, T. A.; MOURA, L. F. de; TORQUATO, B, P. R.; BRITO c, J. O. d; Influência da Remoção dos Extrativos de Resíduos de Madeiras no Seu Poder Calorífico **3º Internacional Workshop Advances in clear production** São Paulo – Brazil – May 18th-20ndth – 2011.

ROWELL, R. M.; PETTERSEN, R.; HAN, J.S. ROWELL, J.S.; TSHABALALA, M. A. Cell Wall Chemistry. Capítulo 03 do livro **Handbook of wood chemistry and wood composites**. Editado por Roger M. Rowell. Editora.Taylor & Francis Group. New York.2005.

SACHS, I. Da civilização do petróleo a uma nova civilização verde. **Estudos Avançados**, v19. (55), 2005, pg 197-214.

SANTOS, I. D. **Influencia dos teores de lignina e Holocelulose e extrativos na densidade básica do carvão vegetal de cinco espécies de lenhosas do cerrado**. Dissertação de mestrado. Pós graduação em Ciências florestais. Universidade de Brasília. 2008.

SANTOS, M. G. R. S.; MOTHE, C. G. Fontes alternativas de energia. **Revista Analytica**. Rio de Janeiro. 2008.

SILVA, A. C.; SILVA, M.B.C. Influência da anatomia e química nas propriedades da madeira, Publicação Avulsa do **CEPEF/UTAM**, Manaus/ AM 1991. 17p.

SILVA, E.P.; Cavaliero, K.N. **Regulação energética e meio ambiente: propostas para a Região Amazônica isolada**. Campinas, SP: NIPE/UNICAMP. 2001. 193p.

SILVA HP; MOUCO IM; BASTOS MG.. Reaproveitamento de Resíduos de Madeira Oriundos da Marcenaria da FUCAPI. **T & C Amazônia**: 7 (Ano III): 40–44. 2005.

SOARES, C.S.; NASCIMENTO FILHO, B V., SOARES. G. A.; LIBÓRIO, A. M.; ALVES, C. O. S. Aproveitamento dos resíduos de madeiras por três madeiras no município de Benjamim Constant – AM/BRASIL. **Rev. Colombiana Cienc. Anim.** 2(1).2010.

SHAFIZADEH, F.; DEGROOT. W. F. Combustion characteristics of cellulosic fuels. In: SHAFIZADEH, F. SARKANEN, K. V.; TILMAN, D. A. Thermal uses and properties of carbohydrates and lignins. New York: **Academic Press**, 1976 p.1-17.

SOUZA M. M. de, **Caracterização e viabilidade econômica do uso energético de resíduos da colheita e do processamento de *Pinus Taeda* L.** Dissertação apresentada ao curso de Pós- Graduação em Engenharia Florestal, Área de concentração em Tecnologia da Madeira, Departamento de Engenharia Florestal, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná. Curitiba. 2010.

SHUBART HOR. Ecologia e Utilização das Florestas in: Amazônia - desenvolvimento, integração, ecologia. Brasiliense (Brasília) **CNPq**. São Paulo: 103–143. 1983.

STAMM, A. A. J. **Wood and cellulose Science**. New York, 574p. 1964.

Tillman, D. Wood as an energy Resouce. **Academic Press** 1978. 252p.

TRUGILHO, P. F.; LIMA, J. T.; MENDES, L. M. Influênciada idade nas características físico-mecânicas e anatômicas da madeira de *Eucalyptus saligna*. **Cerne**, Lavras, v. 2, n. 1, p.97-111, jan./jun. 1996.

VALE, A. T.; BRASIL, M. A. M.; CARVALGO, C. M.; VEIGA, R. A. A. Produção de energia do fuste de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden e *Acacia mangium* Willd em diferentes níveis de adubação. **Revista Cerne**. Lavras, v. 6, n. 1, p. 33-88, 2000.

XIA, X.; BELAND, R.; MIERSCH, S.; HOUDE, D.; ABOUL-ENEIN, H.Y. Development and validation method for silica determination by spectrophotometry in some herbs and pharmaceutical formulations. **Analytical Letters**, v. 33(3), p. 455- 463, 2000.

ZANUNCIO, A. J. D.; COLODETT. J..L. Teores de lignina e ácidos urônicos na madeira e polpa celulósica de Eucalipto , **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.35, n.2, p.341-347, 2011.

8 Apêndice A-

Extrativo

Experimento inteiramente casualizado dos parâmetros analisados

=====

ASSISTAT Versão 7.6 (2013) - Homepage <http://www.assistat.com>
Por Francisco de A. S. e Silva DEAG-CTRN-UFCG - Atualiz.01/03/2013

=====

Arquivo Extrativo.txt Data 11/03/2013 Hora 15:01:30

EXPERIMENTO INTEIRAMENTE CASUALIZADO

QUADRO DE ANÁLISE

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	3	3370.88428	1123.62809	13139.8116 **
Resíduo	44	3.76258	0.08551	
Total	47	3374.64687		

** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < .01$)

* significativo ao nível de 5% de probabilidade ($.01 \leq p < .05$)

ns não significativo ($p \geq .05$)

GL	GLR	F-crit	F	p
3	44	4.2617	13139.8116	<0.001

MÉDIAS E MEDIDAS

Médias de tratamento

1	22.61750	a
2	9.63167	b
3	2.45917	c
4	1.76500	d

dms = 0.31879

MG = 9.11833

CV% = 3.21

Ponto médio = 12.16000

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade

Apêndice B

Celulose

Experimento inteiramente casualizado dos parâmetros analisados

=====

ASSISTAT Versão 7.6 (2013) - Homepage <http://www.assistat.com>
Por Francisco de A. S. e Silva DEAG-CTRN-UFCG - Atualiz.01/03/2013

=====

Arquivo **celulose.txt** Data 11/03/2013 Hora 15:04:33

EXPERIMENTO INTEIRAMENTE CASUALIZADO

QUADRO DE ANÁLISE

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	3	356.78190	118.92730	1282.3084 **
Resíduo	44	4.08077	0.09274	
Total	47	360.86267		

** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < .01$)

* significativo ao nível de 5% de probabilidade ($.01 \leq p < .05$)

ns não significativo ($p \geq .05$)

