

AILTON LEONEL BALDUINO JUNIOR

**AVALIAÇÃO DO POTENCIAL ENERGÉTICO
DA BIOMASSA DE DUAS ESPECIES DE
BAMBU CULTIVADAS EM SANTA CATARINA**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-graduação em Engenharia Florestal da Universidade do Estado de Santa Catarina, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Florestal.

Orientadora:

Prof. Dra. Martha Andreia Brand

Coorientadores:

Prof. Dr. Alessandro Bayestorff da Cunha

LAGES, SC 2015

Ficha catalográfica elaborada pelo(a) autor(a), com
auxílio do programa de geração automática da
Biblioteca Setorial do CAV/UDESC

Balduino, Ailton Leonel Junior
Avaliação do Potencial Energético de Duas
Espécies de Bambu Cultivadas em Santa Catarina /
Ailton Leonel Junior Balduino. Lages - 2016.
128 p.

Orientadora: Martha Andreia Brand
Co-orientador: Alexsandro Bayerstorff Cunha
Dissertação (Mestrado) - Universidade do Estado
de Santa Catarina, Centro de Ciências
Agroveterinárias, Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Florestal, Lages, 2016.

1. *Bambusa vulgaris*. 2. *Phyllostachys bambusoides*. I. Brand, Martha Andreia. II. Cunha, Alexsandro Bayerstorff. III. Universidade do Estado de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal. IV. Título.

AILTON LEONEL BALDUINO JUNIOR

**AVALIAÇÃO DO POTENCIAL ENERGÉTICO DA
BIOMASSA DE DUAS ESPÉCIES DE BAMBU
CULTIVADAS EM SANTA CATARINA**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado em Engenharia Florestal, da Universidade do Estado de Santa Catarina, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Florestal.

Banca examinadora

Orientadora:

Dra. Martha Andreia Brand
Universidade do Estado de Santa
Catarina

Membros:

Dra. Sabrina Andrade Martins
Soluções e Inovações em Tecnologia de Madeiras Ltda.

Dr. Waldir Ferreira Quirino
Universidade de Brasília - UnB

LAGES, 10/02/2016

**A minha família,
dedico**

AGRADECIMENTOS

A Deus, por ter permanecido comigo nos momentos difíceis e não ter me deixado fraquejar.

À Minha esposa Mari e aos meus filhos, Thalles Balduino e Matheus Balduino por toda a ajuda e apoio e pelo exemplo de esforço.

À Universidade do Estado de Santa Catarina - UDESC, pela oportunidade oferecida para a realização do curso de mestrado.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPQ, pelo apoio financeiro ao projeto de pesquisa e concessão da bolsa.

À Professora Dra. Martha Andreia Brand, minha orientadora, pelo auxílio, pelos ensinamentos, pela amizade, dedicação e compreensão.

Ao Professor Dr. Aleksandro Bayestorff da Cunha, pelo apoio e pelos conselhos em momentos que precisei.

Aos professores, Dra. Sabrina Andrade Martins e Dr. Waldir Ferreira Quirino, pela disponibilidade em participar da banca.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, pelo conhecimento transmitido.

Aos amigos e colegas, da Colônia Japonesa da cidade de Frei Rogério-SC, em especial ao senhor Fomio Honda que autorizou e disponibilizou coleta de materiais, para levantamentos de dados e execução do projeto.

“Que os vossos esforços desafiem as impossibilidades, lembrai-vos de que as grandes coisas do homem foram conquistadas do que parecia impossível”.

Charles Chaplin

RESUMO

BALDUINO, Ailton Leonel. **AVALIAÇÃO DO POTENCIAL ENERGÉTICO DA BIOMASSA DE DUAS ESPÉCIES DE BAMBU CULTIVADAS EM SANTA CATARINA.** 2015. 100f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal – Área: Engenharia Florestal) – Universidade do Estado de Santa Catarina. Programa de Pós-graduação em Engenharia Florestal, Lages, 2015.

O objetivo deste estudo foi avaliar o potencial energético da biomassa de duas espécies de bambu a partir de briquetes, carvão e colmos *in natura*. As espécies analisadas foram: *Bambusa vulgaris* e *Phyllostachys bambusoides*, com três anos de idade. Foram selecionados 5,0 indivíduos de cada espécie e coletadas porções de 1,0 m a 1,5 m de comprimento na base, no meio e no topo dos colmos. O *Bambusa vulgaris* foi coletado na Fazenda Experimental Ressacada da Universidade Federal de Santa Catarina, em Florianópolis, SC. O *Phyllostachys bambusoides* foi coletado na propriedade de Fomio Honda, em Frei Rogério – SC. Nos colmos *in natura* foram determinadas as propriedades de teor de umidade (TU); densidade básica (DB); granulometria (G); poder calorífico superior (PCS); análise imediata (AI) e composição química (AQ). O bambu foi carbonizado em laboratório, e o carvão foi analisado quanto ao rendimento gravimétrico (RG); teor de umidade (TU), densidade aparente (DA); poder calorífico superior (PCS) e análise imediata (AI). Os briquetes foram confeccionados em briquetadeira hidráulica de laboratório, e as propriedades analisadas foram: densidade aparente (DA) e resistência à compressão (RC). Com os resultados obtidos foi calculada a densidade energética (DE) para cada tipo de produto e comparada a melhor forma de utilização das espécies para a geração de energia. Os colmos de *Bambusa vulgaris* e *Phyllostachys bambusoides* tiveram TU de

