

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL**

**CARACTERIZAÇÃO DE *Bambusa vulgaris* Schard. ex J.C. Wendl. var. *vulgaris*, E
DOS RESÍDUOS DE CALDEIRA NO PROCESSO DE CONVERSÃO TÉRMICA
DE ENERGIA**

ALESSANDRO CÉZAR DE OLIVEIRA MOREIRA

ORIENTADOR: AILTON TEIXEIRA DO VALE

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS

PUBLICAÇÃO: PPGEFL.DM – 188/2012

BRASÍLIA DF

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS

CARACTERIZAÇÃO DE *Bambusa vulgaris* Schard. ex J.C. Wendl. var. *vulgaris*, E DOS RESÍDUOS DE CALDEIRA NO PROCESSO DE CONVERSÃO TÉRMICA DE ENERGIA

ALESSANDRO CÉZAR DE OLIVEIRA MOREIRA

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO SUBMETIDA AO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS, DO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL, DA FACULDADE DE TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA, COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE.

APROVADA POR:

**Prof. Dr. Ailton Teixeira do Vale (Departamento de Engenharia Florestal, UnB)
(Orientador)**

**Prof. Dr. Marcos Antonio Eduardo Santana (Serviço Florestal Brasileiro, SFB)
(Examinador Externo)**

**Prof. Dr. Dimas Agostinho da Silva (Universidade Federal do Paraná, UFPR)
(Examinador Externo)**

**Prof. Dr. Joaquim Carlos Gonzalez (Departamento de Engenharia Florestal, UnB)
(Examinador Suplente)**

Brasília, 12 de dezembro de 2012

FICHA CATALOGRÁFICA

MOREIRA, ALESSANDRO CÉZAR DE OLIVEIRA MOREIRA

Caracterização de *Bambusa vulgaris* Schard. ex J.C. Wendl. var. *vulgaris*, e dos Resíduos de Caldeira no Processo de Conversão Térmica de Energia [Distrito Federal] 2012.

xi, 61p., 210 x 297 mm (EFL/FT/UnB, Mestre, Dissertação de Mestrado – Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia.

Departamento de Engenharia Florestal

1. Energia renovável

2. Idade de corte, Densidade energética

3. Biomassa, *Bambusa vulgaris*

4. Aproveitamento de cinzas

I. EFL/FT/UnB

II. Título (série)

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

MOREIRA, A.C.O. (2012). Caracterização de *Bambusa vulgaris* Schard. ex J.C. Wendl. var. *vulgaris*, e dos Resíduos de Caldeira no Processo de Conversão Térmica de Energia. Dissertação de Mestrado em Ciências Florestais, Publicação PPGEFL.DM-188/2012, Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 72p.

CESSÃO DE DIREITOS

AUTOR: Alessandro César de Oliveira Moreira

TÍTULO: Caracterização de *Bambusa vulgaris* Schard. ex J.C. Wendl. var. *vulgaris*, e dos Resíduos de Caldeira no Processo de Conversão Térmica de Energia.

GRAU: Mestre

ANO: 2012

É concedida à Universidade de Brasília-UnB permissão para reproduzir cópias desta dissertação de mestrado e para emprestar ou vender tais cópias, com o propósito exclusivamente acadêmico e/ou científico. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte dessa dissertação de mestrado pode ser reproduzida sem autorização por escrito do autor.

Alessandro César de Oliveira Moreira
Quadra 02 Conjunto B-06 Casa 38 – Sobradinho
73.015-206 Brasília – DF – Brasil.

AGRADECIMENTOS

Agradeço especialmente à minha esposa Andreia Couto Ribeiro, aos meus filhos Jaqueline Couto Moreira e Caio Couto Moreira, pelo companheirismo, amor, incentivo, paciência e compreensão.

Aos meus pais Sebastião (Japy) e Laurecy, meus irmãos, Angela, Célio, Júnior e Paula, pela força e incentivo.

Ao meu orientador Professor Dr. Ailton Teixeira do Vale, pela confiança e ensinamentos oferecidos.

Ao Eng^o Daniel Lucon Júnior, responsável pela empresa Penha Papeis e Embalagens de Santo Amaro-BA, pela disponibilização do material para esta pesquisa e ao Eng^o Matheus Lisboa Machado pelo apoio logístico na coleta dos materiais deste estudo.

Ao meu co-orientador Dr. Waldir Ferreira Quirino, ao Dr. Patrick Rousset, Ms. Thiago Rodrigues, Eng^a Lucélia Macedo, Dr. Paulo Fontes e Guilherme Neves, que além colegas de trabalho, foram de vital importância nesta conquista, com contribuições essenciais na realização deste trabalho.

Ao Professor Floriano Pastore pelo apoio e confiança.

Aos amigos da Área de Química do LPF, Marcos Santana, Anne, Tereza Pastore, Lopes, Lula, Pedro Paulo e Eliete, pela grande ajuda.

Aos demais amigos do LPF, Mario Rabelo, Mário Siqueira, Roberto Leconte, João, Vera Coradin, Luiz Fernando, José Arlete, Silvana, Ana Azevedo, Marcia Helena, Varlone, Divino Eterno, Greg, Serjão, Ricardinho, Jonas, Julhinho, Hugulino, Sergio Almeida, Fernando Gouveia, Marias Helenas, Pádua, Fernando Ananias, Romário, Getúlio, Dionísio, Dhébora e Luis Cláudio, pelo apoio.

A Larissa Douto, pela ajuda na coleta e cessão de dados. Aos colegas da pós-graduação e aos professores da pós, pela troca de experiências e ensinamentos.

À FUNTEC, pelo apoio na realização de análise em laboratório externo, em especial ao Ângelo e à Graça.

Aos meus amigos, João Paulo Sotero, Erismar Novaes (Baiano), João Bosco Monteiro de Souza (Bosco) e José Carlos Matte (Carlinhos), meus irmãos de vida e de boemia, pela compreensão nos momentos de ausência, que prometo me redimir.

Sobretudo a Deus.

RESUMO

CARACTERIZAÇÃO DE *Bambusa vulgaris* Schard. ex J.C. Wendl. var. *vulgaris*, E DOS RESÍDUOS DE CALDEIRA NO PROCESSO DE CONVERSÃO TÉRMICA DE ENERGIA

Autor: Alessandro César de Oliveira Moreira

Orientador: Ailton Teixeira do Vale

Programa de Pós-graduação em Ciências Florestais

Brasília, mês de dezembro de 2012

O Brasil tem experimentado um franco desenvolvimento e conseqüentemente um aumento no consumo energético. A biomassa se apresenta como uma excelente fonte energética. A madeira como um dos componentes da matriz energética brasileira é originária de plantios, principalmente de eucaliptos e de matas nativas, principalmente cerrado e caatinga, que ao longo das últimas décadas têm sofrido uma exploração predatória. Para minimizar a pressão sobre os remanescentes nativos, biomassas alternativas têm sido estudadas para fins energéticos. Dentre estas, o bambu se apresenta como uma fonte de biomassa energética com grande potencial, uma vez que o seu crescimento é bastante acelerado, com brotação anual espontânea e pode ser cortado aos 3 anos de idade. O estudo das características energéticas e químicas do *Bambusa vulgaris*, que é o foco desse estudo, visa avaliar as características relevantes para o uso eficiente e pleno dessa biomassa. Neste sentido foram analisados componentes químicos (lignina, holocelulose e extrativos), a análise imediata, o poder calorífico superior, a densidade básica e a densidade energética. Os colmos de bambu para o estudo foram coletados em uma empresa do nordeste brasileiro de reciclagem de papelão e embalagens, que utiliza o *Bambusa vulgaris* como fonte primária de energia em suas caldeiras. Os teores médios de cinzas para as idades de 1, 2 e 3 anos foram respectivamente 2,26%, 2,83% e 7,46%. O poder calorífico superior médio foram de 18610 kJ/kg, 18621 kJ/kg e 17501 kJ/kg, para 1, 2 e 3 anos respectivamente. As análises dos resíduos produzidos pela empresa mostram que os mesmos possuem boas características de utilização, tanto para uso energético como em processos industriais.

ABSTRACT

USE OF BAMBOO SPECIES *Bambusa vulgaris* Schard. ex J.C. Wendl., AS A SOURCE OF BIOMASS TO ENERGY PRODUCTION AND UTILIZATION OF ASHES IN INDUSTRIAL PROCESSES

Author: Alessandro César de Oliveira Moreira

Supervisor: Ailton Teixeira do Vale

Postgraduate Programme in Forest Sciences

Brasília month of december (2012)

Brazil has experienced an exponential growth and consequently an increase in energy consumption. Biomass is presented as an excellent energy source. Wood as a component of the Brazilian energy matrix, is sourced from plantations, mainly eucalyptus and native forests, mainly cerrado and caatinga, which over the decades have suffered a predatory exploitation. To minimize the pressure on the remaining native alternatives have been studied biomass for energy purposes. Among these, the bamboo presents itself as a source of biomass energy with great potential, since their growth is greatly accelerated with yearly spontaneous sprouting and can be cut to 3 years old. The study of energy and chemical characteristics of *Bambusa vulgaris*, which is the focus of this study is to evaluate the characteristics relevant to the full and efficient use of biomass. We investigate chemical components (lignin, holocellulose and extractives), instant analysis, the gross calorific value, basic density and energy density. The culms of bamboo for the study were collected in a northeastern Brazilian company to recycle paperboard and packaging, which uses *Bambusa vulgaris* as a primary energy source in their boilers. The concentration of ash for ages 1, 2 and 3 years were 2.26%, 2.83% and 7.46%. The average calorific value were 18610 kJ/kg, 18621 kJ/kg and 17501 kJ/kg, for 1, 2 and 3 years old respectively. The analyzes of the waste produced by the company show that they possess good characteristics for use, either for use as energy and in industrial processes.

SUMÁRIO

ÍNDICE DE TABELAS	ix
ÍNDICE DE FIGURAS	x
1 INTRODUÇÃO	1
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
2.1 Generalidades sobre o bambu	3
2.1.1 Estruturas anatômicas dos bambus entouceirantes	5
2.2 Biomassa lignocelulósica.....	7
2.2.1 Celulose	8
2.2.2 Hemicelulose	9
2.2.3 Lignina	10
2.2.4 Componentes acidentais dos materiais lignocelulósicos	12
2.3 Características Energéticas da Biomassa.....	13
2.3.1 Formação da biomassa vegetal	13
2.3.2 Poder Calorífico	13
2.4 Caldeira para Biomassa	14
2.5 Análise Química de materiais lignocelulósicos	17
3 MATERIAIS E MÉTODOS	18
3.1 Escolha da espécie de Bambu	18
3.2 Coleta do material	18
3.2.1 Teste físico não destrutivo	19
3.2.2 Cálculo das velocidades de propagação das ondas de tensão através dos colmos do <i>Bambusa vulgaris</i>	20
3.3 Segmentação dos colmos coletados	21
3.3.1 Preparação das amostras para análises.....	21
3.4 Análise Imediata	22
3.4.1 Teor de Voláteis.....	23
3.4.2 Teor de Cinzas	23
3.4.3 Teor de Carbono Fixo	24
3.5 Constituintes químicos.....	24
3.5.1 Teor de Extrativos.....	24

3.5.2	Teor de Cinzas sem extrativos	26
3.5.3	Teor de Lignina.....	27
➤	Teor de Lignina Solúvel	29
➤	Teor de Lignina Total	30
3.5.4	Teor de Holocelulose	31
3.6	Densidade básica.....	31
3.7	Poder Calorífico	32
3.8	Densidade energética	32
3.9	Resíduos da caldeira	33
3.9.1	Ensaio calorimétrico e análise imediata dos resíduos da caldeira	33
3.9.2	Determinação da composição química dos resíduos da grelha vibratória - RGV	33
3.10	Análise estatística	33
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	34
4.1	Teste físico não destrutivo com aparelho de stress wave	34
4.2	Análise imediata	34
4.2.1	Teor de voláteis.....	35
4.2.2	Teor de cinzas	37
4.2.3	Teor de carbono fixo.....	38
4.3	Constituintes químicos do <i>Bambusa vulgaris</i>	40
4.3.1	Teor de Lignina.....	40
4.3.2	Teor de Holocelulose	42
4.3.3	Teor de extrativos (etanol:tolueno).....	43
4.4	Densidade e Poder calorífico	45
4.4.1	Densidades básicas	45
4.4.2	Poder calorífico superior.....	47
4.4.3	Densidade energética	48
4.5	Resíduos da caldeira	50
4.5.1	Resíduos do sistema de ciclone.....	50
4.5.2	Resíduos da grelha vibratória.....	51
5	CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS	53
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	56

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1- Composição química média das madeiras de coníferas e folhosas e do lenho do <i>Bambusa vulgaris</i> (Klock et al., 2005; Tamolang et al., 1980).....	7
Tabela 2 - Velocidades médias de propagação das ondas de tensão para touceiras de 1, 2 e 3 anos - Teste de tukey para as médias.....	34
Tabela 3 - Valores médios para análise imediata com teste de média (Tukey), em função da posição axial e em função da idade nos colmos de <i>Bambusa vulgaris</i>	35
Tabela 4 - Valores médios para os constituintes químicos com teste de média (Tukey), em função da posição axial e em função da idade nos colmos de <i>Bambusa vulgaris</i>	40
Tabela 5 - Valores médios para os valores da densidade básica, poder calorífico superior e densidade energética, com teste de média (Tukey), em função da posição axial e em função da idade nos colmos de <i>Bambusa vulgaris</i>	45
Tabela 6 - Comparação dos Resíduos do Sistema de Ciclone, com carvão de <i>Bambusa vulgaris</i> e bambu <i>in natura</i>	50
Tabela 7 - Comparação de composição de cinzas de bambu e de cinzas de casca de arroz	51

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Tipos de rizomas de bambus, com adaptações (Silva, 2005)	4
Figura 2 - Parte aérea e subterrânea de bambus entouceirantes (Silva, 2005)	5
Figura 3 - Imagens obtidas pelo microscópio óptico de seção transversal de um feixe fibrovascular (Marinho, 2012).....	6
Figura 4 - Comportamento típico na brotação de bambus entouceirantes, com adaptações (Silva, 2005)	7
Figura 5 - Estrutura básica da celulose (Klock et al., 2005).....	8
Figura 6 - Interações intermolecular e intramolecular da celulose (http://www.carbolea.ul.ie/composition.html ,2012).....	9
Figura 7 - Estruturas básicas formadoras das hemiceluloses (Rowell et al., 2005)	10
Figura 8 – Monômeros percussores da lignina – Guaiacil (G), Sirigil (S) e p-Hidroxifenil (H) (Sjöström, 1981)	11
Figura 9 - Sistemas de combustão utilizados para biomassa (Nogueira e Lora, 2003).....	15
Figura 10 – Esquema de caldeira flamotubular à biomassa (Nogueira & Lora, 2003 - com adaptações)	16
Figura 11 - esquema de caldeira aquatubular (Nogueira & Lora, 2003).....	16
Figura 12 - Mosaico com fotos das coletas de colmos de bambus em áreas de 1 e 2 anos (Douto, 2011)	18
Figura 13 - Mosaico da coleta de colmos de bambu em área com touceiras de 3 (três) anos (Moreira, 2011).....	19
Figura 14 - A direita esquema do posicionamento do aparelho de Stress Wave, no colmo e a esquerda esquema da propagação das ondas de tensão (Moreira, 2011).....	20
Figura 15 - Etapas de preparação das amostras (Moreira, 2012)	22
Figura 16- Baterias de extratores Soxhlet (Foto: Marcela Amorim, 2012).....	25
Figura 17 - Etapas da separação da lignina. A foto 1 mostra a hidrólise ácida a 72% de H ₂ SO ₄ . A foto 2 mostra os frasco para autoclavagem com H ₂ SO ₄ a 4%. A foto 3 mostra a filtragem da lignina após processo de autoclave (fotos do autor, 2012).....	28
Figura 18 - Espectrofotômetro 700 Plus, marca FEMTO (Moreira, 2012).....	30

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Média dos teores de voláteis (%), em função da idade e da posição axial do bambu	36
Gráfico 2 - Média dos teores de cinzas (%), em função da idade e da posição axial do bambu	38
Gráfico 3 - Média dos teores de carbono fixo (%), em função da idade e da posição axial do bambu	39
Gráfico 4 – Médias dos teores de lignina total, em função da idade e da posição axial do bambu	41
Gráfico 5 – Médias dos teores de holocelulose, em função da idade e da posição axial do bambu	43
Gráfico 6 – Médias dos teores de extrativos em etanol:tolueno, em função da idade e da posição axial do bambu	44
Gráfico 7 – Médias da Densidade básica, em função da idade e da posição axial do bambu	46
Gráfico 8 – Médias do poder calorífico superior, em função da idade e da posição axial do bambu	48
Gráfico 9 – Médias da Densidade energética, em função da idade e da posição axial do bambu	49

1 INTRODUÇÃO

O Brasil apresentou na última década um franco desenvolvimento econômico e como consequência, aumento no consumo energético, tanto de combustíveis fósseis quanto renováveis. Uma das principais energias primárias renováveis consumidas no país é a hidráulica, cujas questões ambientais têm dificultado a implantação de novas unidades de geração, neste sentido, para acompanhar o ritmo de crescimento imposto, a biomassa apresenta-se como um valioso recurso energético e tem despertado o interesse dos países desenvolvidos e em desenvolvimento.

Entretanto, não se pode permitir que a necessidade de energia crie uma pressão sobre as matas nativas, já bastante exploradas ao longo dos séculos, desta forma, iniciativas no sentido da produção de biomassa plantada é sempre bem vinda, como as florestas de eucalipto para produção de carvão vegetal.

Além da madeira, outras biomassas alternativas com potencial para geração de energia, tais como os resíduos agrícolas e as gramíneas, tem sido utilizadas e são foco de estudos na substituição dos combustíveis fósseis e do gás natural. A madeira, recurso renovável é a principal fonte primária de energia nas caldeiras de várias indústrias. Dentre estes combustíveis alternativos estão os bambus de espécies lenhosas, cuja elevada taxa de crescimento e produção acelerada de biomassa o coloca em posição de destaque.