GL	GLR	F-crit	F	p
3	44	4.2617	1282.3084	<0.001

MÉDIAS E MEDIDAS

Médias de tratamento

1	48.73250	d
2	52.55750	b
3	51.57250	c
4	56.35083	a

dms = 0.33199

MG = 52.30333

CV% = 0.58

Ponto médio = 52.41500

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade

Apêndice C

Lignina

Experimento inteiramente casualizado dos parâmetros analisados

=====

ASSISTAT Versão 7.6 (2013) - Homepage <http://www.assistat.com>
Por Francisco de A. S. e Silva DEAG-CTRN-UFCG - Atualiz.01/03/2013

=====

Arquivo Lignina.txt Data 11/03/2013 Hora 15:07:22

EXPERIMENTO INTEIRAMENTE CASUALIZADO

QUADRO DE ANÁLISE

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	3	248.09687	82.69896	614.5584 **
Resíduo	44	5.92092	0.13457	
Total	47	254.01780		

** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < .01$)

* significativo ao nível de 5% de probabilidade ($.01 \leq p < .05$)

ns não significativo ($p \geq .05$)

GL	GLR	F-crit	F	p
3	44	4.2617	614.5584	<0.001

MÉDIAS E MEDIDAS

Médias de tratamento

1	34.53833	a
2	33.41333	b
3	31.32750	c
4	28.56667	d

dms = 0.39990

MG = 31.96146

CV% = 1.15

Ponto médio = 31.53500

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade

Apêndice D

Cinzas

Experimento inteiramente casualizado dos parâmetros analisados

=====

ASSISTAT Versão 7.6 (2013) - Homepage <http://www.assistat.com>
Por Francisco de A. S. e Silva DEAG-CTRN-UFCG - Atualiz.01/03/2013

=====

Arquivo Cinza.txt Data 11/03/2013 Hora 15:09:41

EXPERIMENTO INTEIRAMENTE CASUALIZADO

QUADRO DE ANÁLISE

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	3	0.62805	0.20935	1966.5919 **
Resíduo	44	0.00468	0.00011	
Total	47	0.63274		

** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < .01$)

* significativo ao nível de 5% de probabilidade ($.01 \leq p < .05$)

ns não significativo ($p \geq .05$)

GL	GLR	F-crit	F	p
3	44	4.2617	1966.5919	<0.001

MÉDIAS E MEDIDAS

Médias de tratamento

1	0.46289	c
2	0.44417	d .
3	0.65417	b
4	0.70417	a

dms = 0.01125

MG = 0.56635

CV% = 1.82

Ponto médio = 0.56500

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade

Apêndice E

Poder Calorífico

Experimento inteiramente casualizado dos parâmetros analisados

=====

ASSISTAT Versão 7.6 (2013) - Homepage <http://www.assistat.com>
Por Francisco de A. S. e Silva DEAG-CTRN-UFCG - Atualiz.01/03/2013

=====

Arquivo Poder calorífico.txt Data 12/03/2013 Hora 12:13:37

EXPERIMENTO INTEIRAMENTE CASUALIZADO

QUADRO DE ANÁLISE

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	3	1892417.72917	630805.90972	2418.8292 **
Resíduo	44	11474.75000	260.78977	
Total	47	1903892.47917		

** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < .01$)

* significativo ao nível de 5% de probabilidade ($.01 \leq p < .05$)

ns não significativo ($p \geq .05$)