39%, e 36%; DB de 0,624, e 0,719 g/cm³; teor de voláteis (TV) de 82,25%, e 81,88%; teor de carbono fixo (CF) de 15,26% e 17,28%; teor de cinzas (TC) de 2,49% e 0,90%; e PCS de 4571 e 4694 kcal/kg, respectivamente. O teor de extractivos totais foi de 16,26% e 16,24% e o teor de lignina de 25,76% e 25,54, respectivamente. O carvão vegetal teve RG de 36,40% e 33,35%; DA de 0,372 e 0,367 g/cm³; TV de 27,55% e 27,26%; CF de 67,32% e 31,09%; TC de 5,12% e 1,65% e PCS de 7431 e 7587 kcal/Kg, respectivamente. Os briquetes tiveram DA de 1111 e 1170 kg/m³, e RC 4,961 e 4,677 Mpa, respectivamente. A DE do colmos foi de 11,91 e 14,14 MJ/m³; para o carvão de 11,60 e 11,66 MJ/m³, e para os briquetes de 21,31 e 22,99 MJ/m³, respectivamente. As espécies de bambu possuem qualidade similar para geração de energia. A espécie *Phyllostachys bambusoides* mostrou-se melhor que a espécie *Bambusa vulgaris* no uso *in natura*. A maior eficiência energética do uso do bambu foi na forma de briquete, seguido do uso *in natura*, e posteriormente na forma de carvão vegetal.

Palavras chaves: *Bambusa vulgaris*, *Phyllostachys bambusoides*, *colmos*, *carvão*, *briquete*.

ABSTRACT

BALDUINO, Ailton Leonel. **AVALIAÇÃO DO POTENCIAL ENERGÉTICO DA BIOMASSA DE DUAS ESPÉCIES DE BAMBU CULTIVADAS EM SANTA CATARINA.** 2015. 100f. Dissertation (Master in *Forest Engineering* – Area: *Forest Engineering*) – Santa Catarina State University. Forestry Engineering Graduate Program, Lages, 2015.

The aim of this study was to evaluate the energy potential of biomass of two species of bamboo from briquettes, coal and culms in natura. The species analyzed were: *Bambusa vulgaris* and *Phyllostachys bambusoides* with three years old. selected were 5.0 individuals of each species and collected portions of 1.0 m to 1.5 m long at the base, middle and top of the stems. The *Bambusa vulgaris* was collected at the Experimental Farm Ressacada the Federal University of Santa Catarina, Florianópolis, SC. The *Phyllostachys bambusoides* was collected in Fomio Honda property in Frei Rogério - SC. In culms in natura we were determined moisture content properties (TU); Basic density (DB); particle size (L); power higher calorific (PCS); immediate analysis (AI) and chemical composition (AQ). The bamboo was carbonized in the laboratory, and coal was analyzed for gravimetric yield (RG); moisture content (TU), bulk density (DA); power higher calorific (PCS) and immediate analysis (AI). The briquettes were made in hydraulic briquette laboratory and analyzed properties were apparent density (AD) and compressive strength (RC). With the results we calculated the energy density (DE) for each product type and compared the best way to use species for the generation of energy. The culms of *Bambusa vulgaris* and *Phyllostachys bambusoides* had TU 39% and 36 %; DB 0.624 and 0.719 g / cm³ ; volatile content (TV) of of 82.25% and

81.88%; fixed carbon (FC) 15.26% and 17.28%; ash content (CT) 2.49% 0 and 90%; and PCS 4571 and 4694 kcal / kg, respectively. The extractives content was 16.26% and 16.24% and the lignin content of 25.76% and 25.54, respectively. Charcoal had RG 36.40% and 33.35%; DA 0.372 and 0.367 g / cm³; TV 27.55% and 27.26%; CF of 67.32% and 31.09%; CT 5.12% and 1.65%, and PCS 7431 and 7587 kcal / kg, respectively. The briquettes were DA 1111 and 1170 kg / m³, and RC 4,961 and 4,677 MPa respectively. DE The culms was 11.91 and 14.14 MJ / m³.

For coal of 11.60 and 11.66 MJ / m³, and the briquettes 21.31 and 22.99 MJ / m³, respectively. Bamboo species have similar quality for power generation. The species *Phyllostachys bambusoides* proved better than *Bambusa vulgaris* species in use in natura. Increased energy efficiency bamboo use was in the form of briquettes, followed by the use in nature, and later in the form of charcoal.

Key words: *Bambusa vulgaris*, *Phyllostachys bambusoides*, culm, coal briquette.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 -RIZOMA DE ESPÉCIES ENTOUCERANTES, SEMI-ENTOUCEIRANTES E ALASTRANTES DE BAMBU.....	44
FIGURA 2 -COLMOS DAS ESPÉCIES <i>Bambusa vulgaris</i> (A) E <i>Phyllostachys bambusoides</i> (B) UTILIZADOS PARA AS ANÁLISES ENERGÉTICAS	66
FIGURA 3 -POSICIONAMENTO DOS CORPOS DE PROVA NA MÁQUINA UNIVERSAL	76

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - COMPOSIÇÃO QUÍMICA IMEDIATA DOS COLMOS DA ESPÉCIE <i>Bambusa vulgaris</i> :.....	54
TABELA 2 - DADOS DENDROMÉTRICOS DAS ESPÉCIES <i>Bambusa vulgaris</i> e <i>Phyllostachys bambusoides</i>	68
TABELA 3 - GRANULOMETRIA PARA PROCESSO DE BRIQUETAGEM DA ESPÉCIE <i>Bambusa vulgaris</i>	70
TABELA 4 - GRANULOMETRIA PARA PROCESSO DE BRIQUETAGEM DA ESPÉCIE <i>Phyllostachys bambusoides</i>	70
TABELA 5 - DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E NORMAS UTILIZADAS PARA A DETERMINAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICAS E ENERGÉTICAS NOS COLMOS <i>IN NATURA</i> DAS ESPÉCIES <i>Bambusa vulgaris</i> e <i>Phyllostachys bambusoides</i>	71
TABELA 6 - RAMPA DE CARBONIZAÇÃO UTILIZADA PARA A PRODUÇÃO DE CARVÃO PARA AS ESPÉCIES <i>Bambusa vulgaris</i> e <i>Phyllostachys bambusoides</i>	72
TABELA 7 - TEOR DE UMIDADE (%) NA BASE ÚMIDA DOS COLMOS DE <i>Bambusa vulgaris</i>	79
TABELA 8 - DENSIDADE BÁSICA (g/cm ³) DOS COLMOS DE <i>Bambusa vulgaris</i>	81
TABELA 9 - ANÁLISE IMEDIATA E PODER CALORÍFICO SUPERIOR DOS COLMOS DE <i>Bambusa vulgaris</i>	83