No entanto o pouco conhecimento científico desta gramínea e a falta de fornecedores de mudas em escala comercial tem restringindo o pleno desenvolvimento da cultura (Espelho, 2007).

No entanto, empresas como a Penha Papeis e Celuloses de Santo Amaro – BA utiliza a espécie *Bambusa vulgaris* Schard. Ex J.C. Wendl. var. *vulgaris* (*Bambusa vulgaris*), como insumo energético na produção de vapor, objetivando a reciclagem de papelão. Para tanto, esta empresa dispõe de mais de 2000 hectares plantados desta espécie, onde 70ha/mês são

cortados e reduzidos a cavacos, com um rendimento de 200m³/ha, secados em grandes pátios para uma posterior queima direta em caldeira, o que torna a empresa auto-suficiente em energia para a geração de vapor.

A utilização do bambu como insumo energético produz grande quantidade de cinzas, obrigando a utilização de caldeiras rotativas, pois a cinza, dentro da caldeira, tende a sofrer um processo de sinterização, criando uma crosta, que isola a parede da caldeira tornando-a menos eficiente na transferência térmica. A geração de cinzas no processo de queima desta biomassa em especial, é consideravelmente elevada se comparada com outras biomassas que não sejam gramíneas. Conforme Brito et al. (1987), que comparando o teor de cinzas de *Bambusa vulgaris* com *Eucalyptus urophylla* (hibr.), encontraram um teor 7 (sete) vezes maior para o bambu.

Existem diversos estudos visando o aproveitamento das cinzas de cascas de arroz em várias aplicações industriais, como a incorporação em cimentos de grande resistência, ou cimentos pozolânicos (Cordeiro, 2009); na preparação de carbetos de silício- SiC, Produção de sílica pura, utilização como carga de polímeros; uso das cinzas como adsorvente, etc (Foletto et al., 2005). Tais estudos podem ser extrapolados para as cinzas de bambus, agregando valor a esse passivo ambiental.

O presente trabalho tem como objetivo geral a caracterização de *Bambusa vulgaris* Schard. ex. J.C. Wendl. var. *vulgaris* (*Bambusa vulgaris*) para uso como fonte energética e como objetivos específicos: caracterização química quanto aos teores de Lignina, Holocelulose e Extrativos; a análise imediata; Caracterização calorimétrica; caracterização dos resíduos de caldeira para usos diversos.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Foi sancionada em 08 de setembro de 2011 a Lei 12.484, que institui a Política Nacional de Incentivo ao Manejo Sustentado e ao Cultivo do Bambu - PNMCB, que tem por objetivo o desenvolvimento da cultura do bambu no Brasil por meio de ações governamentais e de empreendimentos privados. Esta lei ainda não está clara, no que se refere ao uso do bambu como fonte de geração de energia, mas coloca o bambu como uma cultura importante para o desenvolvimento econômico e social do país.

2.1 Generalidades sobre o bambu

Segundo Oliveira et al.(2008), a denominação bambu está relacionada a um conjunto de plantas pertencentes à família Poaceae, cuja subfamília é a Bambusoideae. Os bambus são gramíneas assim como a cana de açúcar, o trigo, o milho, sorgo, dentre outros.

Os bambus são divididos em herbáceos e lenhosos e estão distribuídos entre a faixa de 46° Norte e 47° Sul de latitude, contudo a maior abundância dessa gramínea está na Ásia, principalmente na Índia, China, Japão Coréia, e a modificação na distribuição dos bambus pelo mundo se deve principalmente à intervenção humana (Lybeer, 2006).

Existem cerca de 1200 espécies de bambus herbáceos e lenhosos, onde 40% das espécies de bambus lenhosos, aproximadamente 320 espécies em 22 generos, encontram-se no continente americano, sendo o Brasil o país com a maior diversidade, reunindo 81% destes generos lenhosos. As espécies exóticas mais comuns no Brasil são: *Bambusa vulgaris*, *Bambusa vulgaris var. vittata*, *Bambusa tuldoides*, *Dendrocalamus giganteus*, todas estas de origem asiática trazidas pelos colonizadores portugueses e posteriormente pelos orientais (Silva, 2005)

Os bambus ocorrem naturalmente em todos os continentes, exceto na Europa, sendo uma matéria prima muito consumida nos países da Ásia. No Brasil a espécie introduzida mais explorada comercialmente é o *Bambusa vulgaris*, sendo o nordeste do Brasil o principal

consumidor desta espécie, onde a área ocupada está entre 35.000 a 40.000ha para a produção de celulose de fibra longa. Os colmos de bambu são utilizados também, como eficiente agente de controle de erosão em solos declivosos no meio rural (Tomazello Filho & Azzini, 1987).

Segundo Lybeer (2006), os bambus possuem uma estrutura vegetativa muito simples que consiste de um sistema que pode ser diferenciado como rizomas, colmos consistindo uma série de nós, entrenós e ramos laterais. Os rizomas e colmos tem uma vida útil limitada comparativamente com a idade da planta de bambu, pois esses são constantemente substituídos por novos.

Basicamente existem dois grupos distintos de bambus quanto ao tipo de rizoma: os entouceirantes “simpodiais” e os alastrantes “monopodiais” (Figura 1).

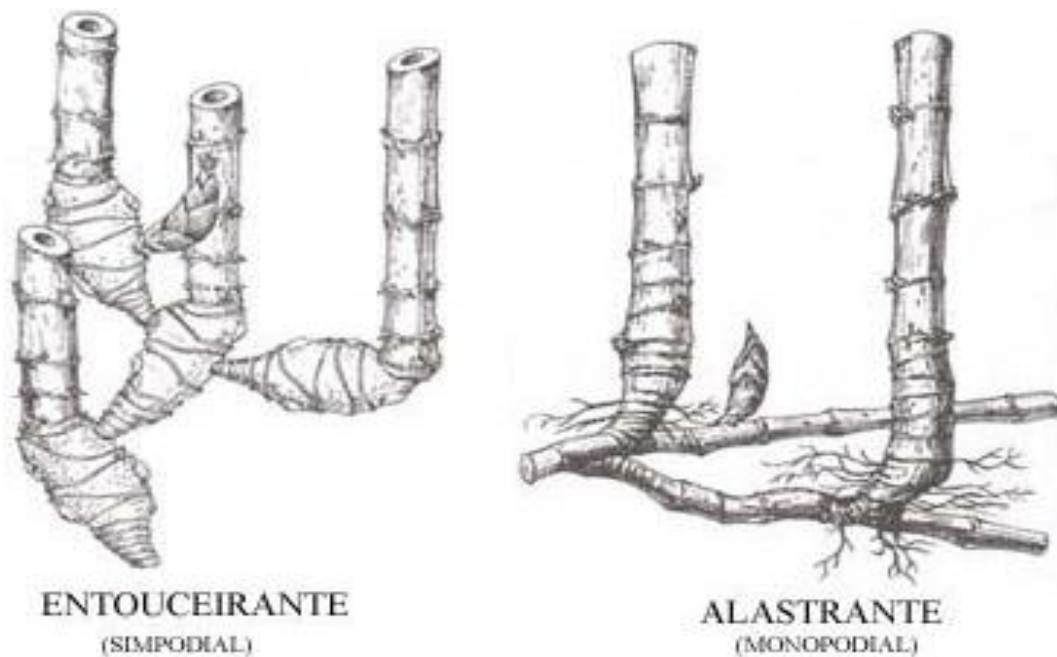


Figura 1 - Tipos de rizomas de bambus, com adaptações (Silva, 2005)

Os bambus alastrantes são leptomorfos (monopodial), resistentes ao frio, possui comportamento invasor e tem origem na China, tendo o gênero *Phyllostachys* como um dos seus principais representantes. Os bambus entouceirantes são paquimorfos (simpodial), tendo como principais representantes exóticos no Brasil os gêneros *Bambusa* e *Dendrocalamus*. A

grande maioria destes bambus se desenvolve melhor em climas tropicais, apresentando um crescimento mais lento em temperaturas baixas (Silva, 2005).

2.1.1 Estruturas anatômicas dos bambus entouceirantes

Os bambus entouceirantes possuem duas partes distintas, a parte aérea (colmo) e a subterrânea (rizoma). A parte aérea é constituída pelo colmo (Entrenós e nós), ramos laterais e folhas . A parte subterrânea é composta do rizoma, gema e raiz, conforme ilustra a Figura 2.

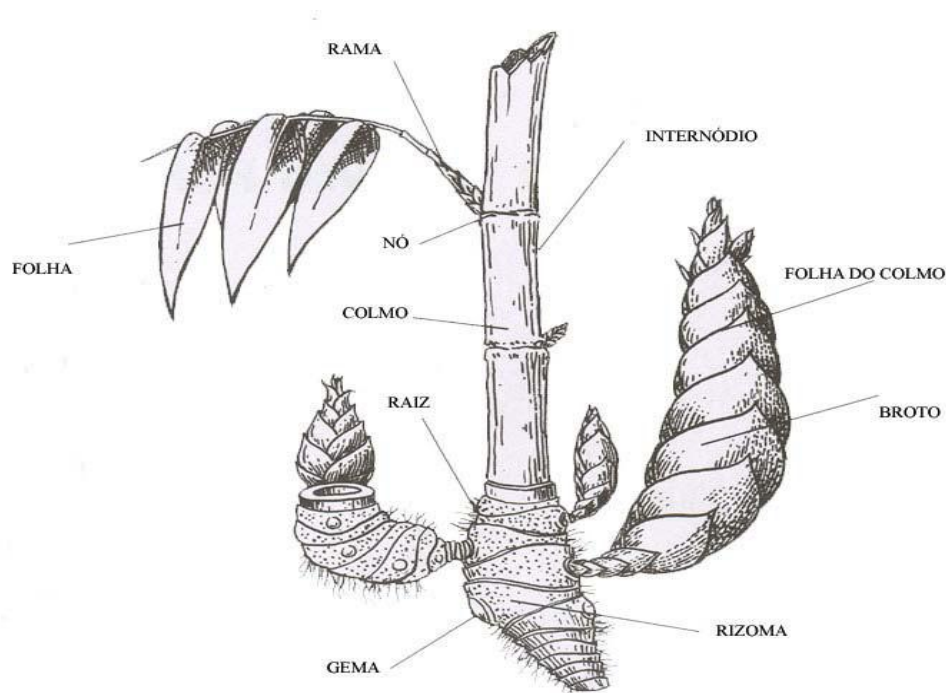


Figura 2 - Parte aérea e subterrânea de bambus entouceirantes (Silva, 2005)

O colmo tem origem na gema e não apresentam crescimento radial, ou seja, eles já nascem com seu diâmetro máximo de base e cresce se afinando, ficando com um aspecto cônico. Os mesmos são segmentados por nós que possuem uma fina parede interna chamada de diafragma. Os espaços existentes entre dois nós são chamados de entrenós e são geralmente ocos (Silva, 2005)

Os colmos, como as folhas, são capazes de realizar a fotossíntese, mas suas principais funções são: de estruturar a parte aérea, armazenar e conduzir a seiva bruta e elaborada. Para tanto, possuem células que se alinham no sentido axial e que são protegidas por feixes de fibras que promovem a sua rigidez, conforme ilustra a Figura 3.

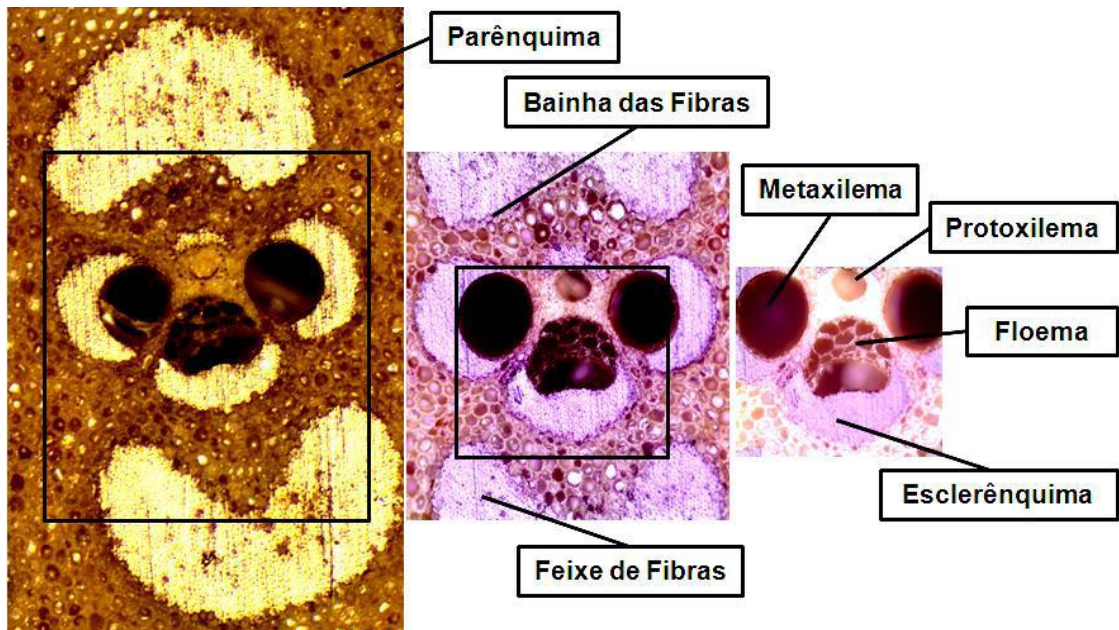


Figura 3 - Imagens obtidas pelo microscópio óptico de seção transversal de um feixe fibrovascular (Marinho, 2012)

Segundo Silva (2005), o rizoma é um caule subterrâneo que possui nós e entrenós, onde as folhas foram reduzidas a escamas, tendo seu desenvolvimento paralelamente à superfície do solo. As gemas apicais do rizoma podem dar origem a um novo colmo e por consequência cada rizoma emitirá no máximo um colmo. Este processo prossegue de tal maneira que os rizomas se desenvolvem formando uma touceira densa e concêntrica. A Figura 4 ilustra a formação de uma touceira ao longo dos anos.

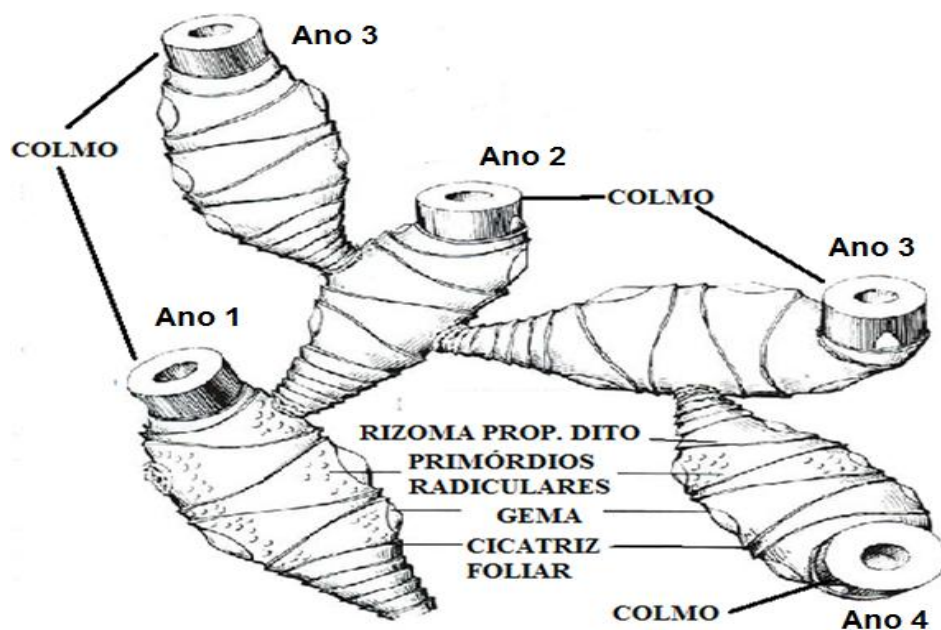


Figura 4 - Comportamento típico na brotação de bambus entouceirantes, com adaptações (Silva, 2005)

2.2 Biomassa lignocelulósica

Os materiais lignocelulósicos como a madeira e o bambu, são compostos basicamente de macromoléculas (compostas pela celulose, hemicelulose e lignina), moléculas de baixo peso molecular onde os extrativos presentes no material são os representantes, e a parte inorgânica composta de sais, óxidos e íons metálicos, onde estes últimos são contabilizados como cinzas. A composição química média da madeira de folhosas, assim como do lenho do *Bambusa vulgaris* é descrita na Tabela 1.

Tabela 1- Composição química média das madeiras de coníferas e folhosas e do lenho do *Bambusa vulgaris* (Klock et al., 2005; Tamolang et al., 1980)

Constituinte	Coníferas	Folhosas	<i>Bambusa vulgaris</i> *
Celulose	42 %	45 %	45 %
Polioses	27 %	30 %	21 %
Lignina	28 %	20 %	27 %
Extrativos	5 %	3 %	5 %

* Tamolang et al., 1980

2.2.1 Celulose

A celulose é o principal componente da parede celular dos vegetais (Morrison & Boyd, 1994), constitui quase a metade da massa dos materiais lignocelulósicos e é a molécula orgânica mais abundante da terra. É um polissacarídeo de cadeia linear composta exclusivamente de monômeros de glicose, grande o suficiente para ser insolúvel em água, solventes orgânicos, soluções ácidas e alcalinas em temperatura ambiente.

A sua biossíntese envolve várias etapas, onde a primeira é a produção de glicose pela planta através da fotossíntese, sendo sintetizada a partir do encadeamento enzimático da glicose (Lehninger, 1985).

Os grupos funcionais da celulose são: um grupo hidroxila primário por unidade de glicose (carbono 6); dois grupos hidroxilas secundários por unidade de glicose (carbonos 2 e 3) e dois grupos terminais um redutor e outro não redutor por unidade de celulose.

A celubiose é a unidade de repetição da celulose e é formada por duas unidades de D-glicose com a perda de uma molécula de água. Desta forma pode-se afirmar que a celulose é formada por unidades de anidro-glucopiranoses. A figura 5 ilustra esquematicamente a estrutura da celulose (Fengel & Wegener, 1983).