GL	GLR	F-crit	F	p
3	44	4.2617	2418.8292	<0.001

MÉDIAS E MEDIDAS

Médias de tratamento

1	4866.66700	a
2	4539.25000	b
3	4421.58300	c
4	4347.58300	d

dms = 17.60469

MG = 4543.77083

CV% = 0.36

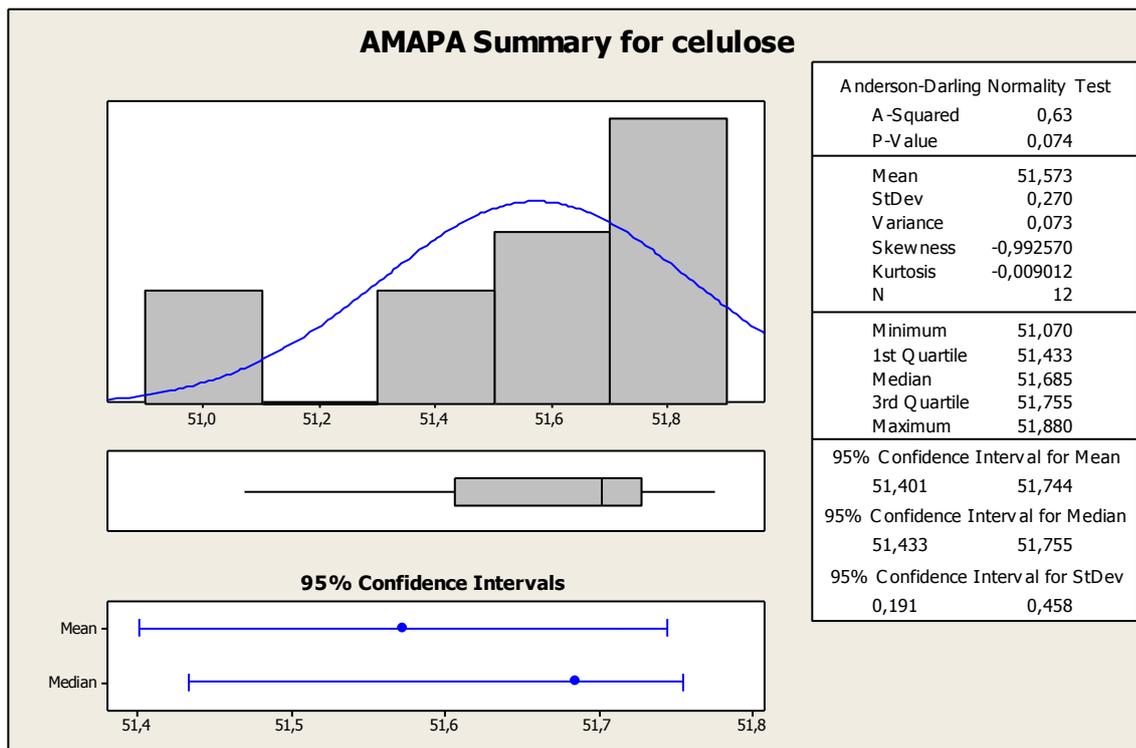
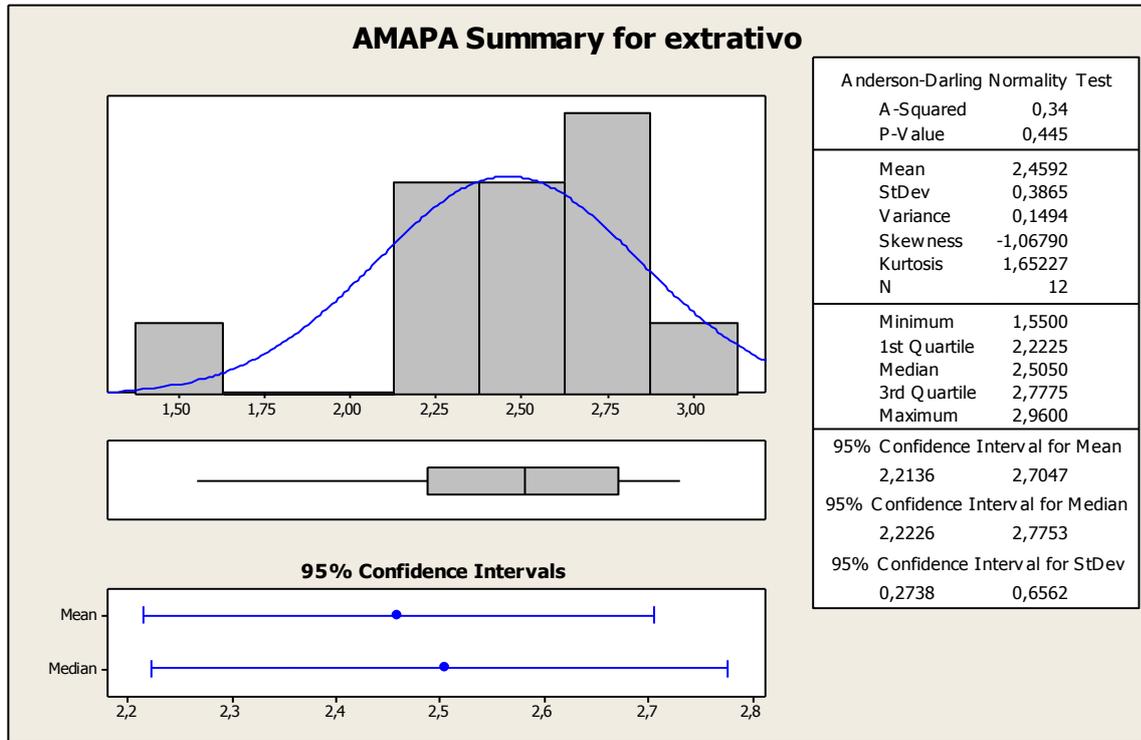
Ponto médio = 4608.50000

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade

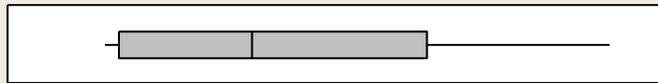
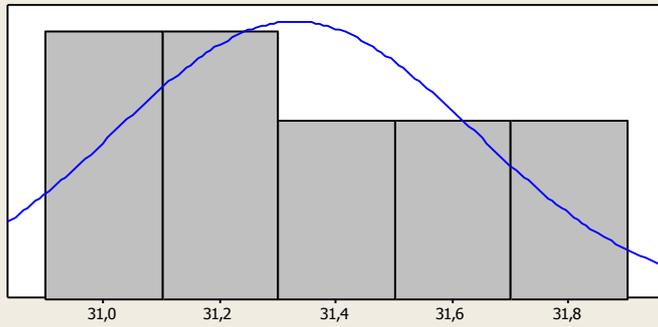
Apêndice F

Estatística descritiva por espécie Amapá

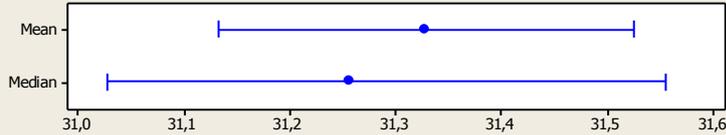
Descriptive Statistics amapá: extrativo; celulose; lignina; cinzas.



AMAPA Summary for lignina

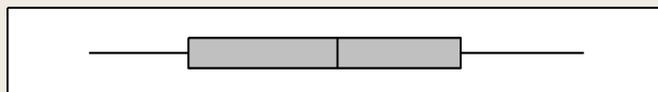
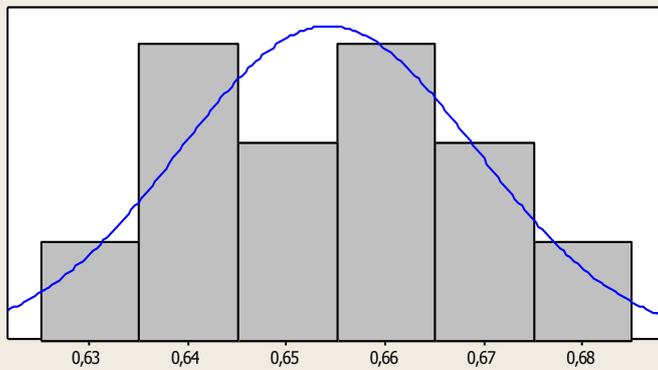


95% Confidence Intervals

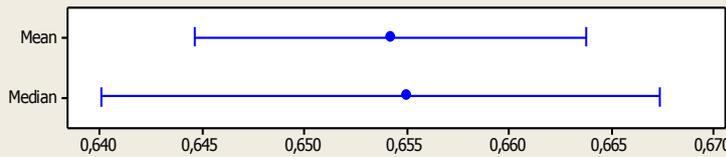


Anderson-Darling Normality Test	
A-Squared	0,52
P-Value	0,151
Mean	31,328
StDev	0,309
Variance	0,095
Skewness	0,47497
Kurtosis	-1,18614
N	12
Minimum	31,000
1st Quartile	31,025
Median	31,255
3rd Quartile	31,555
Maximum	31,870
95% Confidence Interval for Mean	
	31,131 31,524
95% Confidence Interval for Median	
	31,026 31,555
95% Confidence Interval for StDev	
	0,219 0,524