TABELA 10 - COMPOSIÇÃO QUÍMICA (%) DOS COLMOS DE <i>Bambusa vulgaris</i>	85
TABELA 11 - RENDIMENTO DA CARBONIZAÇÃO (%) DE COLMOS DA ESPÉCIE <i>Bambusa vulgaris</i>	87
TABELA 12 - TEOR DE UMIDADE (%) DO CARVÃO VEGETAL DA ESPÉCIE <i>Bambusa vulgaris</i>	88
TABELA 13 - DENSIDADE RELATIVA APARENTE(g/cm ³) DO CARVÃO VEGETAL DA ESPÉCIE <i>Bambusa vulgaris</i>	89
TABELA 14 - TEOR DE VOLÁTEIS (%) DO CARVÃO VEGETAL DA ESPÉCIE <i>Bambusa vulgaris</i>	90
TABELA 15 - TEOR DE CARBONO FIXO (%) DO CARVÃO DA ESPÉCIE <i>Bambusa vulgaris</i>	91
TABELA 16 - TEOR DE CINZAS (%) DO CARVÃO DA ESPÉCIE <i>Bambusa vulgaris</i>	92
TABELA 17 - PODER CALORÍFICO SUPERIOR (Kcal/kg) DO CARVÃO VEGETAL DA ESPÉCIE <i>Bambusa vulgaris</i>	93
TABELA 18 - PROPRIEDADES FÍSICAS E RESISTÊNCIA MECÂNICA DOS BRIQUETES DA ESPÉCIE <i>Bambusa vulgaris</i>	94
TABELA 19 - TEOR DE UMIDADE (%) NA BASE ÚMIDA DOS COLMOS DE <i>Phyllostachys bambusoides</i>	96
TABELA 20 - DENSIDADE BÁSICA (g/cm ³) DOS COLMOS DE <i>Phyllostachys bambusoides</i>	97

TABELA 21 - ÁLISE IMEDIATA E PODER CALORÍFICO (Kcal/kg) SUPERIOR DA ESPÉCIE <i>Phyllostachys</i> <i>bambusoides</i>	99
TABELA 22 - COMPOSIÇÃO QUÍMICA (%) DOS COLMOS DE <i>Phyllostachys bambusoides</i>	100
TABELA 23 - ENDIMENTO DA CARBONIZAÇÃO (%) DE COLMOS DA ESPÉCIE <i>Phyllostachys bambusoides</i>	101
TABELA 24 - TEOR DE UMIDADE (%) DO CARVÃO VEGETAL DA ESPÉCIE <i>Phyllostachys bambusoides</i>	102
TABELA 25 - DENSIDADE RELATIVA APARENTE (g/cm ³) DO CARVÃO VEGETAL DA ESPÉCIE <i>Phyllostachys</i> <i>bambusoides</i>	103
TABELA 26 - TEOR DE VOLÁTEIS (%) DO CARVÃO VEGETAL DA ESPÉCIE <i>Phyllostachys bambusoides</i>	104
TABELA 27 - TEOR DE CARBONO FIXO (%) DO CARVÃO DA ESPÉCIE <i>Phyllostachys bambusoides</i>	105
TABELA 28 - TEOR DE CINZAS (%) DO CARVÃO DA ESPÉCIE <i>Phyllostachys bambusoides</i>	106
TABELA 29 - PODER CALORÍFICO SUPERIOR DO CARVÃO VEGETAL DA ESPÉCIE <i>Phyllostachys</i> <i>bambusoides</i>	107
TABELA 30 - PROPRIEDADES FÍSICAS E RESISTÊNCIA MECÂNICA DOS BRIQUETES (MPA) DA ESPÉCIE <i>Phyllostachys bambusoides</i>	108

TABELA 31 - DENSIDADE ENERGÉTICA (MJ/m³) DAS
ESPÉCIES *Bambusa vulgaris* e *Phyllostachys*
bambusoides..... 111

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	37
1.1 OBJETIVOS	40
1.1.1 OBJETIVO GERAL	40
1.1.2 OBJETIVO ESPECÍFICO	40
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	41
2.1 ESPÉCIES DE BAMBU.....	41
2.1.1 CARACTERÍSTICAS DA PLANTA.....	41
2.1.1.1 Bambus Entouceirantes.....	43
2.1.1.2 Bambus Alastrantes.....	44
2.1.2 <i>BAMBUSA VULGARIS</i>	45
2.1.2.1 Classificação Botânica	45
2.1.2.2 Distribuição Geográfica	46
2.1.2.3 Uso da Espécie.....	46
2.1.3 <i>PHYLLOTACHIS BAMBUSOIDES</i>	47
2.1.3.1 Classificação Botânica	47
2.1.3.2 Distribuição Geográfica	47
2.1.3.3 Uso da Espécie.....	48
2.2 USO DO BAMBU PARA A GERAÇÃO DE ENERGIA.....	48
2.2.1 COMBUSTÃO DIRETA DOS COLMOS <i>IN NATURA</i>	49
2.2.1.1 Teor de umidade dos colmos de bambu	50
2.2.1.2 Densidade básica dos colmos de bambu	51
2.2.1.3 Poder calorífico dos colmos de bambu	52
2.2.1.4 Composição Química Imediata.....	53
2.2.1.5 Composição química dos colmos de bambu	54
2.2.2 USO DO BAMBU PARA PRODUÇÃO DE CARVÃO VEGETAL	
56	
2.2.2.1 Rendimento gravimétrico do processo produtivo de	
carvão de bambu.....	57
2.2.2.2 Teor de umidade do bambu e do carvão	57