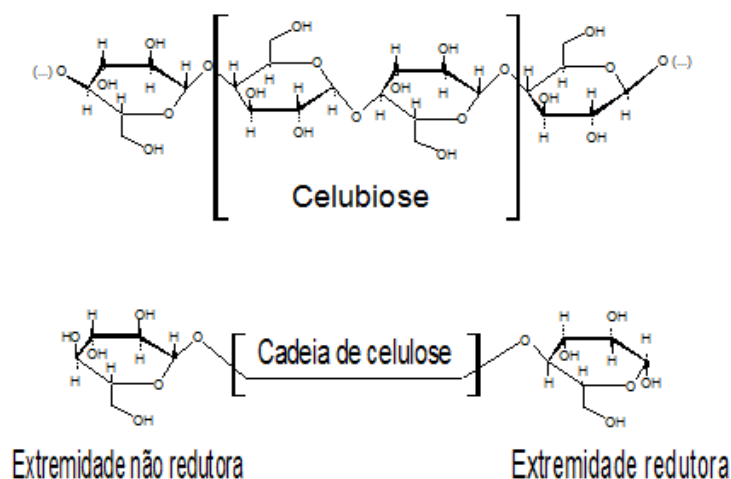


Figura 5 - Estrutura básica da celulose (Fengel & Wegener, 1983)

Ligações de hidrogênio são favorecidas na celulose uma vez que as hidroxilas estão abundantemente presentes na sua estrutura, favorecendo as ligações inter e intramoleculares, o que confere uma forte coesão entre as moléculas. As regiões de celuloses cristalinas, que corresponde a cerca de 70 % da celulose presente na madeira, possuem fortes ligações de hidrogênio, dificultando a solubilização em reações, já as regiões de celuloses amorfas por serem fracamente ligadas por ligações de hidrogênio, são altamente reativas e acessíveis a solventes. A figura 6 ilustra as interações inter e intramolecular da celulose. (Klock et al., 2005)

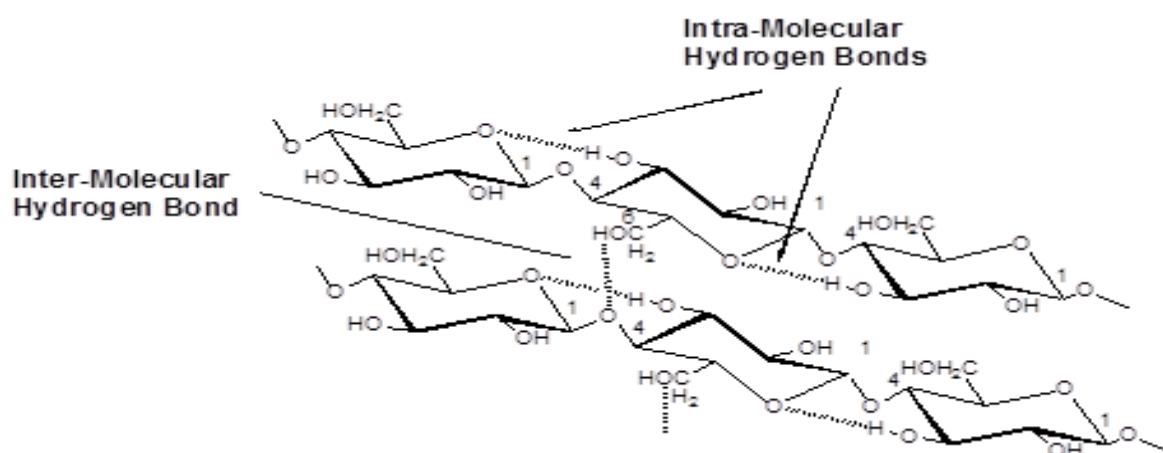


Figura 6 - Interações intermolecular e intramolecular da celulose
(<http://www.carbolea.ul.ie/composition.html>,2012)

2.2.2 Hemicelulose

Originalmente acreditava-se que as hemiceluloses eram resultado de fases intermediárias da biossíntese da celulose, contudo, hoje sabe-se que elas são formadas por rotas de biossíntese diferentes da celulose (Sjöström, 1981).

As hemiceluloses estão intimamente associados com a celulose na parede celular e são formadas basicamente por cinco açúcares: β -D-Glucose, β -D-Manose, β -D-galactose, β -D-Xilose e α -L-Arabinose, onde os três primeiros são hexoses e os dois últimos são pentoses, algumas hemiceluloses possuem também ácidos urônicos (Klock et al., 2005), de todas as

estruturas citadas, apenas a α -L-Arabinose é uma furanose, os demais são piranoses, conforme ilustra a figura 7

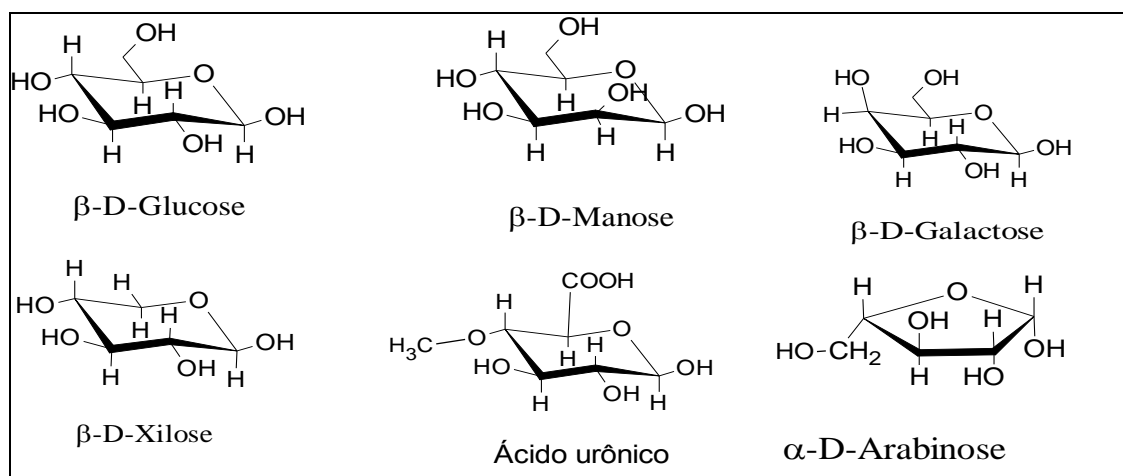


Figura 7 - Estruturas básicas formadoras das hemiceluloses (Rowell et al., 2005)

2.2.3 Lignina

Segundo Sjöström (1981), em 1838 Anselme Payen observou que ao tratar a madeira com ácido nítrico concentrado, esta perdia parte de sua substância, obtendo-se um material sólido e fibroso o qual ele chamou de celulose. O material dissolvido, que apresentava alto teor de carbono, foi chamado por F. Schulze em 1865 de lignina, que deriva da palavra em latim para madeira (*lignum*).

Ligninas são amorfas, altamente complexas, ligadas quimicamente às hemiceluloses, e, em alguns casos, formam um complexo lignina-carboidrato que são resistentes à hidrólise mesmo em condições de polpação. Não existem evidências de que a lignina se associe à celulose (Rowell et al., 2005). Estas são consideradas incrustantes, conferindo resistência mecânica às estruturas lignocelulósicas.

De acordo com Barbosa et al. (2008), a lignina é considerada o segundo mais importante componente da parede celular, com uma contribuição de 20 a 35% da biomassa vegetal, ela é formada por até três monômeros básicos, conforme Figura 8, o Álcool

Coniferílico ou Guaiacil (G), o Álcool Sinapílico ou Sirigil (S) e o Álcool *p*-coumarílico ou *p*-hidrofenila (H).

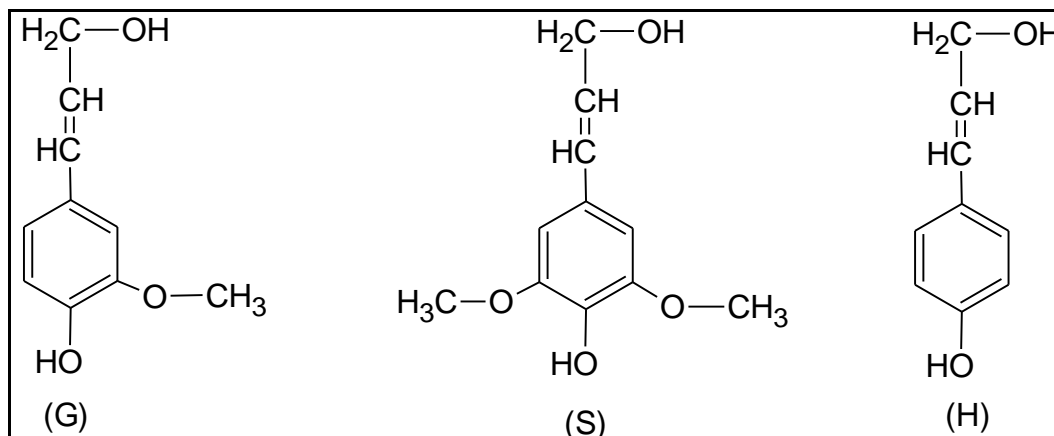


Figura 8 – Monômeros percussores da lignina – Guaiacil (G), Sirigil (S) e *p*-Hidroxifenil (H) (Sjöström, 1981)

Apesar da lignina ocorrer na maioria das plantas, a sua composição não é igual em todas elas, desta maneira, as ligninas de coníferas, folhosas e gramíneas possuem estruturas fundamentais (Monolignols) consideravelmente diferentes entre elas. Enquanto as coníferas possuem na composição da lignina, basicamente Guaiacil e *p*-Hidroxifenil [G-H], as folhosas possuem Guaiacil e Sirigil [G-S] e por fim as gramíneas como os bambus, possuem a formação da lignina envolvendo a polimerização dos três tipos de unidades monoméricas *p*-Hidroxifenil, Guaiacil e Sirigil [H-G-S] (Barbosa et al., 2008).

Existem várias maneiras de obtenção da lignina como resíduo sólido, a seguir são relacionados alguns tipos:

- Lignina Klason, é obtida partindo do resíduo lignocelulósico livre de extrativos, onde tal resíduo é tratado com ácido sulfúrico – H₂SO₄ a 72% (p/p) promove a dissolução dos polissacarídeos (hidrólise ácida);

- Lignina Willstatter, semelhante à lignina klason, contudo é usado o ácido clorídrico - HCl para a hidrólise dos polissacarídeos;
- Lignina CEL (Cellulolytic Enzyme Lignin), os polissacarídeos são removidos do material lignocelulósicos finamente moído por um processo enzimático. Tal processo é muito lento, mas preserva praticamente todas as características da lignina;
- Milled Wood Lignin (MWL), obtida através de processamento mecânico do material lignocelulósico em um moinho de bolas na presença de tolueno. Degrada-se a estrutura do material e recupera-se cerca de 50% da lignina contida no material.

Diferentemente da celulose, que é formada por todos os vegetais, a lignina só ocorre em plantas vasculares que desenvolvem tecidos especializados em transporte de soluções aquosas e suporte mecânico. As plantas primitivas tais como fungos e algas não possuem lignina (Klock et al., 2005).

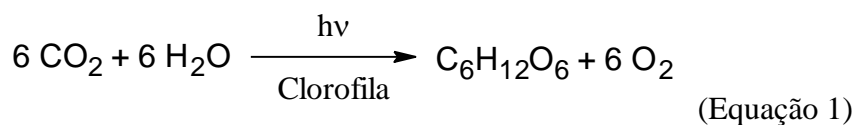
2.2.4 Componentes acidentais dos materiais lignocelulósicos

Os componentes acidentais são componentes não estruturais do material lignocelulósico. A maioria dos componentes acidentais podem ser solubilizados em solventes orgânicos neutros ou água, esses são chamados extrativos e geralmente conferem alguma característica ao material, seja resistência ao apodrecimento, sabor, cor, cheiro. Há também outros componentes acidentais tais como proteínas, materiais inorgânicos, ácidos e sais orgânicos, que são parcialmente insolúveis nos solventes usados para remover os extrativos. (Klock et al., 2005)

2.3 Características Energéticas da Biomassa

2.3.1 Formação da biomassa vegetal

A formação da biomassa se dá basicamente através da fotossíntese, onde o dióxido de carbono – CO₂ associado com a água – H₂O, na presença de energia luminosa e da clorofila é convertido em glicose, água e gás oxigênio O₂ (Lehninger, 1985), conforme Equação 1:



A energia acumulada neste processo e nos que o sucedem pode ser aproveitada, como fonte primária de energia pelos mais diversos tipos de organismos, assim como pela queima direta, onde o homem é o principal beneficiário. O cozimento de alimentos e aquecimento são os principais usos da queima da biomassa no planeta (Rodrigues, 2009). Segundo Rowell et al. (2005), a madeira é essencialmente composta de 50% de carbono, 6% de hidrogênio e 44% de oxigênio, além conter outros materiais inorgânicos. Considerando os bambus como materiais correlatos à madeira pode-se considerar tais valores como verdadeiros para este material.

2.3.2 Poder Calorífico

O poder calorífico de um combustível orgânico, segundo a Lei de Hess, é na verdade um balanço entre a energia absorvida para a quebra das ligações químicas do combustível e a energia liberada na formação de novas ligações químicas para a gênese de novas substâncias. Para qualquer combustão a energia absorvida na quebra das ligações dos reagentes é sempre menor que a energia liberada para a formação dos produtos, essa energia que sobra é liberada na forma de calor para o sistema ao qual estiver inserido (Castellan, 1986).

Como não se pode medir cada energia absorvida e liberada durante cada quebra e formação de novas ligações, o que se faz na prática é medir a energia excedente que é liberada para o sistema de forma indireta, através da variação de temperatura da água, pois se sabe que uma caloria é a quantidade de energia necessária para se elevar em 1°C, um grama de água, desta forma usa-se o calorímetro para se medir esse valor (Castellan, 1986).

Quando a combustão ocorre em um ambiente fechado a volume constante e a água gerada nesta combustão é condensada e seu calor é recuperado neste sistema, a medida da energia obtida nesta operação é chamada de poder calorífico superior – PCS, quando a combustão ocorre em ambiente aberto e a energia da condensação da água não é computada, a medida deste valor é chamada de poder calorífico inferior – PCI (Quirino et al., 2004).

2.4 Caldeira para Biomassa

Para que uma combustão seja mais eficiente, podem ser usados os mais diversos sistemas industriais, contudo dois modelos básicos se destacam; a queima da biomassa em deposição (em camadas sobre a grelha) e a fornalha de queima em suspensão (Lora & Zampieri, 2008).

O sistema de queima em camadas é representado por diversos tipos de fornalhas, (Nogueira & Lora, 2003):

- I - Fornalhas Celulares (estão em desuso pela baixa eficiência);
- II - Fornalhas com grelha estacionária, representadas pelos modelos Horizontais e Inclínadas;
- III – Fornalhas de grelhas rotativas;
- IV - Fornalhas de leito fluidizado circulante;

V - Fornalhas de queima em suspensão.

Na Figura 9, estão representados os cinco sistemas de combustão utilizados para biomassa:

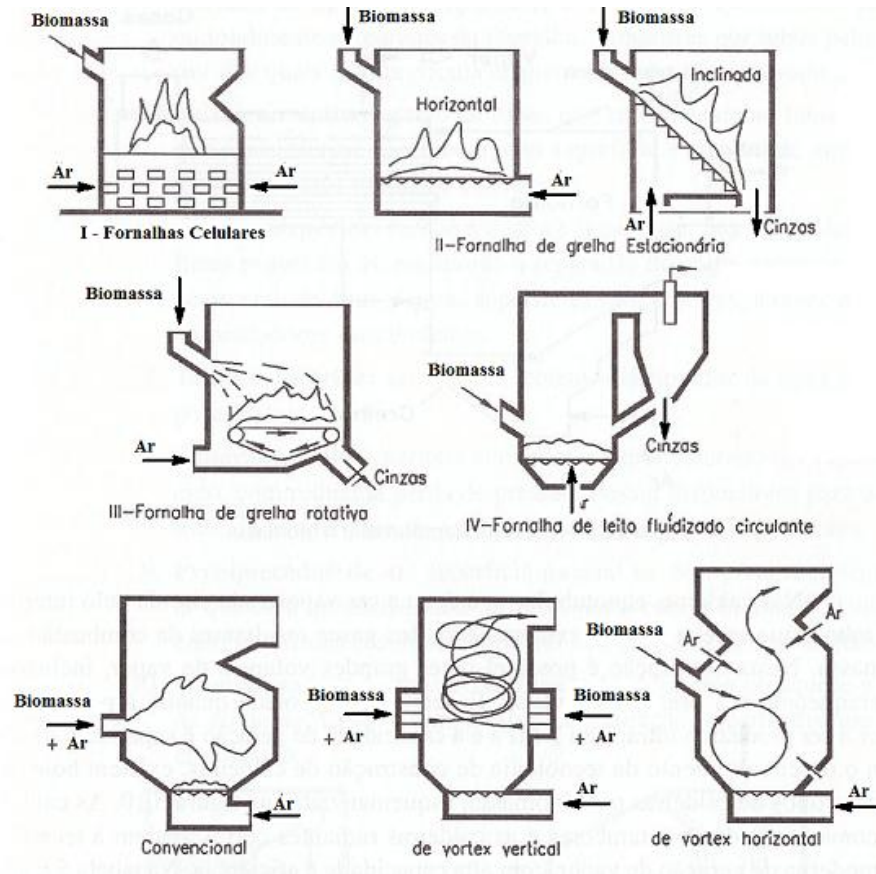


Figura 9 - Sistemas de combustão utilizados para biomassa (Nogueira e Lora, 2003)

Quanto ao tipo de caldeira à biomassa, têm-se as flamatubulares e aquatubulares, onde os gases aquecidos da combustão circula em tubos por dentro de um reservatório de água, cedendo energia térmica para a água. Neste tipo de caldeira, a capacidade de produção é limitada e a pressão máxima de vapor vai até 2,0MPa e capacidade de produção não ultrapassa 20t/h, é indicada para uso em pequenas e médias agroindústrias, que utilizam o vapor com fins de aquecimento. Na Figura 10 está representado um esquema de caldeira flamatubular à biomassa (Nogueira & Lora, 2003)

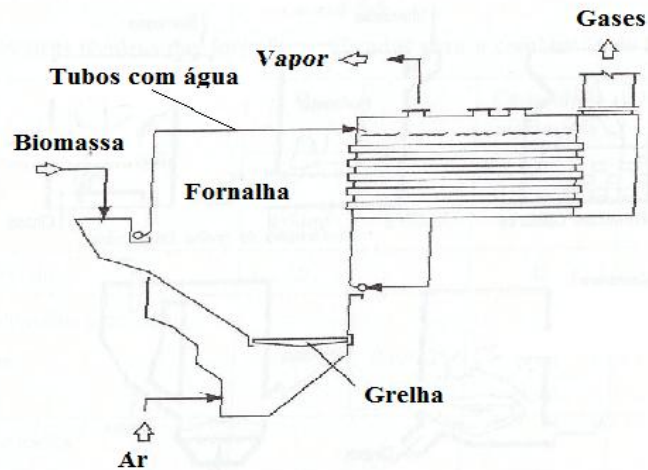


Figura 10 – Esquema de caldeira flamotubular à biomassa (Nogueira & Lora, 2003 - com adaptações)

Nas caldeiras aquatubulares (Figura 11), a água a ser transformada em vapor, circula por tubos, o calor circulante entra em contato externo com os tubos, produzindo grandes volumes de vapor e ao contrário das caldeiras flamotubulares, a pressão do vapor ultrapassa 2,0MPa e a capacidade de geração é superior a 20t/h.