AMAPA Summary for cinzas

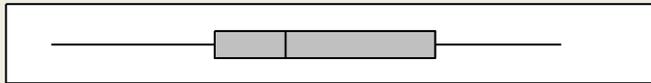
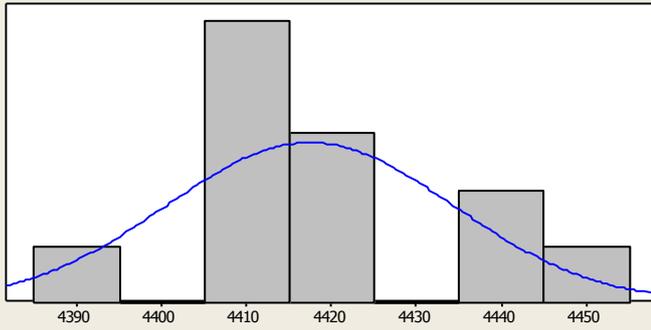


95% Confidence Intervals

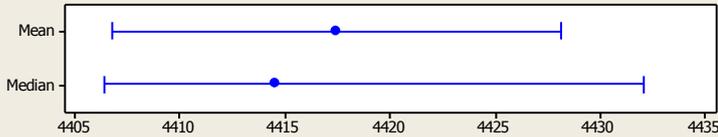


Anderson-Darling Normality Test	
A-Squared	0,30
P-Value	0,526
Mean	0,65417
StDev	0,01505
Variance	0,00023
Skewness	0,095554
Kurtosis	-0,848393
N	12
Minimum	0,63000
1st Quartile	0,64000
Median	0,65500
3rd Quartile	0,66750
Maximum	0,68000
95% Confidence Interval for Mean	
	0,64460 0,66373
95% Confidence Interval for Median	
	0,64000 0,66737
95% Confidence Interval for StDev	
	0,01066 0,02555

AMAPA Summary for poder calorifico



95% Confidence Intervals



Anderson-Darling Normality Test

A-Squared	0,42
P-Value	0,264

Mean	4417,4
StDev	16,9
Variance	284,3
Skewness	0,293112
Kurtosis	0,066084
N	12

Minimum	4387,0
1st Quartile	4406,3
Median	4414,5
3rd Quartile	4432,3
Maximum	4447,0

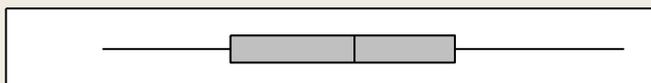
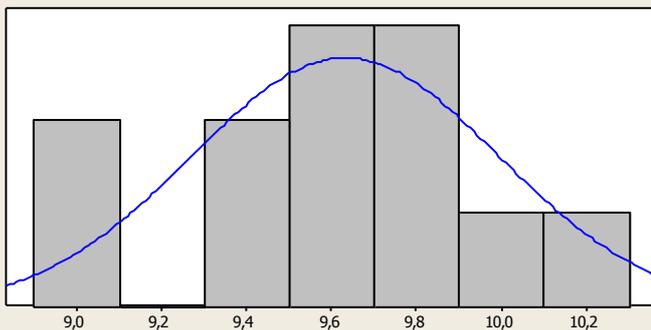
95% Confidence Interval for Mean	4406,7	4428,1
95% Confidence Interval for Median	4406,3	4432,1
95% Confidence Interval for StDev	11,9	28,6

Apêndice G

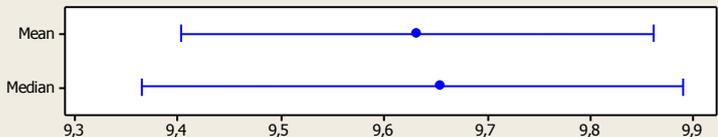
Estatística descritiva por espécie Angelim

Descriptive Statistics angelim: extrativo; celulose; lignina; cinzas.

ANGELIM Summary for extrativo



95% Confidence Intervals



Anderson-Darling Normality Test

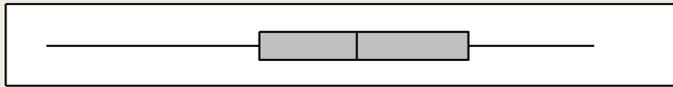
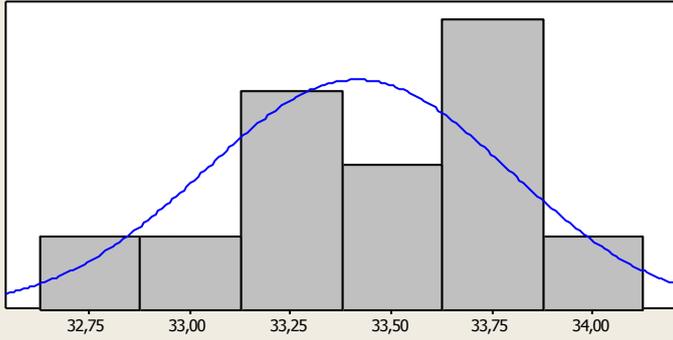
A-Squared	0,27
P-Value	0,614

Mean	9,6317
StDev	0,3614
Variance	0,1306
Skewness	-0,121026
Kurtosis	-0,166257
N	12

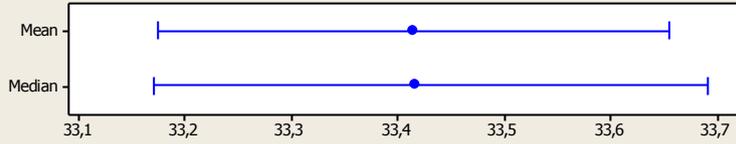
Minimum	9,0600
1st quartile	9,3625
Median	9,6550
3rd Quartile	9,8900
Maximum	10,2900

95% Confidence Interval for Mean	9,4021	9,8613
95% Confidence Interval for Median	9,3637	9,8900
95% Confidence Interval for StDev	0,2560	0,6135