2.2.2.3	Densidade aparente do carvão de bambu	58
2.2.2.4	Poder calorífico do carvão de bambu	58
2.2.2.5	Composição química imediata do carvão de bambu.	59
2.2.3	USO DO BAMBU PARA PRODUÇÃO DE BRIQUETES	59
2.2.3.1	Granulometria das partículas para a produção de briquetes	60
2.2.3.2	Teor de umidade de briquetes de bambu.....	61
2.2.3.3	Densidade aparente dos briquetes de bambu.....	62
2.2.3.4	Resistência à compressão dos briquetes	62
2.3	DENSIDADE ENERGÉTICA COMO FERRAMENTA PARA ANÁLISE DA MELHOR FORMA DE UTILIZAÇÃO DO BAMBU PARA GERAÇÃO DE ENERGIA	63
3.	MATERIAL E MÉTODOS	65
4.	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	79
4.1	BAMBUSA VULGARIS	79
4.1.1	QUALIDADE ENERGÉTICA DOS COLMOS <i>IN NATURA</i>	79
4.1.1.1	Teor de umidade na base úmida dos colmos <i>in natura</i>	
	79	
4.1.1.2	Densidade básica dos colmos <i>in natura</i>	80
4.1.1.3	Propriedades energéticas dos colmos <i>in natura</i>	83
4.1.1.4	Propriedades químicas dos colmos <i>in natura</i>	85
4.1.2	QUALIDADE ENERGÉTICA DO CARVÃO VEGETAL	86
4.1.2.1	Rendimento gravimétrico da carbonização	86
4.1.2.2	Teor de umidade do carvão vegetal.....	88
4.1.2.3	Densidade aparente do carvão vegetal.....	89
4.1.2.4	Propriedades energéticas do carvão	90
4.1.3	QUALIDADE DOS BRIQUETES DE <i>BAMBUSA VULGARIS</i>	94
4.1.3.1	Propriedades físicas e mecânicas dos briquetes.....	94
4.1.4	QUALIDADE ENERGÉTICA DOS COLMOS <i>IN NATURA</i>	96
4.1.4.1	Teor de umidade na base úmida dos colmos <i>in natura</i>	96

4.1.4.2 Densidade básica dos colmos.....	97
4.1.4.3 Propriedades energéticas dos colmos.....	98
4.1.4.4 Propriedades químicas dos colmos	99
4.1.5 CARVÃO VEGETAL	101
4.1.5.1 Rendimento gravimétrico da carbonização	101
4.1.5.2 Teor de umidade do carvão	102
4.1.5.3 Densidade aparente do carvão vegetal.....	102
4.1.5.4 Propriedades energéticas do carvão	104
4.1.6 QUALIDADE DOS BRIQUETES	107
4.1.6.1 Propriedades físicas e mecânica dos briquetes	107
4.2 DENSIDADE ENERGÉTICA DOS COLMOS <i>IN NATURA</i>, DO CARVÃO E DOS BRIQUETES DAS ESPÉCIES ESTUDADAS	111
5. SUGESTÃO PARA ESTUDOS FUTUROS.....	113
6. CONCLUSÕES	114
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	115

1. INTRODUÇÃO

A fonte mais antiga na produção de energia é a biomassa, sendo intensificadas as pesquisas sobre várias fontes de energia renovável nas últimas décadas. No Brasil, os esforços vêm sendo concentrados na produção de energia com base na cana de açúcar, pinus e eucalipto para sua utilização em inúmeros setores industriais.

Diante das diversas espécies que apresentam potencial para a geração de energia através da biomassa, estão as mais variadas espécies de bambu as quais possuem uma grande diversificação de seus usos, principalmente nos continentes asiático e africano.

Em 2011, o Brasil criou a Lei nº 12.484, que dispõe sobre a Política Nacional de Incentivo ao Manejo Sustentado e ao Cultivo do Bambu (PNMCB). Esta lei tem como objetivo o desenvolvimento da cultura do bambu no Brasil por meio de ações governamentais e de empreendimentos privados. Dentre outras ações, o governo federal pretende trabalhar na implementação do incentivo à pesquisa e o desenvolvimento tecnológicos voltados para o manejo sustentado, o cultivo, os serviços ambientais e as aplicações dos produtos e subprodutos do bambu; incentivar o cultivo e a utilização do bambu pela agricultura familiar, estimular o comércio interno e externo de bambu e de seus subprodutos (Brasil, 2011).

As diretrizes da PNMCB são: a valorização do bambu como produto agro-silvo-cultural capaz de suprir necessidades ecológicas, econômicas, sociais e culturais; o desenvolvimento tecnológico do manejo sustentado, cultivo e das aplicações do bambu e o desenvolvimento de polos de manejo sustentado, cultivo e de beneficiamento de bambu, em especial nas regiões de maior ocorrência de estoques naturais do vegetal, em regiões cuja produção agrícola baseia-se em unidades familiares de produção e no entorno de centros geradores de tecnologias aplicáveis ao produto (Brasil, 2011).

No Brasil há potencial para o plantio tanto de espécies nativas como exóticas de bambu. Dentro das nativas, destacam-se algumas espécies do gênero *Guadua*, que apresentam alta resistência e durabilidade. Com relação às exóticas, as espécies que apresentam maior potencial são *Dendrocalamus giganteus*, *D. latiflorus* e *D. asper*, e os gêneros *Phyllostachys* e *Bambusa*. No gênero *Bambusa*, uma das espécies com maior importância econômica é a *Bambusa vulgaris*, utilizada na produção de bioenergia (carvão e etanol), celulose e papel (Azzini e Beraldo, 2001; Pereira, 2001; Greco e Cromberg, 2011), como também na construção civil, móveis, artesanatos, quebra ventos em propriedades rurais, e reabilitação de solos degradados (National Tropical Botanical Garden, 2014), encontra-se na lista de espécies de bambu prioritárias para pesquisa no mundo, existindo necessidades de estudos sobre adaptabilidade, proteção e durabilidade (RAO et al 1998; National Tropical Botanical Garden, 2014).