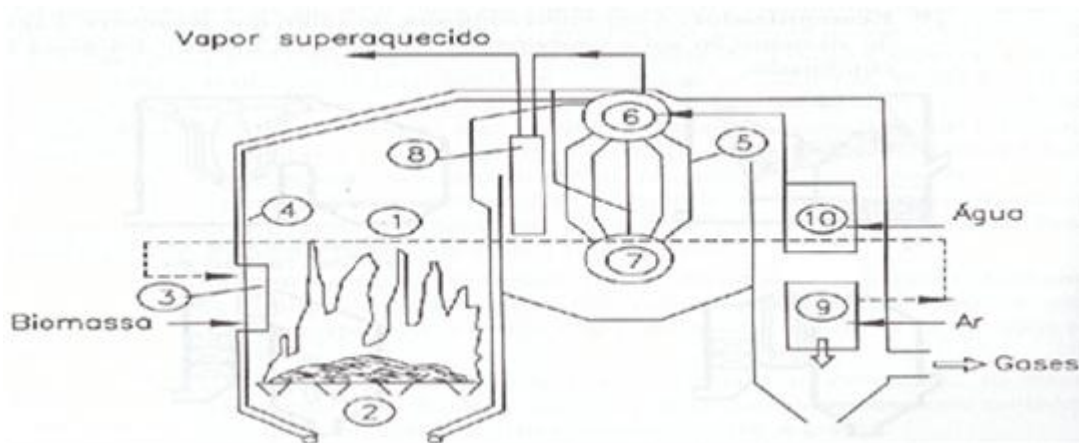


Figura 11 - esquema de caldeira aquatubular (Nogueira & Lora, 2003)

As numerações constantes na Figura 11, representam as partes principais deste tipo de caldeira, quais sejam:

1. Fornalha ou câmara de combustão;
2. Grelha;

3. Alimentadores de biomassa;
4. Paredes de água, que são superfícies que recobrem total ou parcialmente as paredes da fornalha;
5. Feixe convectivo, conecta o tambor superior ao inferior;
6. Tambor superior;
7. Tambor inferior;
8. Superaquecedor, permite converter o vapor saturado em superaquecido, com perda de pressão reduzida;
9. Preaquecedor de ar, aquece o ar que irá para a fornalha evitando perdas energéticas;
10. Economizador, que preaquece a água de alimentação até a temperatura de saturação.

2.5 Análise Química de materiais lignocelulósicos

A análise de materiais lignocelulósicos como a madeira e os bambus pode ser feita de maneiras diversas, contudo, a análise somativa é um procedimento que determina individualmente os principais componentes desses materiais, esta metodologia dificilmente consegue atingir um somatório exato de 100%, uma vez que nas análises individuais os valores de determinados componentes podem ser sobrepostos ou suprimidos, acarretando uma variação no percentual a ser obtido, podendo variar entre 98% a 102% (Klock et al., 2005).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Escolha da espécie de Bambu

A escolha do *Bambusa vulgaris* para este estudo foi devido a uma informação que a Penha Papeis e Embalagens, possuía uma extensa plantação desta espécie, onde o objetivo era a utilização dos seus colmos como fonte primária de energia. Estabeleceu-se um contato preliminar visando uma visita na empresa, que fica situada na cidade de Santo Amaro – BA.

3.2 Coleta do material

Nos dias 03 e 04 de outubro de 2011 foi realizada a coleta de colmos de *Bambusa vulgaris* em fazendas da empresa Penha Papeis em Santo Amaro – BA. A empresa realiza corte raso das touceiras do bambu, manejando as partes exploradas de forma a permitir o retorno aos locais de exploração a cada três anos.

No dia 03 de outubro foram coletados colmos em área de touceiras com exclusivamente 01 (um) ano e em outra área distinta, onde as touceiras possuíam exclusivamente 2 anos, conforme Figura 12. Em cada uma das áreas descritas foram escolhidos aleatoriamente 08 (oito) colmos em touceiras diferentes, cada um desses colmos foram identificados quanto à ordem de coleta (1 a 8) e quanto à idade 1 (um) ou 2 (dois) anos.



Figura 12 - Mosaico com fotos das coletas de colmos de bambu em áreas de 1 e 2 anos (Douto, 2011)

No dia 04 de outubro, a coleta foi realizada em uma área que estava em plena exploração, ou seja, touceiras com três anos, conforme Figura 13. Procedeu-se da mesma forma de coleta das áreas de 1 e 2 anos, ou seja escolheu-se aleatoriamente 8 (oito) colmos que os técnicos da empresa entendiam como os mais velhos (3 anos).



Figura 13 - Mosaico da coleta de colmos de bambu em área com touceiras de 3 (três) anos (Moreira, 2011)

É importante salientar que o *Bambusa vulgaris*, é uma planta com brotação anual, desta forma, pode-se afirmar que apenas as touceiras com um ano de idade possuem colmos exclusivamente de 1 (um) ano de idade. As touceiras com 2 (dois) de idades possuíam respectivamente colmos com idades de 1 (um) e 2 (dois) anos e as touceiras com 3 (três) anos, possuíam colmos com 1 (um), 2 (dois) e (três) anos de idade.

3.2.1 Teste físico não destrutivo

Este teste não está incluído nos objetivos deste estudo do *Bambusa vulgaris*, todavia teve a intenção de aproveitar a coleta a ser realizada e registrar os dados referentes às velocidades de propagação das ondas de tensão nesta espécie de bambu, no intuito de observar velocidades de propagação diferentes em idades diferentes do *Bambusa vulgaris*,

considerando que os colmos deste tipo de bambu ficam mais densos à medida que ficam mais velhos (Gomide et al., 1981).

Durante a coleta, antes do abate, foi realizado um teste físico não destrutivo em cada um dos colmos, na região medial do segundo entrenó, conforme ilustra a Figura 14.

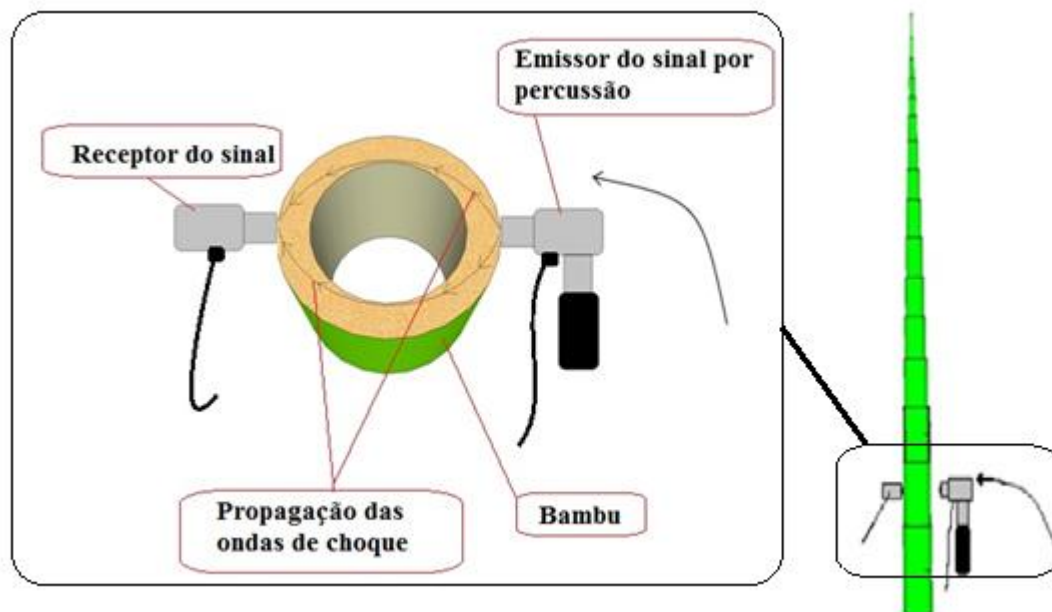


Figura 14 - A direita esquema do posicionamento do aparelho de Stress Wave, no colmo e a esquerda esquema da propagação das ondas de tensão (Ilustração do autor, 2011)

Cada teste consistiu de três repetições, onde o tempo de propagação da onda de tensão choque produzida pelo equipamento de stress wave em μs (microsegundos), era anotada, juntamente com a circunferência do colmo na posição do teste, para posterior cálculo da velocidade de propagação da onda.

3.2.2 Cálculo das velocidades de propagação das ondas de tensão através dos colmos do *Bambusa vulgaris*

Partindo dos tempos de propagação de ondas de choque de cada colmo, coletados com o aparelho stress wave e da circunferência medida em cada colmo no ponto do ensaio não

destrutivo, calculou-se a velocidade de propagação da onda em cada colmo coletado, visando constatar diferenças tais que sugerissem a diferenciação de idade através da velocidade de propagação.

O cálculo da velocidade foi realizado conforme a Equação 2.

$$v = \frac{c}{t} \cdot k \cdot m \cdot s^{-1} \text{ (Equação 2)}$$

Onde: v = velocidade em m/s;

c = circunferência do colmo no ponto do ensaio (em centímetros);

t = tempo lido no equipamento de stress wave durante o ensaio (em microsegundos);

$k = 5 \cdot 10^3 \cdot \mu s \cdot cm^{-1}$ (fator de conversão de cm/ μ s para m/s)

3.3 Segmentação dos colmos coletados

Cada um dos colmos coletados foi devidamente segmentado, de modo que se reservassem três posições axiais compreendidas em base, meio e topo, sendo as posições base e meio com cerca de 50 cm e o topo com cerca de 100 cm, de modo que este segmento ficassem melhor amostrado e com massa suficiente para a realização dos ensaios energéticos e químicos posteriormente.

3.3.1 Preparação das amostras para análises

As amostras foram colocadas em local ventilado durante 45 dias, com o objetivo de secagem natural do material, visando a facilitação das demais etapas de preparação das amostras.

Foram escolhidos aleatoriamente 3 (três) colmos por idade para a realização da caracterização química e energética do *Bambusa vulgaris*, onde os colmos sorteados para as

idades de 1 ano foram dos de nº 1, 3 e 6; para a as idades de 2 anos foram os de nº 3, 4 e 5; para as idades de 3 anos foram os de nº 2, 3 e 8.

Os segmentos axiais de cada colmo escolhido aleatoriamente, onde estes foram cortados em anéis de aproximadamente 3 cm e posteriormente transformados em palitos e reduzidos a pequenas partículas em moinho de facas tipo willer, conforme ilustra a Figura 15.



Figura 15 - Etapas de preparação das amostras (Moreira, 2012)

3.4 Análise Imediata

A análise imediata realizada nas amostras de *Bambusa vulgaris*, seguiu os procedimentos da norma ABNT NBR 8112/86, com adaptações, pois tal norma trata da análise de carvão vegetal.

As adaptações consistiram na realização de ensaios em triplicata, na utilização de uma granulometria de 60 mesh para todos os ensaios, a substituição dos cadinhos de platina por cadinhos de cerâmica e na massa utilizada para a determinação dos teores de cinzas que foi

aumentada para 2g, visando o aumento proporcional das cinzas medidas e influenciando diretamente no grau de detecção das amostras de cinzas obtidas.

3.4.1 Teor de Voláteis

O teor de voláteis foi obtido partindo de 1 (um) grama de amostra com granulometria menor que 60 mesh e a 0% de umidade. O ensaio consistiu colocar a amostra em um cadinho de porcelana de massa conhecida e com tampa e em seguida o mesmo foi colocado na porta de uma mufla previamente aquecida a 900°C, por 3 minutos e mais 7 minutos no interior da mufla com porta fechada, totalizando 10 minutos. Após tal período a amostra foi retirada da mufla, resfriada em dessecador e após o total resfriamento, a massa do cadinho com o material restante é anotada para o cálculo do teor de material volátil, conforme a fórmula:

$$MV = \frac{m_2 - m_3}{m} \times 100\% \text{ (Equação 3)}$$

Onde,

MV = teor de voláteis em percentual (%);

m = massa da amostra;

m₂ = massa do cadinho + amostra

m₃ = massa do cadinho + amostra residual após mufla a 900°C.

3.4.2 Teor de Cinzas

O teor de cinzas foi obtido partindo de 2 (dois) gramas de amostra com granulometria menor que 60 mesh e a 0% de umidade. O ensaio consistiu colocar a amostra em um cadinho de porcelana de massa conhecida, onde o mesmo foi colocado em uma mufla previamente aquecida a 700°C, até a calcinação total do material, por um tempo nunca inferior a 5 (cinco) horas. Após a calcinação a amostra foi retirada da mufla, resfriada em dessecador e após o total resfriamento, a massa do cadinho com o material restante é anotada para o cálculo do teor de cinzas, conforme a fórmula:

$$\mathbf{CZ} = \frac{\mathbf{m_1 - m_0}}{\mathbf{m}} \times \mathbf{100\%} \quad (\text{Equação 4})$$

Onde,

CZ = teor de cinzas em percentual (%);

m = massa da amostra;

m₀ = massa do cadinho

m₁ = massa do cadinho + amostra calcinada.

3.4.3 Teor de Carbono Fixo

O teor de carbono fixo pode ser calculado partindo dos teores de materiais voláteis e cinzas, conforme a fórmula:

$$\mathbf{CF} = \mathbf{100\%} - (\mathbf{MV(\%)} + \mathbf{CZ(\%)}) \quad (\text{Equação 5})$$

3.5 Constituintes químicos

As normas utilizadas para a determinação dos teores de extrativos, de lignina, e cinzas livres de extrativos, foram aquelas utilizadas pelo Laboratório de Produtos Florestais – LPF do Serviço Florestal Brasileiro, uma vez que os ensaios foram realizados nas dependências. Do citado laboratório. Todos os ensaios foram realizados em triplicata.

3.5.1 Teor de Extrativos

A metodologia empregada neste experimento, segue as diretrizes TAPPI 204 om-88 (Solvent extratives of wood and pulp), com adaptações.

Secou-se uma quantidade necessária de balões de extração em estufa a 115°C por 2 (duas) horas e esfriou-se os mesmos em dessecador, logo após mediu-se a massa desses balões onde a massa de cada um foi anotada. Preparou-se em capela de exaustão, uma alíquota de 210 mL de uma mistura de Etanol:Tolueno, na proporção em volume de (1:2) respectivamente, considerando 27 unidades experimentais com 3 repetições cada uma, o volume da mistura etanol:tolueno totalizou 17,01 litros (5,67 litros de etanol e 11,34 litros de tolueno).

Para cada amostra do material a ser analisado, foram separadas 3 (três) alíquotas com massa de aproximada 2g e acondicionadas em casulos de celulose. Cada casulo contendo suas respectivas alíquotas foi inserido na coluna de extração do Soxhlet, conforme ilustra a Figura 16.



Figura 16- Baterias de extratores Soxhlet (Foto: Marcela Amorim, 2012)

Cada balão de extração foi preenchido com aproximadamente 210 mL de solução etanol:tolueno e logo em seguida foram encaixados em extratores Soxhlet e assentados sobre as placas aquecedoras, que foram ligadas em potência aproximada de 65%, conforme graduação dos potenciômetros das mesmas.

Cada extração exigiu um tempo não inferior a 14 (quatorze) horas. Após tal período de extração, foram retirados gradativamente das colunas de extração os solventes sem extrativos,

até restar aproximadamente 2 mL de solvente com extratos em cada balão de extração. Secou-se os balões com os extratos por 2 (duas) horas em estufa a 115°C.

O cálculo do teor de extrativos em etanol:tolueno foi realizado utilizando-se a Equação 6.

$$\mathbf{te} = \frac{\mathbf{m_2 - m_1}}{\mathbf{m}} \times \mathbf{100\%} \quad (\text{Equação 6})$$

Onde,

te = teor de extrativos (etanol:tolueno) em percentual (%);

m = massa da amostra descontada a umidade;

m₁ = massa do balão de extração;

m₂ = massa do balão de extração + extratos após secagem a 115°C em estufa por 2 horas.

3.5.2 Teor de Cinzas sem extrativos

Para a determinação dos teores de cinzas das amostras, foi utilizada a Norma TAPPI T211 om-93 “Ash in wood, pulp, paper and paperboard combustion at 525°C”. Este teor de cinzas livre de extrativos foi utilizado apenas para a determinação dos teores de lignina insolúvel.

Foram ignificados uma quantidade suficiente de cadinhos em mufla a 525°C por 60 minutos, esfriou-se os mesmos em dessecador, mediu-se a massa dos mesmos. Na sequencia mediu-se aproximadamente 2,0000g de cada amostra, dentro de cada cadinho cerâmico. Após tal procedimento colocou-se os cadinhos parcialmente tampados e já com as amostras na mufla a 100°C e programou-se para a temperatura desse forno chegar a 525°C, tão logo ele atingiu tal temperatura contou-se um tempo não inferior a 4 horas de calcinação.