ANGELIM Summary for lignina



95% Confidence Intervals



Anderson-Darling Normality Test

A-Squared 0,21
P-Value 0,818

Mean 33,413
StDev 0,378
Variance 0,143
Skewness -0,422560
Kurtosis 0,135047
N 12

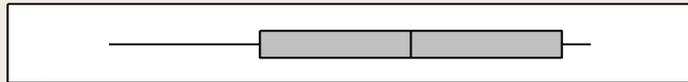
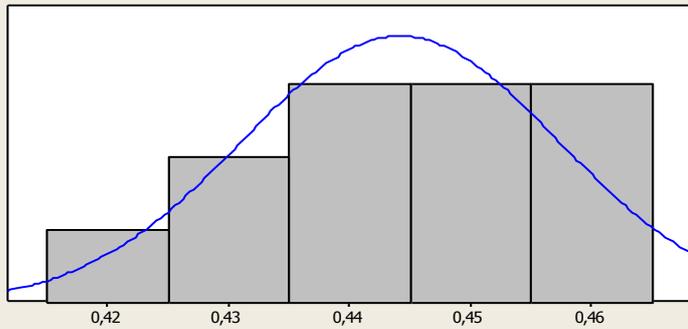
Minimum 32,640
1st Quartile 33,170
Median 33,415
3rd Quartile 33,690
Maximum 34,000

95% Confidence Interval for Mean
33,173 33,653

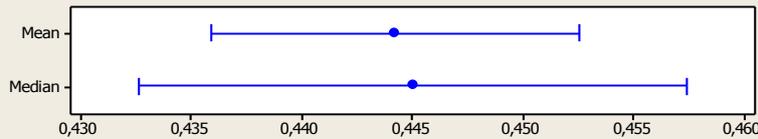
95% Confidence Interval for Median
33,170 33,689

95% Confidence Interval for StDev
0,268 0,642

ANGELIM Summary for cinzas



95% Confidence Intervals



Anderson-Darling Normality Test

A-Squared 0,39
P-Value 0,316

Mean 0,44417
StDev 0,01311
Variance 0,00017
Skewness -0,363476
Kurtosis -0,758765
N 12

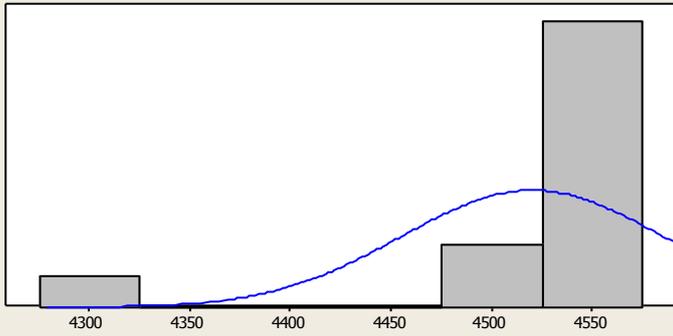
Minimum 0,42000
1st Quartile 0,43250
Median 0,44500
3rd Quartile 0,45750
Maximum 0,46000

95% Confidence Interval for Mean
0,43583 0,45250

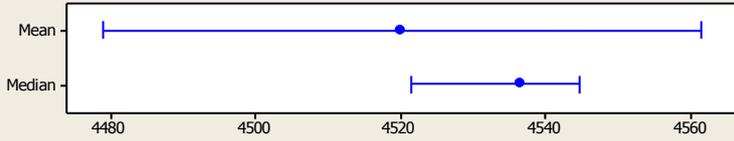
95% Confidence Interval for Median
0,43263 0,45737

95% Confidence Interval for StDev
0,00929 0,02227

ANGELIM Summary for poder calorifico



95% Confidence Intervals



Anderson-Darling Normality Test

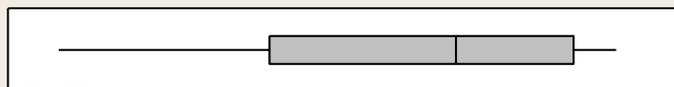
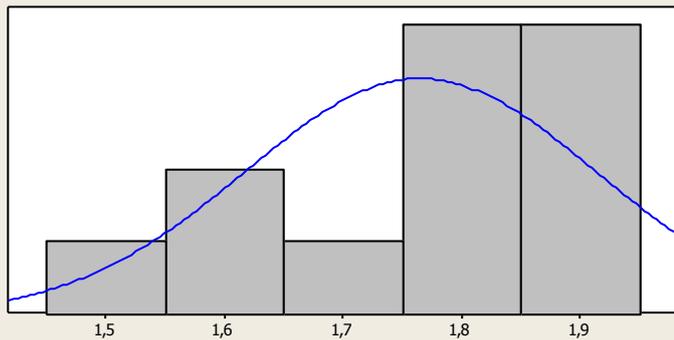
A-Squared	2,18
P-Value <	0,005
Mean	4520,1
StDev	65,0
Variance	4230,4
Skewness	-3,0894
Kurtosis	10,1541
N	12
Minimum	4320,0
1st Quartile	4521,3
Median	4536,5
3rd Quartile	4544,5
Maximum	4568,0
95% Confidence Interval for Mean	4478,8 4561,4
95% Confidence Interval for Median	4521,5 4544,5
95% Confidence Interval for StDev	46,1 110,4

Apêndice H

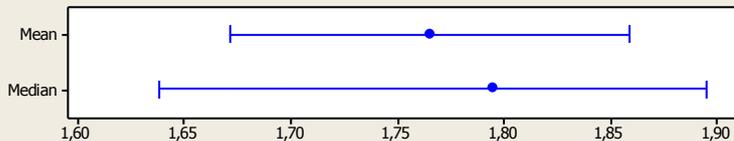
Estatística descritiva por espécie Marupá

Descriptive Statistics marupá: extrativo; celulose; lignina; cinzas.