Dentre as mais de 1.000 espécies de bambu existentes no mundo, a mais difundida no Brasil é o *Bambusa vulgaris* (GOMIDE et al, 1988). Esta espécie é de origem asiática e chegou ao Brasil trazida por imigrantes portugueses, sendo muito difundida no país e utilizada em propriedades rurais para diversas finalidades (GRAÇA, 1988).

Segundo Taleginski et.al (2011) a espécie *Phyllostachys bambusoides* é muito utilizada na região de Irati – Paraná, sendo prática comum nas propriedades rurais e beiras de estradas o cultivo desta espécie para diversas finalidades, dentre elas, a fabricação caseira, ou em nível de agroindústria, do broto de bambu.

Esta espécie por apresentar elevados valores de resistência mecânica, é muito utilizado para fins estruturais, sendo mais aproveitado para a fabricação de móveis de bambu laminado colado, bem como para fins ornamentais em jardins devido a sua coloração (Tombolato et.al, 2012).

Com relação ao uso energético da espécie, não é comum a utilização da mesma para este fim, portanto as informações bibliográficas a este respeito são escassas.

O bambu pode ser utilizado de diferentes formas para a geração de energia, destacando-se entre elas a transformação em carvão vegetal a produção de briquetes de serragem, bem como seu uso *in natura*, sendo que seu poder calorífico é similar às matérias-primas mais utilizadas para este fim.

O emprego do bambu para produção de carvão vegetal é altamente favorável devido a resultar em carvões mais densos, sendo que quanto mais denso o carvão, maior a quantidade de energia obtida por unidade de volume.

Outra forma de utilização de espécies de bambu é através da compactação da serragem, por meio mecânico, pressão e temperatura, proporcionando um aumento nas suas propriedades energéticas, sendo que 1 m³ de briquete possui cinco vezes mais energia que 1 m³ de resíduo *in natura*, maior poder calorífico, regularidade térmica, gerando menos cinzas e reduzindo os custos energéticos.

A utilização dos colmos de bambu *in natura* é outra forma de geração de energia limpa, baseando-se na aplicação direta para geração de calor, apresentando similaridade em potência energética com outras espécies destinadas a geração de energia, como as madeireiras, por exemplo.

Dentro do contexto de uso energético do bambu, Oliver Frith, Diretor Interino do Programa da Rede Internacional de Bambu e Rattan (Inbar) acredita que a biomassa, sobretudo de bambu, pode ser uma ferramenta poderosa para o desenvolvimento de meios de subsistência, bem como o cumprimento das metas de biodiversidade. O bambu pode ter um efeito transformador, tornando os agricultores produtores de energia (INBAR, 2014).

Assim, a determinação das formas mais eficientes de utilização desta biomassa é de fundamental importância para o fortalecimento do seu uso como fonte energética confiável.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

Avaliar o potencial de produção de energia através da biomassa de duas espécies de bambu a partir de briquetes, carvão e do bambu *in natura*, adaptadas as condições climáticas do Sul do Brasil.

1.1.2 Objetivo específico

Estabelecer as propriedades físicas, químicas e energéticas das espécies de *Bambusa vulgaris* e *Phyllostachys bambusoides* na forma *in natura*, carvão e briquete.

Determinar a densidade energética do carvão, briquetes e colmos *in natura* das espécies estudadas.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 ESPÉCIES DE BAMBU

Segundo Taylor (1994) e Krauss (1993) as espécies de bambu são gigantes, considerados gramíneas de rápido crescimento que possuem troncos lenhosos, ocos, com caules aéreos (colmos), os quais crescem a partir de um caule subterrâneo espesso, chamado de rizoma. Estes colmos muitas vezes formam uma densa vegetação rasteira fazendo com que as plantas em seu entorno sejam excluídas. Nos bambus maduros brotam ramos horizontais que produzem folhas em forma de espadas.

Segundo Moreira (2012), o Brasil possui a maior diversidade de bambus, totalizando 34 gêneros e 232 espécies, representando 89 % de todos os gêneros e das 655 espécies de bambus encontradas na América. Filgueiras e Gonçalves (2004) destacam ainda que algumas espécies brasileiras ainda não foram descritas, e que em torno de 174 espécies (75%) são consideradas endêmicas.

Conforme Judziewicz et al. (1999), os bambus herbáceos há duas subfamílias, três gêneros e sete espécies, enquanto em relação aos bambus lenhosos há 18 gêneros. Os gêneros com maior número de espécies são *Merostachys* Spreng (53 espécies) e *Chusquea* (40 espécies).

2.1.1 Características da planta

Com base nas características dos colmos, o bambu é uma planta lenhosa, monocotiledônea pertencente as Angiospermas (semente protegida). É constituído de uma parte aérea e ultra subterrânea, sendo sua parte aérea o tronco ou caule (colmo) e a parte subterrânea é constituída de raízes e rizoma (FARRELLY, 1984).

As espécies de bambu são predominantemente tropicais e de rápido crescimento, atingindo a altura máxima (até 30 metros) em torno de 3 a 6 meses (FARRELLY, 1984).

Os brotos surgem anualmente, em geral nas estações das chuvas, os quais alongam-se continuamente entre 1 a 20 cm diariamente, dependendo da espécie (AZZINI et al, 1997). Apresentam grande vitalidade, versatilidade, leveza, resistência e são de fácil manuseio por ferramentas simples, de beleza incomum do colmo ao natural ou após seu processamento (FARRELLY, 1984).

As espécies de bambu são um recurso renovável desenvolvendo-se em um pequeno intervalo de tempo, não havendo outras espécies que venham a competir em igualdade de condições quanto à velocidade de crescimento e de aproveitamento por área (JARAMILLO, 1992).