O cálculo do teor de cinzas foi realizado conforme a Equação 10.

$$CZ_{525^{\circ}\text{C}} = \frac{m_1 - m_0}{m} \times 100\% \quad (\text{Equação 7})$$

onde

$CZ_{525^{\circ}\text{C}}$ = teor de cinzas sem extrativos em percentual (%);

m = massa da amostra a 0% de umidade;

m_0 = massa do cadinho;

m_1 = massa do cadinho + amostra calcinada a 525°C.

3.5.3 Teor de Lignina

Para realizar as operações de isolamento de lignina ácida (Lignina Klason), as amostras do *Bambusa vulgaris*, foram submetidas à limpeza, com etanol e posteriormente com água quente, além de limpeza inicial com etanol:tolueno, conforme norma TAPPI 204 om-88 (Solvent extratives of wood and pulp).

Para a determinação dos teores de ligninas insolúvel e lignina solúvel, foram adotados os procedimentos laboratoriais LAP #003 (Templeton & Ehrman, 1995) e LAP #004 (Templeton & Ehrman, 1995) respectivamente.

➤ Teor de Lignina Insolúvel

A metodologia empregada neste experimento segue as diretrizes Laboratory Analytical Procedure #003 (Templeton & Ehrman, 1995).

Mediram-se três alíquotas de cada amostra com aproximadamente 300mg, diretamente em tubos de ensaio de tamanho médio, identificando-os com os números das amostras. Adicionou-se 3mL de H_2SO_4 a 72% em cada tubo de ensaio com amostra, misturando-se bem o ácido com a amostra com um bastão de vidro durante 1 (um) minuto em cada tubo de ensaio, garantindo a completa embebição da amostra no ácido. Colocaram-se os tubos de

ensaio em banho-maria a 30°C durante 2 horas, onde se repetiu a mistura com bastão de vidro para cada tubo de ensaio a cada 15 minutos.

Decorridas as 2 (duas) horas, transferiu-se o conteúdo de cada tubo de ensaio para cada frasco de vidro devidamente identificado. Adicionou-se 84mL de água deionizada em cada frasco, desta forma, a concentração do ácido para hidrólise baixou para 4% (p/p), após tal transferência, cada frasco foi tampado com rolhas de borracha e lacrado com anel de alumínio, onde tais frascos foram transferidos para o aparelho de autoclave e autoclavados a 121°C por 1h. Após o ciclo de autoclavagem, os frascos foram resfriados à temperatura ambiente por 20 minutos.

Após o resfriamento os conteúdos de cada frasco de vidro, foram devidamente filtrados a vácuo em cadinhos filtrantes, onde a parcela líquida de cada um, foi transferida para kitassatos distintos, para posterior análise em espectrofotômetro. A parcela de lignina insolúvel foi lavada do frasco com água deionizada quente, visando transferir para cadinhos filtrantes, devidamente identificados, qualquer lignina sólida do frasco, água quente foi também utilizada para a retirada de qualquer resíduo ácido do filtrado. Cada cadinho filtrante contendo a lignina insolúvel foi seca em estufa a 105°C, até a estabilização da massa. A Figura 17 , ilustra a sequência de hidrólise ácida, autoclavagem e filtragem da lignina.



Figura 17 - Etapas da separação da lignina. A foto 1 mostra a hidrólise ácida a 72% de H_2SO_4 . A foto 2 mostra os frasco para autoclavagem com H_2SO_4 a 4%. A foto 3 mostra a filtragem da lignina após processo de autoclave (fotos do autor, 2012)

A Equação 7, ilustra a forma de cálculo para se obter o teor de lignina insolúvel.

$$Li_{ins} = \frac{m_2 - m_1}{m} \quad (\text{Equação 8})$$

Onde,

Li_{ins} = teor de lignina insolúvel em percentual (%);

m = massa da amostra descontada a umidade;

m_1 = massa do cadinho filtrante;

m_2 = massa do cadinho filtrante + lignina insolúvel descontada as cinzas livre de extrativos

➤ Teor de Lignina Solúvel

A metodologia empregada neste experimento segue as diretrizes Laboratory Analytical Procedure #004 (Templeton & Ehrman, 1995).

Preparou-se uma solução de H_2SO_4 a 4% (p/p), para isto mediu-se 3mL de H_2SO_4 a 72% (p/p) e diluiu-se a solução com a adição de 84mL de água deionizada. De posse desta solução, preparou-se um branco a ser utilizado como referência no espectrofotômetro, medindo-se 1mL do H_2SO_4 a 4% e diluindo o mesmo com água deionizada, até completar 10mL em balão volumétrico separado para tal finalidade.

O filtrado de cada kitassato, que foi separado na etapa da filtragem após a autoclavagem, foi retirado uma alíquota de 1mL e diluído com água deionizada até completar 10mL em balão volumétrico. Ligou-se o espectrofotômetro (Figura 18) e regulou-se o comprimento de onda do aparelho para 205nm, colocou-se a amostra do branco em cubeta de referência, calibrou-se o aparelho de forma que a leitura do branco o valor de absorvância fosse 0,000.

Colocou-se cada amostra já devidamente diluída em duas cubetas distintas e efetuaram-se as leituras das absorvâncias,



Figura 18 - Espectrofotômetro 700 Plus, marca FEMTO (Foto do Autor, 2012)

A Equação 8, para a obtenção do teor de lignina solúvel é expressa por:

$$Li_{sol} = \frac{A}{110} \times F \times \frac{87}{1000} \times 100\% \quad (\text{Equação 9})$$

Onde,

Li_{sol} = teor de lignina solúvel em percentual (%);

m = massa da amostra descontada a umidade;

A = absorbância lida pelo espectrofotômetro;

F = fator de diluição;

➤ Teor de Lignina Total

O teor de lignina é um somatório entre a lignina insolúvel e a solúvel, e pode ser calculado pela Equação 9.

$$Li_{tot} = Li_{ins} + Li_{sol} \quad (\text{Equação 10})$$

3.5.4 Teor de Holocelulose

O teor de holocelulose livre de extrativos, foi calculado por diferença, onde se subtraiu de 100%, os teores percentuais lignina total e cinzas livres de extrativos, conforme a Equação 11.

$$TH = 100\% - Li_{tot} - CZ_{525^{\circ}C} \quad (\text{Equação 11})$$

Onde,

TH = teor de Holocelulose em percentual (%);

3.6 Densidade básica

Os valores de densidade básica a serem utilizados derivam do estudo realizado por DOUTO (2012), que usou os 24 colmos coletados na empresa Penha Papeis e Embalagens. Para este estudo foram consideradas apenas as densidades referentes aos colmos efetivamente utilizados para este estudo. A densidade básica (Db) foi determinada segundo a norma ASTM NBR 7190/1997, conforme expressão matemática a seguir:

$$Db = \frac{m_0}{V_{sat}} \quad (\text{Equação 12})$$

Onde,

Db = Densidade básica em kg/m^3 ;

m_0 = massa a 0% de umidade em kg;

V_{sat} = volume saturado em m^3 .

3.7 Poder Calorífico

Os ensaios para a determinação do poder calorífico das amostras foram realizados nas dependências do Laboratório de Produtos Florestais – LPF do Serviço Florestal Brasileiro.

O poder calorífico foi determinado partindo de aproximadamente 0,7000g de cada amostra, a 0% de umidade e a uma granulometria menor que 60 mesh. Os ensaios foram realizados em triplicata e foram realizados em calorímetro isoperibólico marca PARR – modelo 1261, onde a norma utilizada foi a ABNT NBR 8633/84.

As amostras foram colocadas em um cadinho metálico dentro de um recipiente de metal reforçado para suportar uma pressão de 450 psi de oxigênio e a “explosão” da amostra sem se romper. Após a ignição da amostra, o calor produzido é transmitido para um recipiente com água na qual o recipiente está imerso, a diferença da temperatura inicial e final é contabilizada pelo calorímetro e desta forma o poder calorífico superior é informado pelo equipamento.

3.8 Densidade energética

A densidade energética foi calculada a partir do produto entre o valor do poder calorífico superior – PCS, e a densidade básica – Db e os valores foram expressos em MJ/m³, conforme Equação 13.

$$DE = k. PCS. Db \quad (\text{Equação 13})$$

Onde,:

DE = Densidade energética expressa em MJ/m³;

$k = 10^{-3}. kJ^{-1}. MJ$ (fator de conversão de kJ para MJ);

PCS = poder calorífico superior expresso em kJ/kg;

Db = Densidade básica expressa em kg/m³.

3.9 Resíduos da caldeira

Em torno de 10 kg do resíduo de grelha vibratória - RGV e 10kg do resíduo do sistema de ciclone – RSC foram coletados na Penha Papeis e Embalagens. O material foi transportado para o Laboratório de Produtos Florestais do Serviço Florestal Brasileiro em Brasília-DF.

3.9.1 Ensaios calorimétricos e análise imediata dos resíduos da caldeira

Após moagem e classificação em sistema de peneiras, determinou-se o poder calorífico superior pela norma ABNT NBR 8633/1984 e a análise imediata pela norma ABNT NBR 8112/1986, obtendo-se o teor de material volátil, o teor de cinza e o teor de carbono fixo.

3.9.2 Determinação da composição química dos resíduos da grelha vibratória - RGV

Os resíduos RGV, foram enviados para uma análise por Fluorescência de raios X, no Laboratório SGS GEOSOL, para a determinação da composição do material em questão.

3.10 Análise estatística

O experimento realizado foi inteiramente fatorial com Delineamento Inteiramente Casualizado (DIC), 3^3 correspondendo a (3 idades x 3 colmos x 3 posições axiais), com total de 27 unidades experimentais (u.e.), com 3 repetições em cada ensaio. Procedeu-se a análise de variância das variáveis analisadas (teor de voláteis, teor de cinzas, teor de carbono fixo, teor de lignina total, teor de holocelulose, teor de extrativos, poder calorífico superior, densidade básica e densidade energética), para as posições axiais e para as idades. Foi feito o teste de tukey para a verificação de diferença significativa a 5% entre as médias obtidas. Foi montada uma matriz de correlação de Pearson. O *software* SPSS 13 foi utilizado para o tratamento dos dados.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Teste físico não destrutivo com aparelho de stress wave

Após o cálculo das velocidades de propagação das ondas de tensão através do colmo dos bambus, análise de variância das velocidades por idade de touceira e aplicação do teste de tukey. Os resultados médios não apresentaram diferença significativa a 5%, conforme ilustra a tabela 2.

Tabela 2 - Velocidades médias de propagação das ondas de tensão para touceiras de 1, 2 e 3 anos - Teste de tukey para as velocidades médias

	Idade das Touceiras de Bambu		
	1 ano	2 anos	3 anos
Velocidade media m/s	702 a	668 a	661 a

Os testes de propagação de ondas de tensão através dos bambus coletados se mostraram promissores, todavia, as velocidades médias calculadas não apresentaram diferença significativa a 5% pelo teste de tukey. Não sendo possível a diferenciação estatística das velocidades de propagação de ondas de tensão por idades dos colmos coletados..

4.2 Análise imediata

Na Tabela 3 estão apresentados os valores médios de materiais voláteis, cinzas e carbono fixo em função, da posição no colmo e da idade, respectivamente.

Tabela 3 - Valores médios para análise imediata com teste de média (Tukey), em função da posição axial e em função da idade nos colmos de *Bambusa vulgaris*

Variáveis analisadas	Médias					
	Posições axiais			Idades		
	Topo	Meio	Base	1 Ano	2 Anos	3 Anos
Teor de Voláteis (%)	77,27 b	79,30 a	77,86 b	78,93 a	78,50 a	77,01 b
Teor de Cinzas (%)	5,42 a	3,56 b	3,56 b	2,26 b	2,83 b	7,46 a
Teor de Carbono Fixo (%)	17,31 a b	17,14 b	18,58 a	18,81 a	18,67 a	15,53 b

4.2.1 Teor de voláteis

Os teores de voláteis apresentaram valores médios de 77,27%, 79,30% e 77,86%, nas posições axial topo, meio e base, respectivamente, conforme Tabela 3, indicando que o meio dos colmos desta espécie de bambu concentra mais voláteis que o topo e a base. Analisando o teor de voláteis da mesma espécie de bambu e oriundo também de Santo Amaro - BA, Aguiar & Rousset (2010), encontraram os valores de 70,68%, 71,13% e 70,11% nas posições topo, meio e base respectivamente. O trabalho mostra o mesmo comportamento, ou seja, maiores valores de material volátil no meio. Arruda & Quirino (2008) encontraram para o bambu *Guadua Magna*, os teores de materiais voláteis de 81,69% e 80,44%, referentes às posições topo e base respectivamente, mostrando como neste trabalho, valores próximos para material volátil no topo e na base, sugerindo esta tendência para estes bambus.

Pelo teste de tukey observa-se que não há diferença significativa para teores voláteis entre as posições axiais topo e base a 5% de significância, contudo estas duas posições são significativamente diferentes do meio dos colmos dos bambus.

Tratando-se ainda dos teores de voláteis, contudo, para as idades de 1, 2 e 3 anos, os valores encontrados foram 78,93%, 78,50% e 77,01%, respectivamente, revelando um decréscimo gradual entre as idades dos bambus estudados, conforme Tabela 3. O valor médio de materiais voláteis neste estudo é de 78,15%, Aguiar & Rousset (2010), encontraram um valor global médio de 80,05% de voláteis para a mesma espécie de bambu. Scurlock et al. (2000), encontraram teores de voláteis para a espécie *Phyllostachys nigra*, com 1 e 2 anos

73,94% e 73,66%. Rodrigues (2009), encontrou um valor de 80,15% de voláteis estudando *Eucalyptus grandis*, apesar desta última espécie citada não se tratar de uma gramínea como o bambu, a mesma é utilizada como referência para a utilização como fonte primária de energia.

As idades de 1 e 2 anos não apresentaram diferença significativa a 5% entre as médias de materiais voláteis, contudo, a idade de 3 anos apresenta diferença significativa em relação as outras duas idades, ao nível de 5% de significância, conforme ilustra a Tabela 3. .

O Gráfico 1 ilustra o relacionamento entre as idades e as posições axiais estudadas para o teor de voláteis.

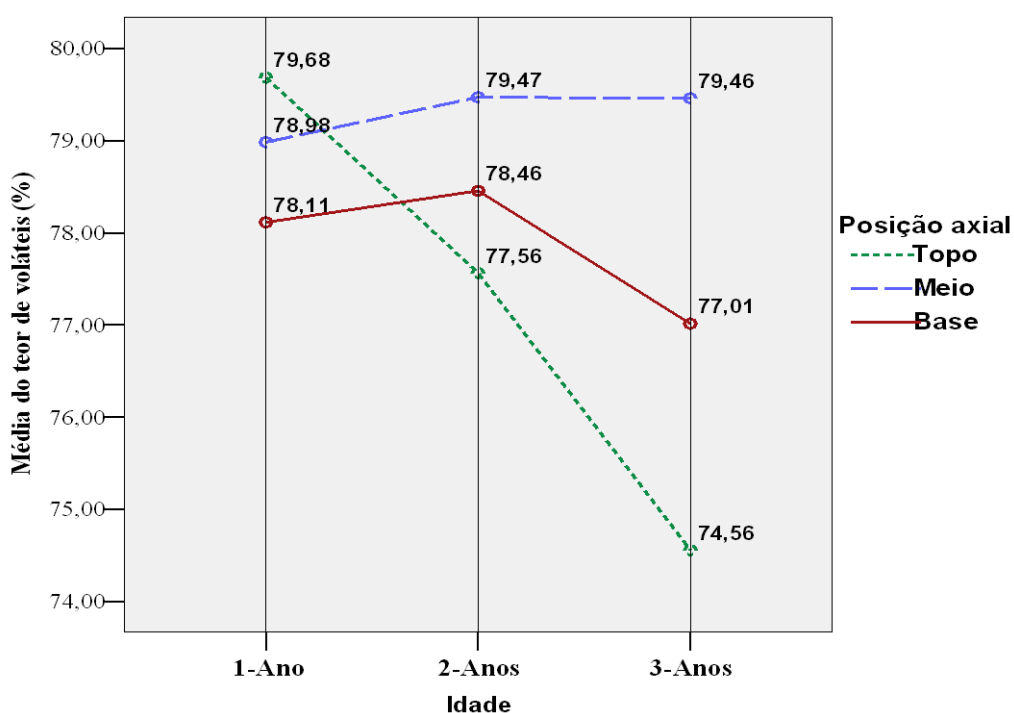


Gráfico 1 - Média dos teores de voláteis (%), em função da **idade** e da **posição axial** do bambu

4.2.2 Teor de cinzas

Os teores de cinzas para as posições axiais topo, meio e base foram respectivamente 5,42%, 3,56% e 3,56%, conforme Tabela 3, Indicando um teor mais elevado de cinzas no topo do colmo. Aguiar & Rousset (2010), encontraram para topo, meio e base, 3,10%, 2,41%, 2,25% respectivamente, estudando a mesma espécie de bambu, corroborando o comportamento encontrado neste trabalho de maior teor de cinzas no topo do colmo. Arruda & Quirino (2008), encontraram para o topo e base do bambu *Guadua Magna*, 3,38% e 3,89% de cinzas. A tendência do aumento dos teores de cinzas aumentarem da base para o topo dos colmos, pode ser explicado pela distribuição dos tecidos parenquimatosos que tendem a serem mais concentrados da base para o topo do bambu e conseqüentemente havendo uma menor concentração de tecidos fibrosos onde há mais parenquima (Azzini et al., 1987). Os corpos silicosos das gramíneas são formados nos tecidos fibrosos.

Pelo teste de Tukey, o teor de cinzas da base e do meio não apresentam diferença significativa a 5% de significância, mas ambos diferem do topo, conforme apresentado na Tabela 3.

Entre as idades de 1, 2 e 3 anos os valores encontrados para os teores de cinzas foram 2,26%, 2,83% e 7,46%, indicando um aumento do teor de cinzas conforme o bambu fica mais velho, pela acumulação de corpos silicosos. Gomide et al. (1981), estudando a mesma espécie de bambu com idades de 1 a 5 anos, encontraram para as idades de 1, 2 e 3 anos, teores de cinzas de 3,2%, 2,5% e 2,5% respectivamente, indicando uma tendência inversa do encontrado neste estudo. Scurlock et al. (2000), encontraram para a espécie *Phyllostachys nigra*, 0,86% e 0,87% de teores de cinzas para as idades de 1 e 2 anos.