MARUPA Summary for extrativo



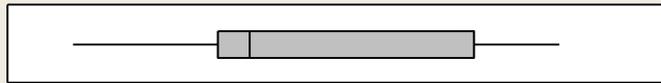
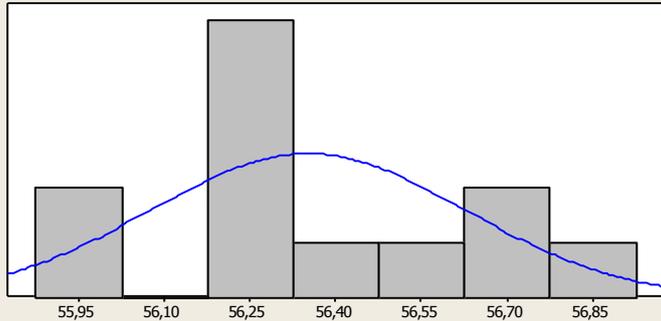
95% Confidence Intervals



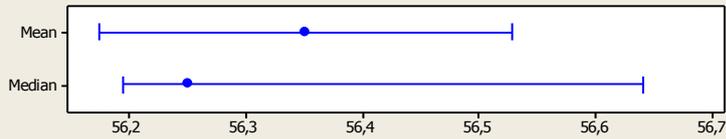
Anderson-Darling Normality Test

A-Squared	0,35
P-Value	0,406
Mean	1,7650
StDev	0,1473
Variance	0,0217
Skewness	-0,763764
Kurtosis	-0,119453
N	12
Minimum	1,4600
1st Quartile	1,6375
Median	1,7950
3rd Quartile	1,8950
Maximum	1,9300
95% Confidence Interval for Mean	1,6714 1,8586
95% Confidence Interval for Median	1,6379 1,8947
95% Confidence Interval for StDev	0,1044 0,2501

MARUPA Summary for cellulose



95% Confidence Intervals



Anderson-Darling Normality Test

A-Squared 0,41
P-Value 0,295

Mean 56,351
StDev 0,277
Variance 0,077
Skewness 0,16346
Kurtosis -1,17031
N 12

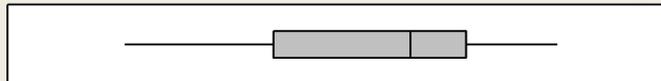
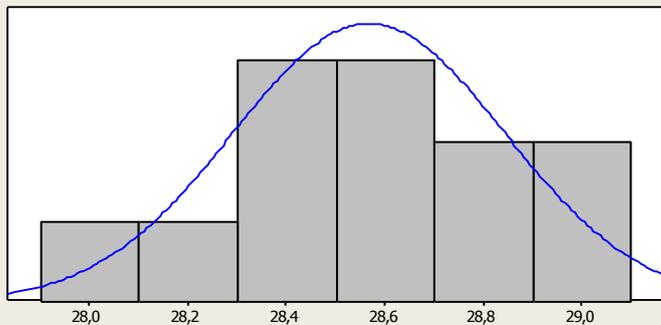
Minimum 55,940
1st Quartile 56,195
Median 56,250
3rd Quartile 56,640
Maximum 56,790

95% Confidence Interval for Mean
56,175 56,527

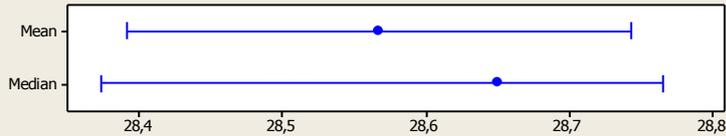
95% Confidence Interval for Median
56,195 56,639

95% Confidence Interval for StDev
0,196 0,470

MARUPA Summary for lignina



95% Confidence Intervals



Anderson-Darling Normality Test

A-Squared 0,26
P-Value 0,638

Mean 28,567
StDev 0,276
Variance 0,076
Skewness -0,466572
Kurtosis -0,646659
N 12

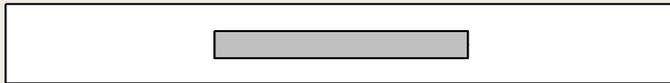
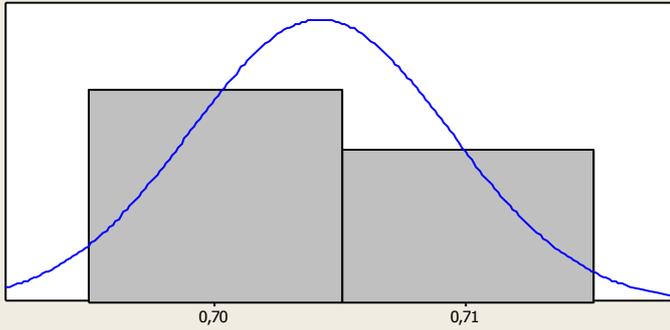
Minimum 28,070
1st Quartile 28,373
Median 28,650
3rd Quartile 28,765
Maximum 28,950

95% Confidence Interval for Mean
28,391 28,742

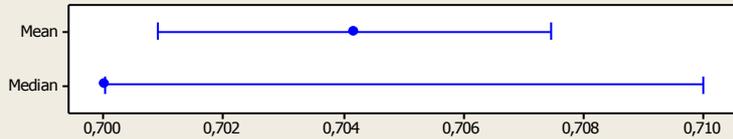
95% Confidence Interval for Median
28,373 28,764

95% Confidence Interval for StDev
0,196 0,469

MARUPA Summary for cinzas



95% Confidence Intervals



Anderson-Darling Normality Test

A-Squared 2,08
P-Value < 0,005

Mean 0,70417
StDev 0,00515
Variance 0,00003
Skewness 0,38840
Kurtosis -2,26286
N 12

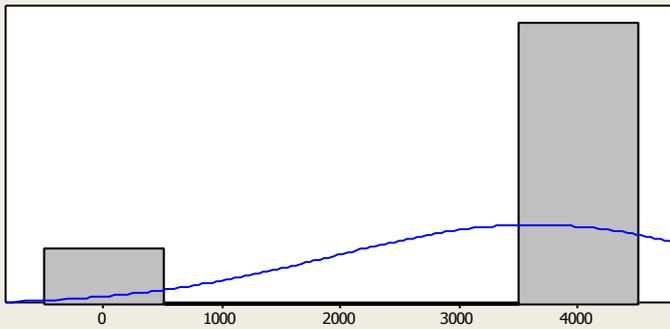
Minimum 0,70000
1st Quartile 0,70000
Median 0,70000
3rd Quartile 0,71000
Maximum 0,71000

95% Confidence Interval for Mean
0,70089 0,70744

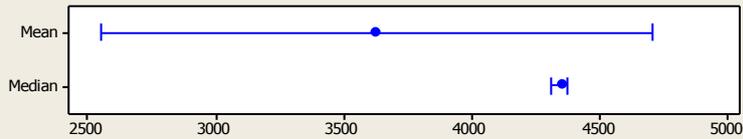
95% Confidence Interval for Median
0,70000 0,71000