A variação dos colmos está em função da espécie, como também as quantidades ocupadas pelos nós, entrenós e vazios. Esta variação ocorre quanto ao diâmetro, espessura de parede e forma de crescimento. O colmo do bambu nasce com o diâmetro que terá por toda a vida. Sendo que este diâmetro é maior perto da base e vai diminuindo com a altura em direção à copa (AZZINI et al. 1979), não aumentando com o passar dos anos como ocorre com as espécies de Angiospermas eudicotiledôneas.

De acordo com Azzini et al. (1997) os colmos das espécies alastrantes crescem mais rápido durante o dia, já as espécies entoucerantes crescem também a noite. Os colmos de bambu ao nascerem possuem tecido delicado e portanto são protegidos por Brácteas (bainhas) as quais tem formato de folha, também importantes na identificação das espécies. Logo após a fase inicial de crescimento o colmo começa o seu amadurecimento, que tem duração de 3 a 4 anos na maioria das espécies, onde ocorre a estabilização de sua resistência mecânica.

Sporry (1903) realizou um estudo relacionando 1048 formas de utilização de bambus no Japão, já Farrely (1984) totalizou 1546 aplicações, sendo que 498 ornamentais. Martins e Guerreiro (2006) destacam as aplicações do bambu, segundo o Serviço Brasileiro de Respostas Técnicas (SBRT), na agricultura, construção civil, compensados, culinária, carvão, biomassa, móveis, papel, inclusive como artesanato.

Em comparação com as espécies arbóreas ou madeiras, no Brasil, o bambu é pouco utilizado, mesmo com suas amplas possibilidades de utilização como material fibroso, desde a geração de energia até a produção de celulose e papel (BERNDSEN 2008).

De acordo com Pereira (1999), o bambu tem maior capacidade para fixar carbono do que as árvores, combatendo com maior eficiência o efeito estufa, protege terrenos contra a erosão, podendo ser plantado em terrenos acidentados. Vem sendo utilizado para recuperação de áreas degradadas, pois não necessita de solo com alta fertilidade, propagando-se com maior eficácia que outros vegetais quanto a sua sobrevivência.

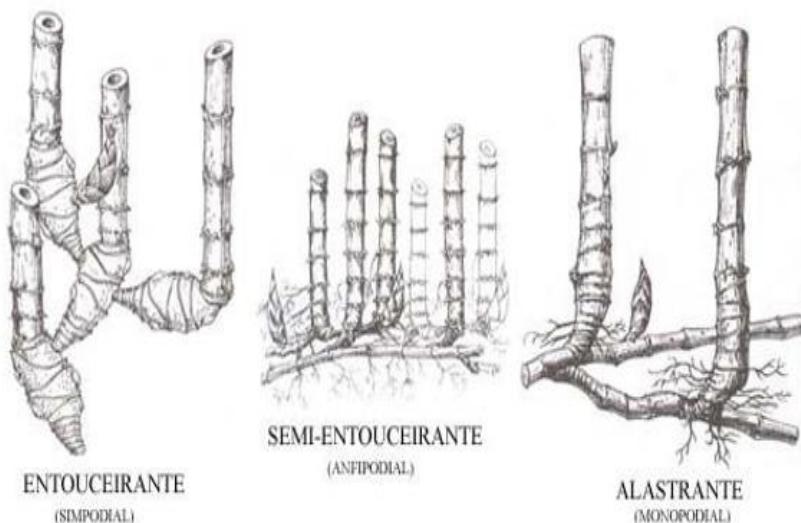
2.1.1.1 Bambus Entouceirantes

Segundo Azzini et al. (1997), fazem parte do grupo de bambus entouceirantes, ou também denominados paquimorfos, cespitosos ou simpodiais, os gêneros *Bambusa*, *Dendrocalamus* e *Guadua*. Seus rizomas são dotados de gemas laterais que irão dar origem a novos rizomas. A origem de um novo colmo ocorre pela gema apical.

A maior parte destes bambus se desenvolve melhor em climas tropicais, apresentando um crescimento mais lento em temperaturas baixas. Seus rizomas são sólidos, com raízes na sua parte inferior e se denominam paquimorfos (Figura 1) por serem curtos e grossos. Os rizomas são dotados de gemas laterais que dão origem somente a novos rizomas. Muitas destas gemas

permanecem inativas de forma permanente ou temporariamente. Apenas a gema apical do rizoma pode dar origem ao um novo colmo e por consequência cada rizoma emitirá no máximo um colmo. Este processo continua de tal maneira que os rizomas se desenvolvem formando uma touceira densa e concêntrica (AZZINI et al, 1997).

Figura 1 - RIZOMA DE ESPÉCIES ENTOUCERANTES, SEMI-ENTOUCEIRANTES E ALASTRANTES DE BAMBU.



Fonte: SPOLIDORO, 2008

2.1.1.2 Bambus Alastrantes

Os tipos alastrantes, leptomorfos, ou monopodiais são muito resistentes ao frio, tendo como origem a China, sendo seu representante mais conhecido o gênero *Phyllostachys*. Os rizomas leptomorfos raramente são sólidos, geralmente apresentando diâmetros menores que o dos seus colmos correspondentes (AZZINI et al, 1997).

Nos nós dos rizomas, suas gemas permanecem por um tempo ou permanentemente dormentes. Quando em estado ativo estas gemas brotam e produzem colmos esparsos permitindo o caminhar entre eles (AZZINI et al, 1997).

Estas espécies de bambus são extremamente invasoras, necessitando de certos cuidados para o seu cultivo. Cuidados que se referem à necessidade de manter a floresta plantada confinada em uma área previamente definida, evitando desta forma conflitos com vizinhos, com as áreas de reserva legal, áreas de preservação permanente e a competição com outras culturas na mesma propriedade (AZZINI et al, 1997).