No teste de tukey, as médias dos teores de cinzas encontradas para as idades de 1 e 2 anos não apresentam diferença significativa a 5%, todavia, a idade de 3 anos difere significativamente das demais idades, conforme ilustra a Tabela 3.

O Gráfico 2, que ilustra o relacionamento entre as idades e as posições axiais estudadas, para os teores de cinzas.

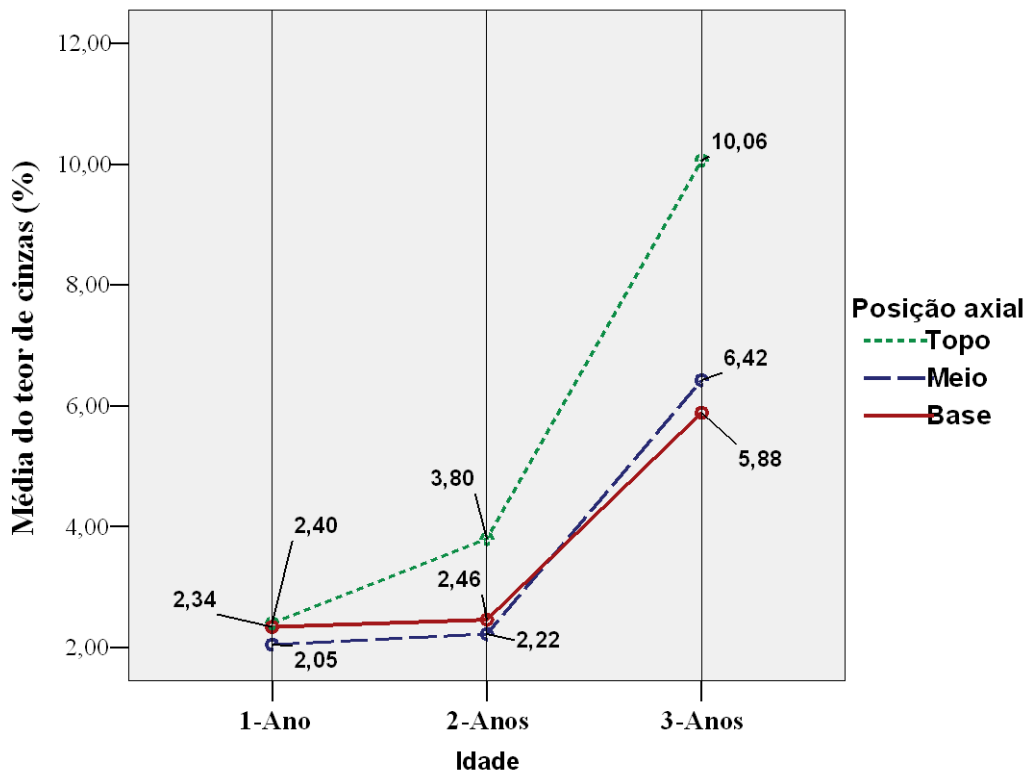


Gráfico 2 - Média dos teores de cinzas (%), em função da **idade** e da **posição axial** do bambu

4.2.3 Teor de carbono fixo

Os teores médios de carbono fixo encontrados foram de 17,31%, 17,14% e 18,58% para as posições axiais topo, meio e base respectivamente. Aguiar & Rousset (2010) estudando a mesma espécie encontraram para as mesmas posições axiais 26,22%, 26,47% e 27,64%, confirmando a tendência de elevação do teor de carbono fixo do topo para a base. Arruda & Quirino (2008), encontraram para o topo e base do bambu *Guadua Magna*, respectivamente os teores de 14,93% e 15,67% de carbono fixo, admitindo também uma tendência de aumento do teor de carbono fixo do topo para a base.

Pelo teste de tukey, as médias dos teores de carbono fixo para o meio e topo não apresentaram diferença significativa a 5%. As médias do topo e base também não apresentam

diferença significativa a 5% entre elas, todavia, o meio e a base diferem estatisticamente entre si a uma significância de 5%, conforme ilustra a Tabela 3.

Encontrou-se para os teores de carbono fixo nas as idades de 1, 2 e 3 anos, 18,81%, 18,67%, 15,53% respectivamente. Scurlock et al. (2000) estudando a espécie *Phyllostachys nigra*, encontraram 16,78%, 16,68% e 13,70% para as idades de 1, 2 e 4,5 anos, revelando a mesma tendência de decréscimo nesse teor conforme o colmo se apresenta mais velho. A tendência de decréscimo neste teor, pode ser explicado pelo o aumento do teores de cinzas com a idade, conforme item 4.2.2, pois a relação entre os valores de carbono fixo e cinzas é inversa, considerando-se um teor de voláteis constante.

O teste de tukey, a um nível de significância de 5% revelou que os teores de carbono fixo das idades de 1 e 2 anos não diferem significativamente a 5% entre eles, mas estas médias destacam-se em relação à idade de 3 anos, conforme ilustra a Tabela 3.

O Gráfico 3 ilustra a relação entre as idades e as posições axiais estudadas, para os teores de carbono fixo.

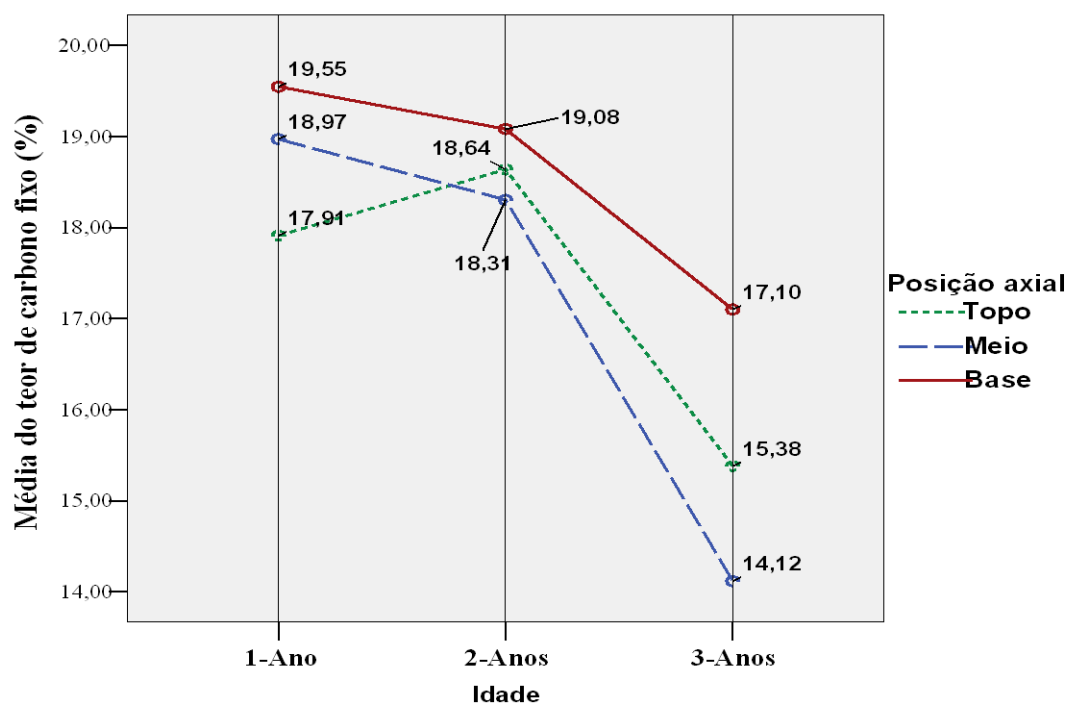


Gráfico 3 - Média dos teores de carbono fixo (%), em função da **idade** e da **posição axial** do bambu

4.3 Constituintes químicos do *Bambusa vulgaris*

Na Tabela 4 encontram-se os valores médios para os constituintes químicos do *Bambusa vulgaris* (lignina total, holocelulose e extrativos em etanol:tolueno, da posição no colmo e da idade, respectivamente).

Tabela 4 - Valores médios para os constituintes químicos com teste de média (Tukey), em função da posição axial e em função da idade nos colmos de *Bambusa vulgaris*

Variáveis analisadas	Médias					
	Posições axiais			Idades		
	Topo	Meio	Base	1 Ano	2 Anos	3 Anos
Lignina Total (%)	23,89 b	23,53 b	25,42 a	24,33 b	25,40 a	23,11 c
Holocelulose (%)	72,69 b	74,69 a	73,26 b	75,10 a	73,60 b	71,94 c
Extrativos*(%)	4,08 b	4,89 a	5,26 a	5,61 a	4,48 b	4,14 b

* Extrativos em etanol:tolueno (1:2) v/v

4.3.1 Teor de Lignina

Os valores encontrados (Tabela 4) para o teores de lignina total no topo, meio e base, foram respectivamente, 23,89%, 23,53%, 25,42%. Mahanim et al.(2008), estudando a espécie *Gigantochloa scortechinii*, encontraram para as mesmas posições axiais, respectivamente, 12,48%, 13,71% e 16,12%. Os dois estudos apesar de se tratarem de espécies diferentes, indicam uma tendência de aumento do teor de lignina do topo para a base.

Pelo teste de tukey, os valores médios encontrados para o meio e topo, não diferem significativamente a 5% de probabilidade, mas ambos diferem significativamente a 5% do teor de lignina da base, conforme a Tabela 4.

Para as idades de 1, 2 e 3 anos, os valores médios encontrados foram 24,33%, 25,40% e 23,11%, respectivamente (Tabela 4). Gomide et al. (1981), encontraram para esta mesma espécie os teores de 21,8%, 23,6% e 23,00% para as mesmas idades respectivamente. Brito et al. (1987) encontraram para o *Bambusa vulgaris* de 3-4 anos um teor de lignina de 17,5%.

Scurlock et al. (2000), encontraram para o *Phyllostachys nigra* de 1, 2 e 4,5 anos os teores de lignina de 28,3%, 27,8% e 25,2% respectivamente.

O teste de tukey, a um nível de significância de 5% revelou que as três idades estudadas são significativamente diferentes a 5%, para o teor de lignina total, conforme ilustra a Tabela 4.

O Gráfico 4 ilustra a relação entre as idades e as posições axiais estudadas, para o teor de Lignina total.

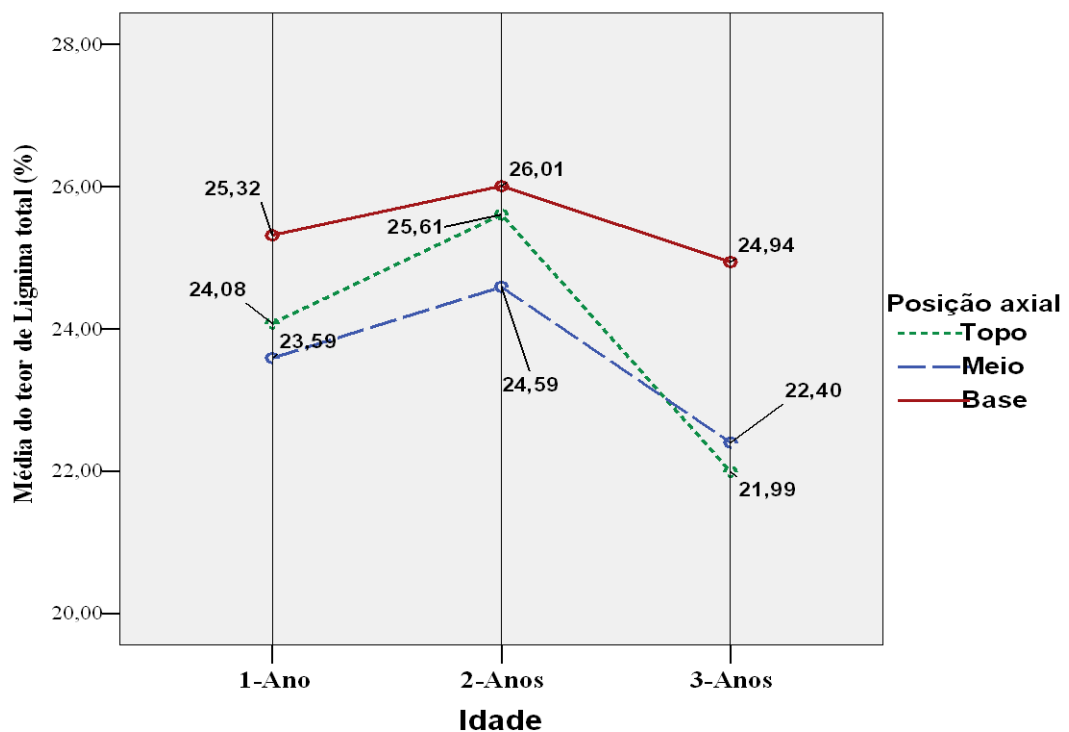


Gráfico 4 – Médias dos teores de lignina total, em função da idade e da posição axial do bambu

4.3.2 Teor de Holocelulose

Os valores médios encontrados para holocelulose nas posições topo, meio e base, são respectivamente 72,69%, 74,69% e 73,26%. Li (2004) estudando a espécie *Phyllostachys pubescens* de 1 e 3 anos, encontrou os valores médios de 72,89%, 71,77% e 68,75% para o topo, meio e base respectivamente. Mahanim et al. (2008), estudando a espécie *Gigantochloa scortechinii*, encontraram para as mesmas posições axiais os teores de holocelulose de 79,64%, 77,84% e 63,04%, respectivamente.

Na realização do teste de tukey, valores médios encontrados para o base e topo, não possuem diferença significativa a 5%, o meio difere significativamente a 5% das demais posições axiais, conforme ilustra a Tabela 4.

Encontrou-se para a holocelulose os teores de 75,10%, 73,60% e 71,94% para as idades de 1, 2 e 3 anos, respectivamente. Gomide et al. (1981), encontraram para esta mesma espécie os teores de 68,0%, 63,0% e 60,3% para as mesmas idades respectivamente. Brito et al. (1987) encontraram para o *Bambusa vulgaris* de 3-4 anos um teor de valor de 66,3%.

O teste de tukey, revelou que os valores médios de holocelulose para as três idades estudadas diferem estatisticamente a uma significância de 5%, conforme ilustra a Tabela 4.

O Gráfico 5 ilustra a relação entre as idades e as posições axiais estudadas, para os teores de holocelulose.

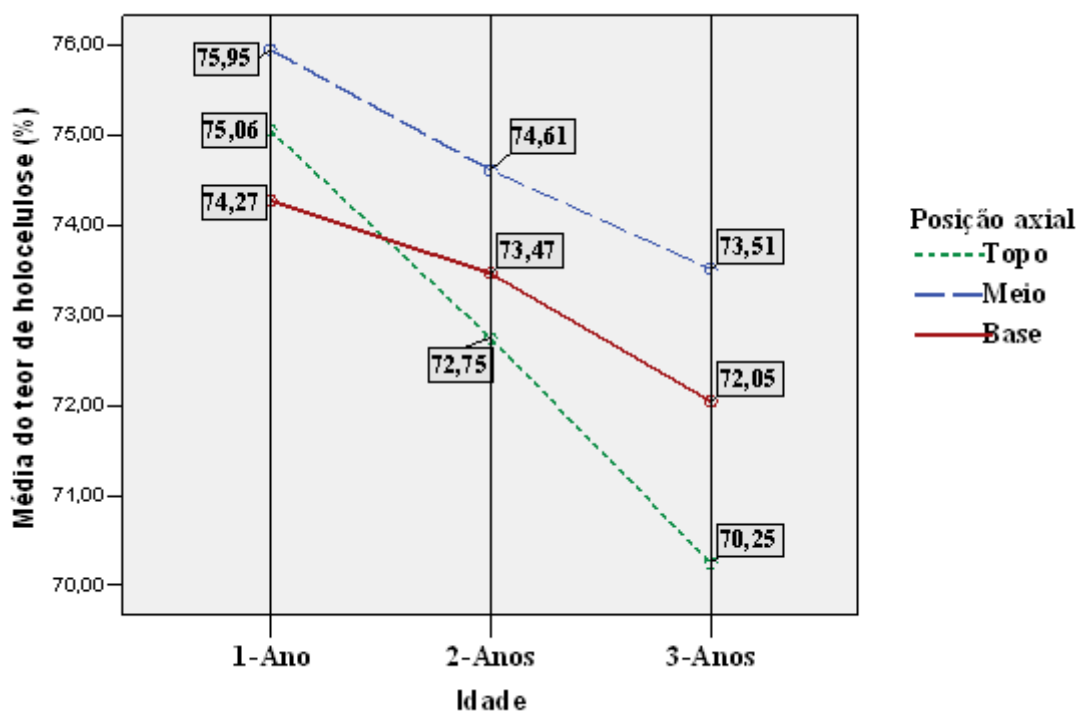


Gráfico 5 – Médias dos teores de **holocelulose**, em função da idade e da posição axial do bambu

4.3.3 Teor de extrativos (etanol:tolueno)

Os teores médios encontrados para extrativos em etanol:tolueno no topo, meio e base, foram respectivamente 4,08%, 4,89% e 5,26%, conforme Tabela 4. Li (2004) estudando a espécie *Phyllostachys pubescens* de 1 e 3 anos, encontrou valores médios de extrativos em etanol:tolueno de, 4,35%, 3,62% e 3,75% para o topo, meio e base respectivamente. Mahanim et al. (2008), estudando a espécie *Gigantochloa scortechinii*, encontrou para as mesmas posições axiais os teores de 4,45%, 4,09% e 3,74% respectivamente. Os resultados para o *Bambusa vulgaris*, e para as duas outras espécies citadas, indicam um comportamento inverso, das outras duas espécies citadas no que se refere à distribuição do teor de extrativos em etanol:tolueno para as posições axiais estudadas .

Pelo teste de Tukey, observa-se que os valores médios de extrativos etanol:tolueno para as posições axiais meio e base encontrados não possuem diferença significativa a 5% entre elas, entretanto diferem significativamente a 5% do topo, conforme ilustra a Tabela 4.