95% Confidence Interval for StDev
0,00365 0,00874

MARUPA Summary for poder calorifico



95% Confidence Intervals



Anderson-Darling Normality Test

A-Squared 3,19
P-Value < 0,005

Mean 3626,7
StDev 1692,2
Variance 2863599,8
Skewness -2,05412
Kurtosis 2,63723
N 12

Minimum 4,3
1st Quartile 4303,3
Median 4351,5
3rd Quartile 4373,0
Maximum 4385,0

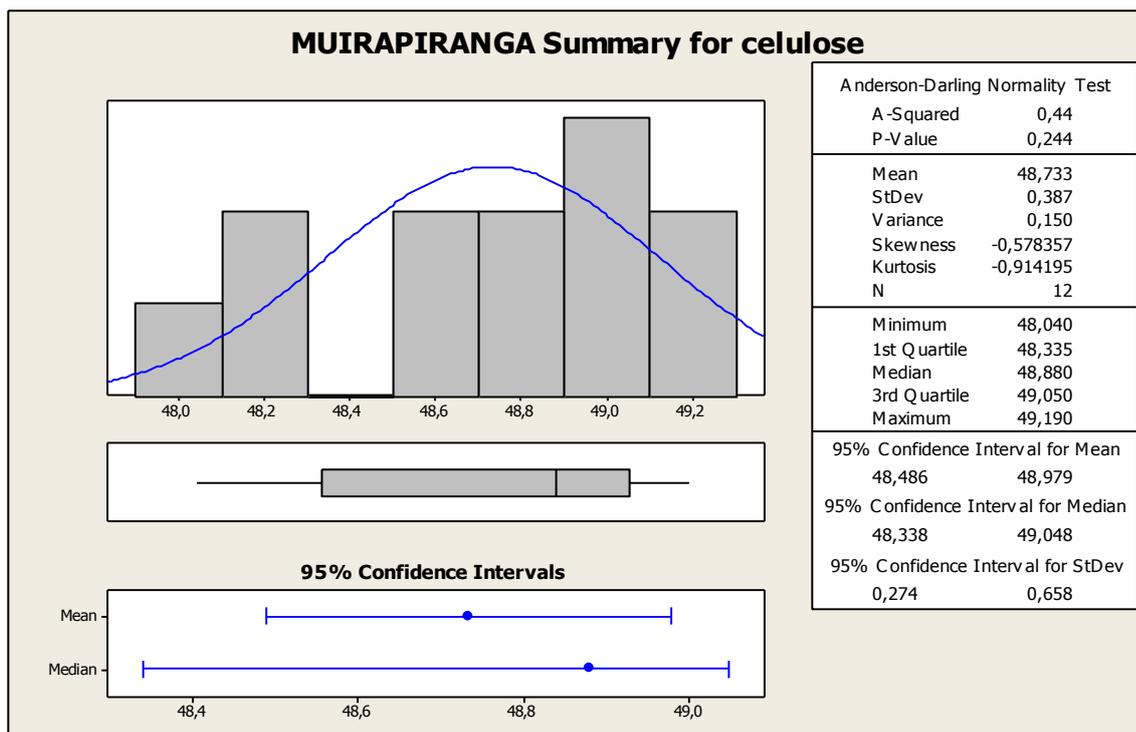
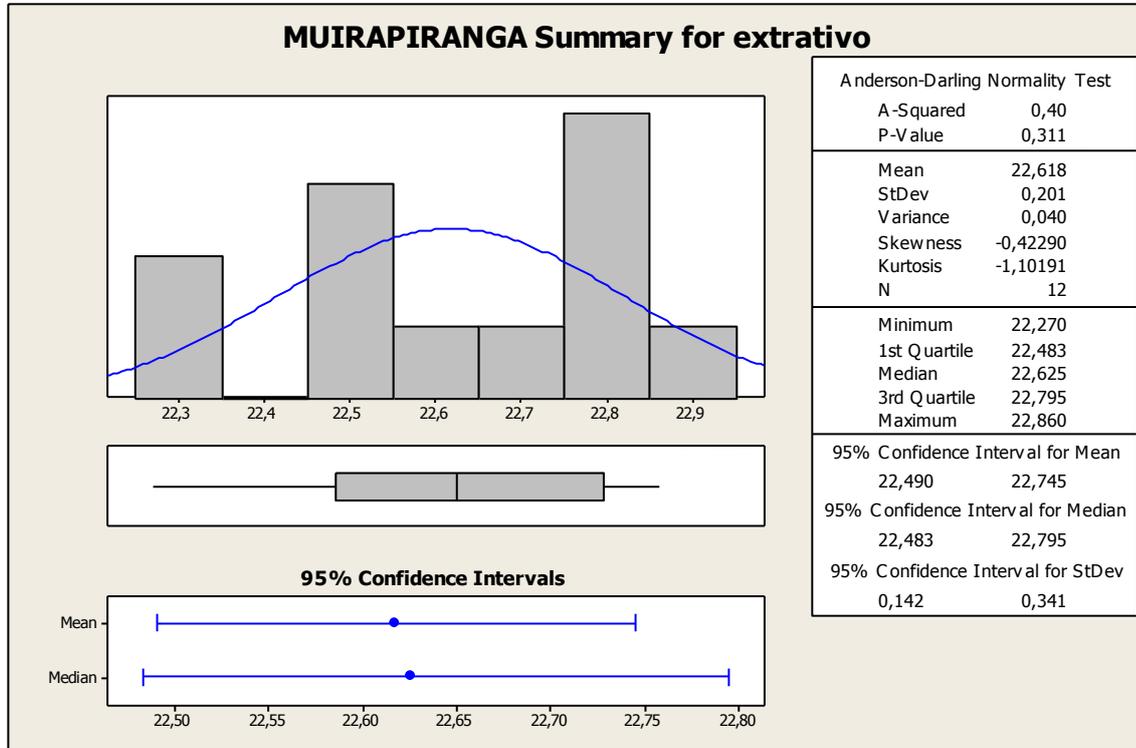
95% Confidence Interval for Mean
2551,5 4701,9