Os bambus leptomorfos (Figura 1) devem ser isolados por meio de barreiras físicas como: mantas plásticas, estradas com trânsito regular e cursos d'água. Contudo não é recomendado o uso dos cursos naturais de água para tal fim, devido ao grande estabelecimento das espécies deste grupo, a invasão da mata ciliar, fato este que causa danos ambientais, e uma irregularidade na legislação brasileira (AZZINI et al, 1997).

2.1.2 *Bambusa vulgaris*

2.1.2.1 Classificação Botânica

O *Bambusa vulgaris* pertence à família Poaceae, conhecido no Havaí como Ohe, no Japão tem nome vulgar de Tom, na China como Chu. É uma espécie de bambu entoucerante de médio porte, possuindo sua distribuição normal pantropical, com diâmetro variando de 30 a 60 cm, a altura de seus colmos possui uma variação de 10 a 40 m. O *Bambusa vulgaris* possui espessura de parede em torno de 7 a 15 mm, tendo como temperatura mínima de adaptação em torno de -2°C (GOMIDE et al, 1988).

2.1.2.2 Distribuição Geográfica

A espécie *Bambusa vulgaris* é de origem asiática e chegou ao Brasil trazida por imigrantes portugueses, sendo muito difundida no país e utilizada em propriedades rurais para diversas finalidades (GRAÇA, 1988). Dentre as mais de 1.000 espécies de bambu existentes no mundo a mais difundida no Brasil é a *Bambusa vulgaris* (GOMIDE et al, 1988).

Graça, em 1988, afirmava que, comercialmente, sabia-se de dois plantios de grande porte no Brasil da espécie *Bambusa vulgaris*, para fabricação de papel, pelo Grupo Industrial João Santos através da indústria Itapajé, que produz sacos para embalagem de cimento Portland com celulose de bambu. Segundo Nunes (2005), um destes plantios está implantado no estado do Maranhão, no município de Coelho Neto, e abrange 20.000 ha, e um segundo plantio localiza-se em Pernambuco, no município de Palmares, e tem 16.000 ha. Há uma empresa americana, a Bamboo Strand Products, que está para investir em plantio desta espécie no Brasil para produção de vigas laminadas coladas de bambu, e pretende ter em escala comercial, em torno de 2000 ha.

Segundo dados mais atualizados, o International Network for Bamboo and Rattan (INBAR) afirma que são cultivados na região do Nordeste 40.000 ha de *Bambusa vulgaris* para a produção de pasta celulósica, com capacidade instalada de 72.000 toneladas/ano, (INBAR, 2014).

2.1.2.3 Uso da Espécie

Esta espécie possui vários usos dentre os quais, na construção civil, na indústria de polpa e papel, móveis, artesanatos, quebra ventos em propriedades rurais, bem como na reabilitação de solos degradados, existindo necessidades de estudos sobre adaptabilidade, proteção e durabilidade (NATIONAL TROPICAL BOTANICAL GARDEN, 2014).

A exploração da *Bambusa vulgaris* como biomassa para geração de energia no Brasil é realizada pelo grupo João Santos – MA e o grupo Penha no estado de São Paulo (GUANNETTI, 2013). Já a empresa Panorama, no interior de São Paulo, utiliza a biomassa do bambu para a indústria de cerâmica (PAINEL FLORESTAL, 2015).

2.1.3 *Phyllostachys bambusoides*

2.1.3.1 Classificação Botânica

A espécie *Phyllostachys bambusoides*, pertence à família *Poaceae*, conhecido como madakê. É uma espécie de bambu alastrante de médio a grande porte, com colmos e folhas verdes escuras, com diâmetro de colmo em média até 8 cm e altura média de até 20 metros (TOMBOLATO et.al, 2012). Em colmos mais velhos, ocorrem depósitos de pó branco que persistem e muitas vezes obscurecem completamente a sua cor verde (SCURLOCK et.al, 2000).

Novas hastes emergem no final da primavera e crescem muito rápido, em torno de 1 metro a cada dia, sendo que o intervalo de floração desta espécie é muito longa, atingindo cerca de 130 anos (BAMBOO BOTABICALS,2015). Necessita ser cultivado em áreas com boa ventilação devido à alta suscetibilidade a pragas, sendo altamente tolerante a baixas temperaturas de até -20°C (TOMBOLATO et.al, 2012).

Conforme López (1974) esta espécie de bambu alcançou um recorde de crescimento diário, sendo constatado nos limites de Kyoto no ano de 1956, crescendo 121 cm em apenas 24 horas, apresentando 12 cm de diâmetro de colmo.

2.1.3.2 Distribuição Geográfica

Segundo Tombolato et.al (2012) a espécie *Phyllostachys bambusoides* é muito cultivada no Japão, e foi trazido para o

Brasil por imigrantes japoneses na primeira metade do século XX.

2.1.3.3 Uso da Espécie

A coleta do broto do bambu ocorre somente entre os dias 15 de setembro a 15 de outubro, dependendo da pluviosidade. Devido ao rápido crescimento dos brotos, a coleta é realizada quase todos os dias, sendo que a coleta inicia preferencialmente no período da tarde para que no dia seguinte o mais cedo possível estes brotos já começem a ser descascados e picados, evitando a oxidação e o amarelecimento do material coletado, que deprecia o produto final (TALEGINSKI et.al, 2011).

2.2 USO DO BAMBU PARA A GERAÇÃO DE ENERGIA

Pelo fato da existência de um grande número de espécies de bambus no Brasil, não se pode estabelecer uma metodologia padrão para a implantação de um plantio destas espécies voltado a produção de biomassa para geração de energia. Para tanto se deve considerar pontos como espécie cultivada, micro clima, declividade do terreno, tipo de solo, dentre outras (GUANNETTI, 2013).

A operação correta do manejo em uma plantação produz em torno de 25 toneladas por hectare de biomassa (com 30 % de umidade) ao ano (AZZINI, 1987)

Segundo Rigueira Jr. (2011), a produção de biomassa renovável do bambu é semelhante à de madeiras de reflorestamento como a de eucalipto. A diferença e a vantagem do bambu é que ele pode ser cortado com três anos de idade, já apresentando alta resistência mecânica e estrutural, ao ponto que o eucalipto precisa de cerca de sete anos para atingir o ponto mínimo ideal de corte.