Encontrou-se para extrativos em etanol:tolueno nas idades de 1, 2 e 3 anos os teores de 5,61%, 4,48% e 4,14% respectivamente. Gomide et al. (1981), encontraram para esta mesma espécie 7,9%, 9,7% e 9,8% para as mesmas idades, respectivamente, contudo em etanol:benzeno. Li (2004) estudando a espécie *Phyllostachys pubescens* encontrou para 1 e 3 anos, 3,22% e 4,59% de extrativos em etanol:tolueno.

Na realização do teste de tukey, os valores médios de extrativos (etanol:tolueno) encontrados para as idades de 2 e 3 anos não diferem significativamente a 5% entre elas, contudo a média encontrada para 1 ano difere significativamente a 5% das demais idades estudadas, conforme ilustra a Tabela 4.

O Gráfico 6 ilustra o relacionamento entre as idades e as posições axiais estudadas, para os teores de extrativos em etanol:tolueno.

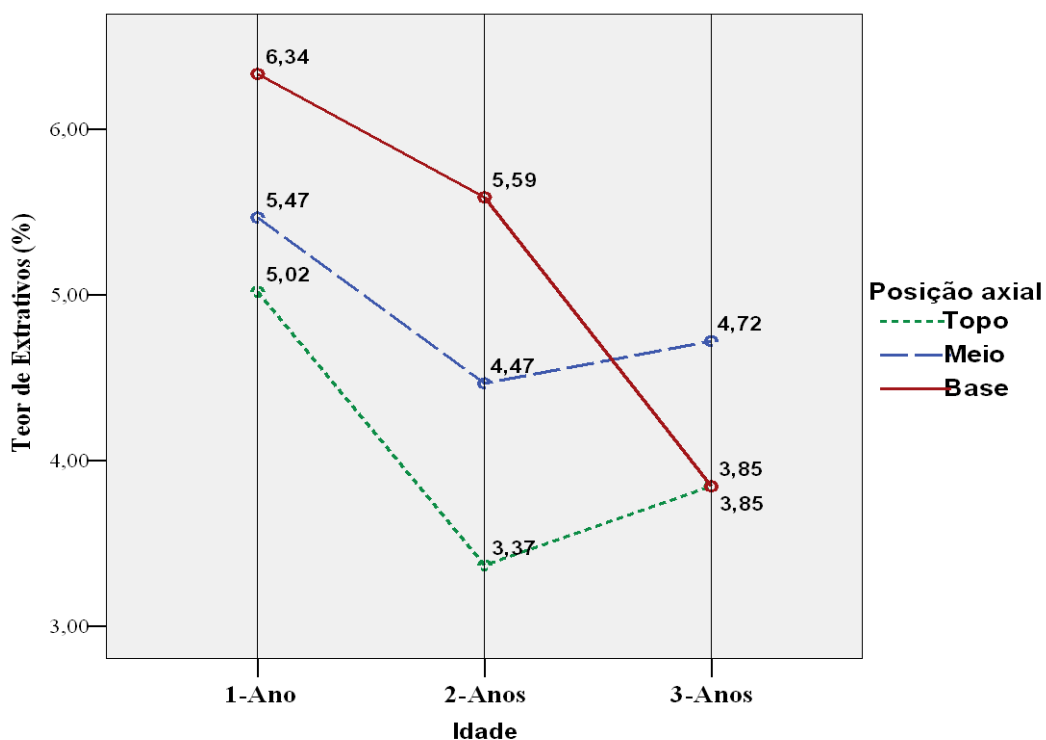


Gráfico 6 – Médias dos teores de extrativos em etanol:tolueno, em função da idade e da posição axial do bambu

4.4 Densidade e Poder calorífico

Na Tabela 5 estão os valores médios da densidade básica em kg/m^3 , do poder calorífico superior em kJ/kg e da densidade energética em MJ/m^3 para os colmos de *Bambusa vulgaris*, em função da posição axial e da idade, com respectivos teste de média.

Tabela 5 - Valores médios para os valores da densidade básica, poder calorífico superior e densidade energética, com teste de média (Tukey), em função da posição axial e em função da idade nos colmos de *Bambusa vulgaris*

Variáveis analisadas	Médias					
	Posições axiais			Idades		
	Topo	Meio	Base	1 Ano	2 Anos	3 Anos
Densidade básica (kg/m^3)	628 a	591 a	538 b	549 b	563 b	646 a
Poder calorífico superior - PCS (kJ/kg)	18120 a	18292 a	18321 a	18610 a	18621 a	17501 b
Densidade energética (MJ/m^3)	11335 a	10801 a	9859 b	10221 b	10485 b	11288 a

4.4.1 Densidades básicas

Os valores médios encontrados para a densidade básica em kg/m^3 para o topo, meio e base, foram 628, 591 e 538 respectivamente, indicando um aumento da densidade da base para o topo. Lima et al. (2011) estudando duas espécies de bambus de ocorrência comum na amazônia ocidental, encontraram valores de densidade básica em kg/m^3 de 590, 550 e 570, para o *Bambusa vulgaris* e valores de 550, 510 e 400 para o *Guadua sp.* nas posições topo meio e base respectivamente. Azzini et al. (1987) encontraram para o *Bambusa vulgaris* valores de densidade básica em kg/m^3 para o topo, meio e base de 813, 790 e 660, indicando também um incremento positivo na densidade do base para o topo. Vale et al. (1999) estudando a espécie arbórea *Acacia mangium* WILLD encontraram as densidades básicas em kg/m^3 610, 500, 500 nas posições base, meio e topo, evidenciando o comportamento inverso da distribuição da densidade entre os bambus e esta espécie arbórea.

Na realização do teste de tukey, médias encontradas para a densidade básica para topo e meio não diferem significativamente a 5%. O valor médio de densidade básica para a base difere significativamente a 5% das demais posições analisadas, conforme ilustra a Tabela 5.

As densidades básicas em kg/m^3 encontradas para as idades de 1, 2 e 3 anos foram 549, 563 e 646 indicando um aumento gradual densidades com o aumento das idades estudadas. Gomide et al. (1981) encontraram para o *Bambusa vulgaris* as densidades básicas em kg/m^3 de 330, 540 e 540 indicando um aumento de densidade básica com o aumento da idade deste bambu. Brito et al. (1987) encontraram para o *Bambusa vulgaris* de 3-4 anos um valor de 687 kg/m^3 valor este compatível com o encontrado para a idade de 3 anos deste estudo.

Na realização do teste de tukey, os valores médios da densidade básica encontrados para 1 e 2 anos não diferem significativamente a 5% , a média para 3 anos difere das demais idades significativamente a 5%, conforme ilustra a Tabela 5.

O Gráfico 7 ilustra a relação entre as idades e as posições axiais estudadas, para as densidades básicas .

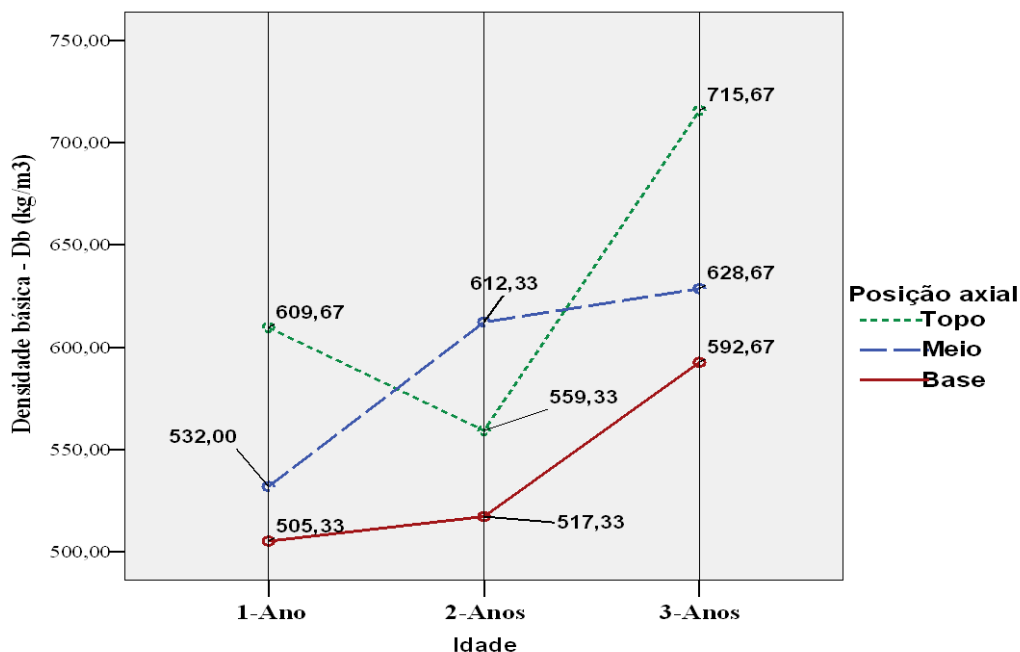


Gráfico 7 – Médias da Densidade básica, em função da idade e da posição axial do bambu

4.4.2 Poder calorífico superior

Os valores do poder calorífico superior - PCS em kJ/kg nas posições axiais topo, meio e base, foram respectivamente 18120, 18292 e 18321, conforme Tabela 5, indicando uma tendência de ganho energético do topo para a base, possivelmente em razão das distribuições de cinzas nessas posições, pois o coeficiente de correlação de Pearson entre o poder calorífico superior e o teor de cinza é -0,934 a um nível de significância de 1%, mostrando um relacionamento inverso entre estas duas variáveis. Aguiar & Rousset (2010) encontraram para esta mesma espécie os valores para o PCS em kJ/kg de 18389, 18493 e 18338 respectivamente para as posições topo, meio e base respectivamente. Arruda & Quirino (2008) estudando o topo e a base do *Guadua Magna*, encontraram valores de superior calorífico superior (kJ/kg) de 18462 e 18610 respectivamente.

Na realização do teste de tukey, valores médios encontrados para o poder calorífico superior - PCS para as posições axiais topo, meio e a base não possuem diferença significativa a 5% entre elas, conforme ilustra a Tabela 5.

Os valores encontrados do poder calorífico superior - PCS em kJ/kg para as idades de 1, 2 e 3 foram 18610, 18621, 17501, a tendência de decréscimo no PCS em função do aumento da idade também pode ser relacionado com o aumento do teor de cinzas, indicado pelo coeficiente de correlação de Pearson entre o teor de cinzas e o poder calorífico superior que é de -0,934 a 1% de significância, indicando que um aumento no teor de cinzas implica na redução do valor do poder calorífico superior - PCS. Brito et al. (1987) encontraram para o *Bambusa vulgaris* de 3-4 anos o PCS de 17652 kJ/kg.

Na realização do teste de tukey, os valores médios encontrados para 1 e 2 anos não diferem significativamente a 5%, as médias para 3 anos diferem das demais significativamente a 5%, conforme ilustra a Tabela 5.

O gráfico 8 ilustra a relação entre as idades e as posições axiais estudadas, para os poderes caloríficos superiores.

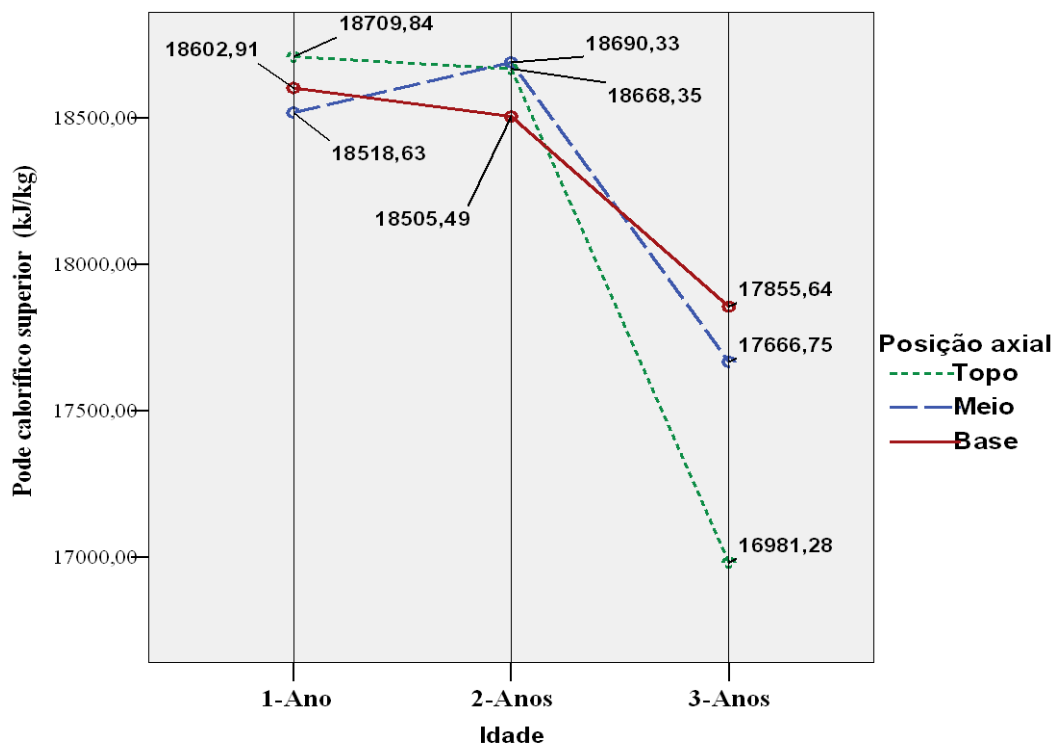


Gráfico 8 – Médias do poder calorífico superior, em função da idade e da posição axial do bambu

4.4.3 Densidade energética

Os valores calculados para a densidade energética (MJ/m^3) nas posições axiais topo, meio e base foram 11335, 10801 e 9859 respectivamente, indicando que para este estudo a densidade energética aumenta da base para o topo, este comportamento pode ser explicado pela alta correlação de Pearson que a densidade energética possui com a densidade básica, cujo valor é 0,968 a 1% de significância. Lembrando que a densidade energética é influenciada indiretamente pelo teor de cinzas, pois o aumento de tal teor diminui o valor do poder calorífico superior.

Na realização do teste de tukey, as posições axiais meio e topo não diferem estatisticamente ao nível de 5% de significância para a densidade energética. A base difere das demais posições axiais estudadas ao nível de significância a 5%, conforme ilustra a Tabela 5.

Os valores encontrados para a densidade energética em MJ/m³, conforme ilustra a Tabela 5 foram 10221, 10485 e 11288, evidenciando uma clara tendência do aumento da densidade energética de 1 para 3 anos. Este comportamento também pode ser explicado pelo aumento da densidade à medida que os colmos se apresentam mais velhos, o coeficiente de Pearson entre a densidade energética e a densidade básica foi de 0,968 a 1% de significância. Utilizando-se valores da densidade básica e do poder calorífico superior no trabalho de Brito et al. (1987), o valor encontrado para a densidade energética do *Bambusa vulgaris* de 3-4 anos é de 12127 MJ/m³, sugerindo que a densidade energética aumente com a idade na espécie estudada.

Na realização do teste de tukey, os valores médios encontrados para a densidade energética para os colmos de 1 e 2 anos não diferem significativamente a 5% , a média para 3 anos difere das demais idades significativamente a 5%, conforme ilustra a Tabela 5.

O gráfico 9 ilustra o relacionamento entre as idades e as posições axiais estudadas, para as densidades energéticas.

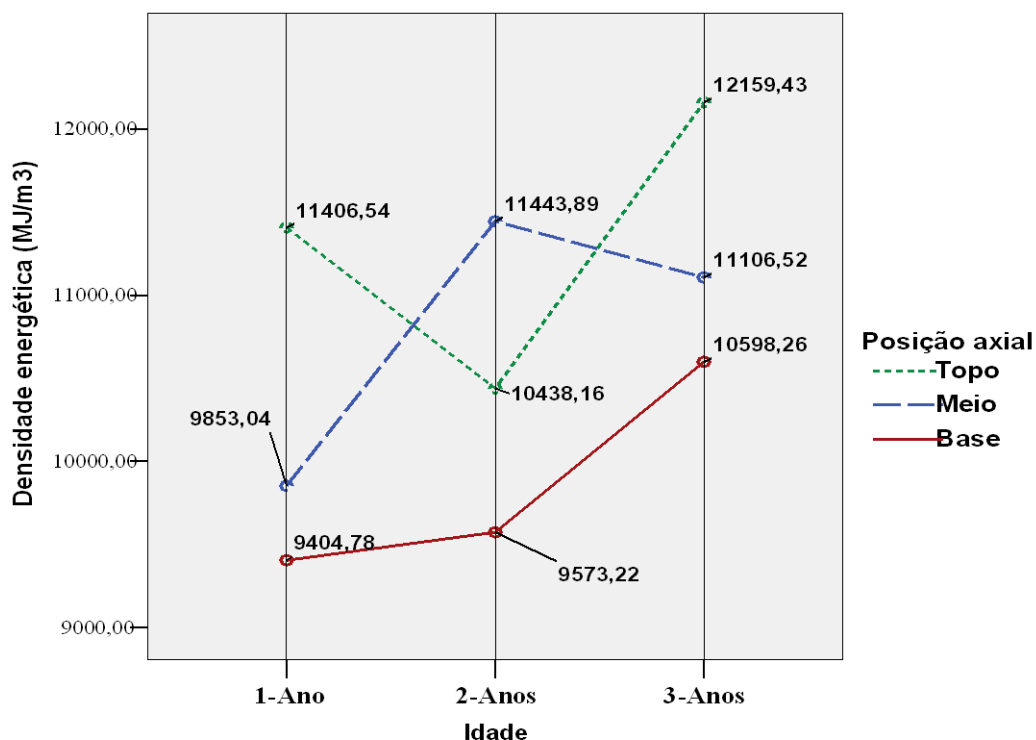


Gráfico 9 – Médias da Densidade energética, em função da idade e da posição axial do bambu

4.5 Resíduos da caldeira

4.5.1 Resíduos do sistema de ciclone

Na caracterização por análise imediata do resíduo do sistema de ciclone - RSC foram encontrados valores médios para o teor de carbono fixo de 63,7%, teor de voláteis de 7,5% e teor de cinzas de 28,8%. Brito et al. (1987) encontraram para o carvão do *Bambusa vulgaris* os teores de 86,3%, 10,2% e 3,5% , para o carbono fixo, voláteis e cinzas respectivamente. Os teores de materiais voláteis, cinzas e carbono fixo do *Bambusa vulgaris* coletado foram respectivamente 78,1%, 4,2% e 17,7%. A comparação entre os três materiais combustíveis citados, conforme Tabela 6, indica que o resíduo do sistema de ciclone é o resultado de uma oxidação parcial do *Bambusa vulgaris*, ficando o mesmo semelhante ao carvão, contudo com um elevado teor de cinzas.