95% Confidence Interval for Median
4303,4 4372,9

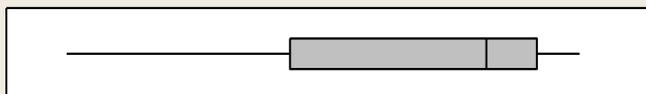
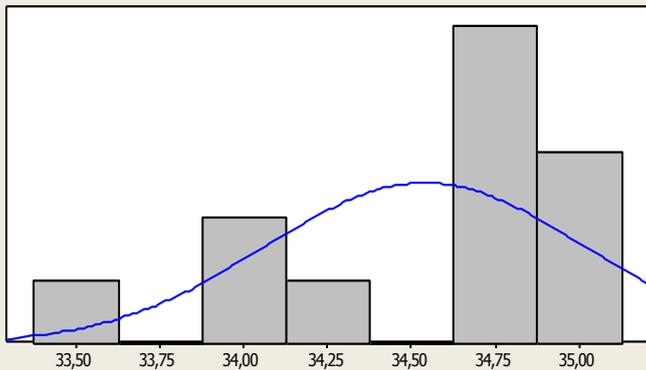
95% Confidence Interval for StDev
1198,8 2873,2

Apêndice I

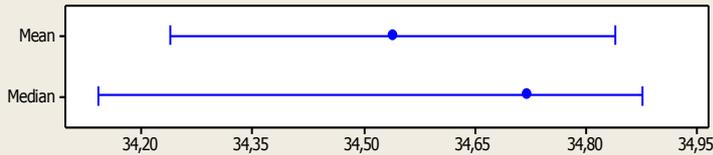
Estadística descriptiva por espécie Muirapiranga Descriptive Statistics muirapuranga: extrativo; celulose; lignina; cinzas.



MUIRAPIRANGA Summary for lignina



95% Confidence Intervals



Anderson-Darling Normality Test

A-Squared 0,76
P-Value 0,035

Mean 34,538
StDev 0,473
Variance 0,224
Skewness -1,22828
Kurtosis 0,79424
N 12

Minimum 33,470
1st Quartile 34,138
Median 34,720
3rd Quartile 34,875
Maximum 35,000

95% Confidence Interval for Mean

34,238 34,839

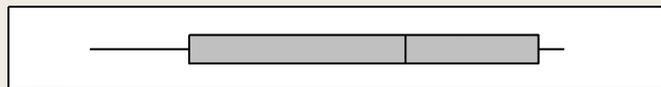
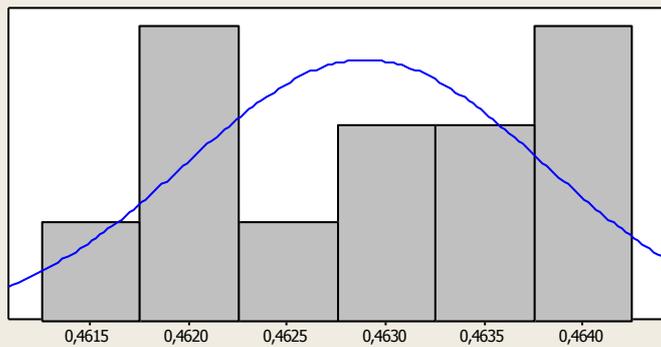
95% Confidence Interval for Median

34,140 34,875

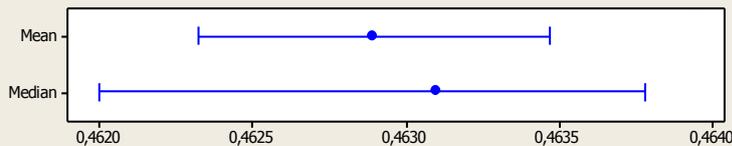
95% Confidence Interval for StDev

0,335 0,803

MUIRAPIRANGA Summary for cinzas



95% Confidence Intervals



Anderson-Darling Normality Test

A-Squared 0,55
P-Value 0,122

Mean 0,46289
StDev 0,00090
Variance 0,00000
Skewness -0,28978
Kurtosis -1,69660
N 12

Minimum 0,46150
1st Quartile 0,46200
Median 0,46310
3rd Quartile 0,46378
Maximum 0,46390

95% Confidence Interval for Mean

0,46232 0,46346

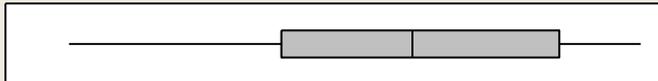
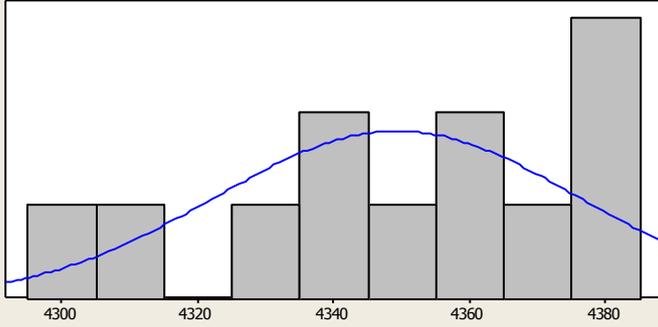
95% Confidence Interval for Median

0,46200 0,46377

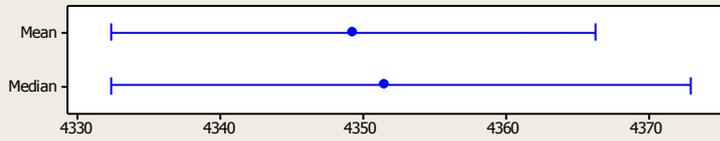
95% Confidence Interval for StDev

0,00064 0,00153

Summary for poder calorifico



95% Confidence Intervals



Anderson-Darling Normality Test

A-Squared	0,18
P-Value	0,885

Mean	4349,3
StDev	26,7
Variance	714,2
Skewness	-0,440685
Kurtosis	-0,552995
N	12

Minimum	4301,0
1st Quartile	4332,3
Median	4351,5
3rd Quartile	4373,0
Maximum	4385,0

95% Confidence Interval for Mean	
4332,3	4366,2
95% Confidence Interval for Median	
4332,3	4372,9
95% Confidence Interval for StDev	
18,9	45,4