O resíduo do sistema de ciclone - RSC, apresentou poder calorífico superior - PCS de 22654 kJ/kg. O poder calorífico superior médio encontrado para o *Bambusa vulgaris* coletado para este estudo foi de 18244 kJ/kg. Brito et al. (1987) encontraram um poder calorífico de 32572 kJ/kg para o carvão de *Bambusa vulgaris* de 3-4 anos. O poder calorífico superior do resíduo em questão possui um alto valor energético, sendo o mesmo intermediário entre os PCS's do *Bambusa vulgaris* coletado e o carvão dessa mesma espécie de bambu, conforme Tabela 6.

Tabela 6 - Comparação dos Resíduos do Sistema de Ciclone, com carvão de *Bambusa vulgaris* e bambu *in natura*

Variáveis	Bambu <i>in natura</i> *	Resíduos do sistema de ciclone -RSC	Carvão**
Cinzas (%)	4,2	28,8	3,5
Voláteis (%)	78,1	7,5	10,2
C. Fixo (%)	17,7	63,7	86,3
PCS (kJ/kg)	18244	22654	32572

4.5.2 Resíduos da grelha vibratória

Não foi possível determinar o poder calorífico superior do resíduo da grelha vibratória - RGV, pois o mesmo não entrou em combustão na bomba calorimétrica. Não foi feita a análise imediata neste material uma vez que tal análise se presta para avaliação de materiais combustíveis.

O resultado da análise de composição química percentual dos resíduos da grelha vibratória, por fluorescência de raios X está ilustrada na Tabela 7, onde é feita uma comparação do mesmo com uma análise de composição química para cinzas de casca de arroz (CCA), também realizada pela técnica de Fluorescência de raios X, realizada por Della et al. (2006).

Tabela 7 - Comparação de composição de cinzas de bambu e de cinzas de casca de arroz

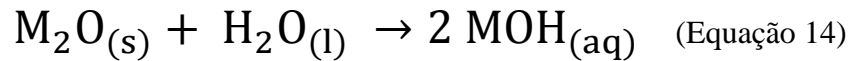
Óxidos	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	MnO	TiO ₂	P ₂ O ₅	Perda ao fogo
Composição RGV (%)	61,70	2,10	2,00	6,34	3,44	16,05	0,73	0,40	0,15	4,94	1,97
Composição CCA (%)	72,10	0,30	0,15	0,43	0,70	0,72	0,50	0,15	0,05	0,60	24,30

RGV: Resíduos de bambu da grelha vibratória
CCA: Cinzas de casca de arroz (Fonte: Della, et al., 2006)

Os dois tipos de cinzas são oriundas de gramíneas, contudo as cinzas de bambu, oriunda da grelha vibratória, possuem um teor de sílica (SiO₂) ligeiramente inferior ao das cinzas de arroz e um teor de materiais combustíveis em torno de 12 vezes menor que as cinzas de casca de arroz (CCA), os demais óxidos analisados dos resíduos da grelha vibratória são todos maiores que os encontrados nas cinzas de casca de arroz.

O óxido de potássio (K₂O) merece um destaque especial, uma vez que o mesmo contribui com mais de 15% da composição dos resíduos da grelha vibratória e considerando que este óxido, assim como o óxido de sódio (Na₂O), por se tratarem de óxidos de metais alcalinos, ao entrarem em contato com água os transforma em bases fortes, conforme a

equação 14 e que considerando ainda que estas bases são altamente solúveis em água, as mesmas podem ser carregadas para cursos de água, interferindo na dinâmica aquática da região, assim como estas bases dissolvidas em meio aquoso podem percolar no solo aumentando a alcalinidade do mesmo.



Todavia, será necessário que se façam mais análises desses resíduos com coletas sistemáticas dos mesmos por períodos a serem definidos, para que se obtenha o perfil da composição desses resíduos durante diferentes épocas do ano.

Segundo Della et al. (2001), a presença de K_2O , CaO e do P_2O_5 , são indesejáveis pois são considerados materiais fundentes. Os materiais fundentes reduzem o ponto de fusão dos silicatos, promovendo a sinterização das cinzas mais facilmente nas paredes da caldeira, promovendo desta forma um isolamento, causando uma ineficiência no sistema de aquecimento da caldeira.

5 CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS

A utilização de aparelho de Stress Wave para se estimar a idade de bambu se mostram promissoras, todavia há a necessidade de se aprofundar o estudo neste campo, onde o conhecimento prévio das idades efetivas de cada colmo se faz necessária para se estabelecer uma correlação entre esta idade e a velocidade de propagação de ondas de choque pelo colmo.

Mais colmos devem ser ensaiados com o aparelho de Stress Wave, assim como o número de ensaios com cada colmo, visando a diminuição de erros durante o ensaio.

É recomendável estabelecer parcerias com institutos de pesquisas assim como empreendimentos que possuam grandes áreas de bambus e possam realizar o efetivo controle das idades de cada colmo de uma parcela dedicada à pesquisa.

A composição química do *Bambusa vulgaris* indica uma composição química comparável à madeira, sugerindo a utilização do *Bambusa vulgaris* para os mesmos usos energéticos da madeira.

Deve-se ter uma atenção especial com as cinzas, uma vez que o *Bambusa vulgaris* possui um teor elevado desta, cerca de 7,5% para colmos de 3 anos e que sua acumulação na grelha pode prejudicar o bom funcionamento da caldeira.

Recomenda-se a seleção de matrizes de bambu que possuam um menor acúmulo cinzas e um alto índice de densificação à medida que os colmos ficam mais velhos seria o ideal para se obter um bambu mais eficiente energeticamente.

A escolha apenas do poder calorífico como indicador energético, para o *Bambusa vulgaris*, não se mostrou o fator mais indicado, visto que com apenas este dado, a melhor escolha para a idade de corte seria dos colmos com 1 ano. A média do poder calorífico superior no *Bambusa vulgaris* de para colmos de 1 e 2 anos não possuem diferença estatística a 5% de significância no teste de tukey.

O poder calorífico superior para colmos de 3 anos além de diferir significativamente das demais idades, apresentou um decréscimo no seu valor na ordem de 6%, possivelmente devido ao aumento do teor de cinzas.

Na densidade energética, as idades de 1 e 2 anos também não possuem diferença significativa a 5%. Entre colmos de 1 ano e 3 anos, há um aumento em torno de 10% no valor da densidade energética, sugerindo que a densidade energética seja um excelente indicador de qualidade energética da biomassa.

A densidade energética se mostra o critério mais promissor como indicador energético, considerando que esta medida leva em conta a densidade básica dos colmos assim como o poder calorífico superior.

O resíduo do sistema de ciclone (RSC) pode ser reutilizado de várias formas a serem estudadas pela empresa, onde a seguir estão elencadas cinco sugestões para a utilização deste resíduo:

- Recolocação do resíduo junto dos cavacos de bambu na entrada da fornalha;
- Recolocação do resíduo diretamente na zona de combustão;
- Transformação dos mesmos em briquetes;
- Utilização para a preparação de substrato em viveiros;
- Venda ou doação destes resíduos para terceiros visando o aproveitamento energético.

O resíduo da grelha vibratória não apresentou propriedades adequadas para a utilização energética, nas amostras analisadas, portanto não há possibilidade de reutilização desde resíduo na geração de energia.

Sugerem que estudos, visando a utilização dos resíduos da grelha vibratória como insumo em algum processo industrial como o de cimentos especiais e/ou cerâmicas, em função do seu alto teor de sílica e da disponibilidade do material pela empresa. O mesmo

poderá ser utilizado como fonte de potássio se tais teores se confirmarem em análises posteriores.

Desta forma a empresa estaria agregando valor a um material que, via de regra, é descartada em aterros, ao mesmo tempo em que contribuiria para diminuir a poluição ambiental e os custos de transporte até o local de disposição dos resíduos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguiar, C. M., & Rousset, P. L. (2010). IMPORTÂNCIA DO PROCESSO DE TORREFAÇÃO PARA CONDICIONAMENTO DA BIOMASSA DO BAMBU PARA GASEIFICAÇÃO. *II Seminário Nacional do Bambu* (pp. 72 - 82). Rio Branco - AC: CPAB - Universidade de Brasília.
- Arruda, L. M., & Quirino, W. F. (2008). CARACTERIZAÇÃO ENERGÉTICA DE BAMBU (GUADUA MAGNA). *3º Congresso Internacional de Bioenergia e BIOTech Fair*. Curitiba.
- Azzini, A., Arruda, M. C., Tomazzelo Filho, M., Salgado, A. L., & Ciaramello, D. (1987). Variações dos teores de fibras celulósicas e amido no colmo de bambu. *Bragantia*, *46(1)*, 141-145.
- Barbosa, L. C., Maltha, C. R., Silva, V. L., & Colodette, J. L. (2008). Determinação da relação siringila/guaiacila da lignina em madeiras de eucalipto por pirólise acoplada à cromatografia gasosa e espectrometria de massas (pi-cg/em). *Química Nova*, *31(08)*.
- Brito, J. O., Tomazello Filho, M., & Salgado, A. L. (Agosto de 1987). PRODUÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DO CARVÃO VEGETAL DE ESPÉCIES E VARIEDADES DE BAMBU. *Revista IPEF (Atual Scientia Forestalis)*, *36*, 13-17.
- Castellan, G. (1986). *Fundamentos de Físico-Química* (1ª ed.). Rio de Janeiro: LTC - Livros técnicos e Científicos Editora Ltda.
- Della, V. P., Hotza, D., Junkes, J. A., & Oliveira, A. P. (2006). Estudo compartilhado entre sílica obtida por lixívia ácida da casca de arroz e sílica obtida por tratamento térmico da cinza de casca de arroz. *Química Nova*, *29(6)*, 1175-1179.

- Della, V. P., Kühn, I., & Hotza, D. (2001). Caracterização de cinza de casca de arroz para uso como matéria-prima na fabricação de refratários de sílica. *Química Nova*, 24(6), 778-782.
- Douto, L. K. (2012). *Biomassa, densidade e umidade de Bambusa vulgaris Schrad. ex J.C. Wendl. var. vulgaris em diferentes idades e posições axiais*. Brasília: Universidade de Brasília - UnB - TCC.
- Espelho, J. C. (2007). *Tratamento químico de colmos de bambu pelo método de Boucherie modificado*. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Agrícola, Campinas.
- Fengel, D., & Wegener, G. (1983). *Wood: chemistry, ultrastructure, reactions*. Berlin: Walter de Gruyter & Co.
- Foletto, E. L., Hoffmann, R., Hoffmann, R. S., Portugal Jr, U. L., & Jahn, S. L. (agosto de 2005). APLICABILIDADE DAS CINZAS DA CASCA DE ARROZ. *Química Nova*, 28(06), 1055-1060.
- Gomide, J., Oliveira, R., & Colodette, J. (1981). Influência da idade do *Bambusa vulgaris* nas suas características químicas e anatômicas, visando à produção de polpa celulósica. *Congresso Anual da ABCP*, 14 (pp. 05-29). São Paulo: v.1.
- Klock, H., Muñiz, G. I., Hernandez, J. A., & Andrade, A. S. (2005). *Química da Madeira* (3ª - Revisada ed.). Curitiba, Paraná, Brasil: UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ - UFPR.
- Lehninger, A. L. (1985). *Princípios de Bioquímica [Traduzido por W.R. Lodi & A.A. Simões]*. São Paulo: Savier Editora de Livros Médicos Ltda.
- Lei 12.484 - Política Nacional de Incentivo ao Manejo Sustentado e ao Cultivo do Bambu - PNMCB (2011).

- Li, X. (2004). *PHYSICAL, CHEMICAL, AND MECHANICAL PROPERTIES OF BAMBOO AND ITS UTILIZATION POTENTIAL FOR FIBERBOARD MANUFACTURING*. Louisiana State University and Agriculture and Mechanical College.
- Lima, D. d., Afonso, D. G., & Pontes, S. M. (2011). ANÁLISE COMPARATIVA DA ESTABILIDADE DIMENSIONAL DE 02 ESPÉCIES DE BAMBU OCORRENTES NA AMAZÔNIA OCIDENTAL. *XX mostra de iniciação científica e X Mostra deesquisa em Pós-Graduação*. Rio Branco - AC.
- Lora, E. S., & Zampieri, M. (2008). Classificação e Balanço Térmico das Fornalhas para a Combustão de Biomassa. In: *Biomassa para Energia* (pp. 155-178). Campinas: UNICAMP.
- Lybeer, B. (2006). *Age-related anatomical aspects of some temperate and tropical bamboo culms (Poaceae: Bambusoideae)* (Vol. Tese de para obtenção do título de Doutor). Gent: Universiteit Gent – Faculteit Wetenschappen.
- Mahanim, S. M., Puad, E., & Rafidah, J. (2008). *PRODUCTION OF ACTIVATED CARBON FROM BAMBOO USING CHEMICAL AND STEAM ACTIVATIONS*. Forest Research Institute Malaysia (FRIM), Kepong.
- Marinho, N. P. (2012). *Características das fibras do bambu (Dendrocalamus giganteus) e potencial de aplicação em painéis de fibra de média densidade (MDF)*. Dissertação de Mestrado: UFPR.
- Morrison, R. T., & Boyd, R. N. (1994). *Química Orgânica [Tradução de M. Alves da Silva]*. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian.
- NBR 8112/86. (1986). *Carvão vegetal – Análise imediata*. São Paulo, SP, Brasil: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS.

- NBR 8633/84. (1984). *Carvão vegetal - Determinação do poder calorífico*. São Paulo, SP, Brasil: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS.
- NBR 9656. (1986). *Determinação de Umidade por Secagem em Estufa*. São Paulo, SP, Brasil: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS.
- Nogueira, L. A., & Lora, E. E. (2003). *Dendroenergia: fundamentos e aplicações* (2ª ed.). Rio de Janeiro: Interciência.
- Oliveira, D. A., Bezerra Neto, E., Nascimento, C. W., Fernandes, M. B., Silva, T. C., & Oliveira, R. A. (2008). *Alocação de biomassa em plantas de bambu em resposta a adubação mineral* (nº 2 ed., Vol. 9). Curitiba: Scientia Agraria.
- Quirino, W. F. (julho/dezembro de 1991). Características Tecnológicas e de crescimento do Bambu. Brasília, DF, Brasil: IBAMA.
- Quirino, W. F., Vale, A. T., Andrade, A. P., Abreu, V. L., & Azevedo, A. C. (2004). Poder Calorífico da Madeira e de Resíduos Lignocelulósicos. *Biomassa & Energia*, 1, n. 2, 173-182.
- Rodrigues, T. O. (2009). *EFEITOS DA TORREFAÇÃO NO ACONDICIONAMENTO DE BIOMASSA PARA FINS ENERGÉTICOS*. Brasília: Univerisidade de Brasília - Dissertação de Mestrado.
- Rowell, R. M., Pettersen, R., Han, J. S., Rowell, J. S., & Tshabalala, M. A. (2005). Cell Wall Chemistry. In: R. M. Rowell (Ed.), *HANDBOOK OF WOOD CHEMISTRY AND WOOD COMPOSITES* (First ed., p. 487). CRC Press.
- Scurlock, J. M., Dayton, D. C., & Hames, B. (2000). *Bamboo: An Overlooked Biomass Resource?* Environmental Sciences Division, Oak Ridge - Tennessee.

Silva, R. M. (2005). *www.embambu.com.br.* (embambu) Acesso em 04 de junho de 2012, disponível em embambu: http://www.embambu.com.br/imagens/bambu_brasil_mundo.pdf

Sjöström, E. (1981). *WOOD CHEMISTRY Fundamentals and applications* (First ed.). Espoo: Academic Press.

Tamolang, F. N., Lopez, F. R., Semana, J. A., Casin, R. F., & Espiloy, Z. B. (1980). *Properties and Utilization of Philippine Erect Bamboos*. Singapore: IDRC - Ottawa.

TAPPI - T 204 om-88. (s.d.). *TAPPI - T 204 om-88 - Solvent extratives of wood and pulp*. Atlanta, GA: TAPPI - Technical Association of the Pulp and Paper Industry.

TAPPI - T 211 om-93. (s.d.). *TAPPI - T 211 - Ash in wood, pul, paper and paperboard: combustion at 525°C*. Atlanta, GA: Technical Association of the Pulp and Paper Industry.

TAPPI - T222 om-88. (s.d.). *TAPPI - T222 om-88 - Acid-Insoluble Lignin in Wood and Pulp*. Atlanta, GA: TAPPI - Technical Association of the Pulp and Paper Industry.

TAPPI - T250. (s.d.). *TAPPI - T250 - Acid-soluble lignin in wood and pulp*. Atlanta, GA: Technical Association of the Pulp and Paper Industry.

TAPPI - T-264 om-88. (1996). *T-264 om-88 - Preparation of wood for chemical analysis*. Atlanta, GA: TAPPI - Technical Association of the Pulp and Paper Industry.

Templeton, D., & Ehrman, T. (1995). *Determination of Acid-Insoluble Lignin in Biomass - LAP-003*. National Renewable Energy Laboratory - NREL.

Templeton, D., & Ehrman, T. (1995). *Determination of acid-Soluble Lignin in Biomass - LAP-004*. National Renewable Energy Laboratory - NREL.

Tomazello Filho, M., & Azzini, A. (agosto de 1987). ESTRUTURA ANATÔMICA, DIMENSÕES DAS FIBRAS E DENSIDADE BÁSICA DE COLMOS DE *Bambusa vulgaris* SCHRAD. *IPEF*, pp. p.43-50.

Vale, A. T., Brasil, M. A., & Martins, I. S. (1999). VARIAÇÃO AXIAL DA DENSIDADE BÁSICA DA MADEIRA DE *Acacia mangium* WILLD AOS SETE ANOS DE IDADE. *Ciência Florestal*, 9(2), 85-92.