Está é uma planta perene e não necessita de replantio, sua colheita é feita por um corte raso da moita a cada 3 anos, fato este que garante que os nutrientes permaneçam no solo, o que não ocorre com culturas como o Eucalipto e o Pinus (GUANNETTI, 2013).

2.2.1 Combustão direta dos colmos *in natura*

Segundo Guannetti (2013) no Brasil existem apenas duas empresas que realizam a exploração da biomassa de bambu em escala industrial, a empresa do grupo João Santos no estado do Maranhã e o grupo Penha no estado da Bahia.

O grupo João Santos possui uma produção de 40 mil ha de *Bambusa vulgaris* voltada para utilização de biomassa, bem como o grupo Penha que explora 3 mil ha voltados para fins energéticos, sendo a biomassa utilizada na forma de cavacos queimados em caldeiras (GUANNETTI, 2013).

Recentemente a indústria Penha de Papéis e Embalagens, em Santo Amaro (BA) negocou créditos de carbono com o banco alemão KFW devido à adoção de caldeira de produção de vapor movida à biomassa de bambu em detrimento do combustível fóssil (GAZETA MERCANTIL, 2014).

De acordo com Guannetti (2013), o uso da espécie *Bambusa vulgaris* em sistemas de cogeração apresenta vantagens relacionadas a sustentabilidade, estando ligada aos aspectos ambientais, no que tange a produção de combustíveis através de cavacos.

Como combustível renovável, a quantidade de dióxido de carbono emitida na combustão da espécie *Bambusa vulgaris* é mitigada por meio da absorção deste gás através da fotossíntese no crescimento da plantação, desde o plantio até a colheita (GUANNETTI, 2013).

Por outro lado, para se estudar o potencial energético de um determinado combustível, faz-se necessário conhecer as suas propriedades químicas e térmicas. Estas informações

possibilitam a avaliação do comportamento térmico do combustível, que fornecem parâmetros para a tomada de decisões (GUANNETTI, 2013). Segundo Cardoso (2002), o poder calorífico e a composição química são os maiores referenciais de indicação do rendimento térmico de uma biomassa.

O rendimento energético de uma biomassa possui uma relação direta com a composição química: os teores de lignina, extractivos e substâncias minerais que variam de acordo com a espécie a ser utilizada. O poder calorífico e a composição química são indicadores capazes de fornecer informações do rendimento do processo térmico (CARDOSO, 2013).

Ainda neste contexto, Brand (2010), também destaca que, sem dúvida o poder calorífico é a propriedade mais importante para avaliar a viabilidade de uso de uma fonte para a geração de energia, e para alguns combustíveis, esta é a principal propriedade levada em consideração. No entanto não é a única, e para alguns casos outras propriedades químicas e físicas assumem a mesma importância que o poder calorífico, muitas vezes sendo até mais importante que este, pelo fato de que dependendo da amplitude da propriedade, esta pode comprometer seriamente a eficiência energética do material.

Assim, para determinar a qualidade da biomassa para o uso como combustível é fundamental a análise e conhecimento da sua composição química (elementar e imediata); teor de umidade; poder calorífico superior, inferior e líquido; densidade básica; granulometria; teor de cinzas e nível de biodegradação (BRAND, 2010).

2.2.1.1 Teor de umidade dos colmos de bambu

Esta propriedade é definida como a porcentagem entre a massa de água contida no bambu pela massa do bambu seco, sendo um fator importante para a qualidade deste material (LEE et al 1994). A umidade do bambu varia de acordo com a idade,

posição e época do corte. Geralmente, os colmos mais velhos possuem um teor de umidade menor que os mais novos (CHUN, 2003). Para colmos maduros de *Bambusa vulgaris*, com mais de 3 anos, Rousset et al. (2011) encontrou valores de 20,19% de umidade.

2.2.1.2 Densidade básica dos colmos de bambu

A densidade é expressa como a quantidade de massa contida em uma unidade de volume, medida em g/cm³ ou kg/m³, sendo que a mesma pode sofrer variações de uma espécie para a outra. Gomide et al. (1981) verificou que a densidade básica da espécie *Bambusa vulgaris* apresenta valores entre 0,33 a 0,56 g/cm³. Azzini et. al (1997) encontraram valores de densidade básica para a mesma espécie, com idade de 3 anos, de 0,487 a 0,619 g/cm³, sendo que Bonfati (2010) obteve valores de 0,484 g/cm³.

Segundo Lee et al. (1994), citado por Valero et al. (2005), para a espécie *Phyllostachys bambusoides*, a densidade básica dos colmos é de 0,494 g/cm³ para base, 0,488 g/cm³ para o meio e 0,464 g/cm³ para o topo dos colmos.

Outros autores trabalhando com outras espécies do gênero *Phyllostachys* obtiveram valores de densidade básica média de 0,64 g/cm³ para a espécie *Phyllostachys aurea* (NASCIMENTO et al. 2012). LI (2004), verificaram em estudos com a espécie *Phyllostachys pubenses* com idade de 1 ano valores de densidade para base de 0,41 g/cm³, para o meio de 0,42 g/cm³ e para o topo dos colmos de 0,42 g/cm³. Sendo que para a idade de 3 anos obteveram valores para a base, meio e topo de 0,66 g/cm³.

Chun (2003) observou variação na densidade em função da idade, para a espécie *Phyllostachys pubenses*, sendo que para a idade de um ano o valor médio foi de 0,42 g/cm³ e para a idade de três anos foi de 0,61 g/cm³.

Liese (1998) observou em seus estudos que a densidade dos bambus varia entre 500 kg/m³ a 800 kg/m³, dependendo principalmente do tamanho, da quantidade e da distribuição dos feixes de fibras ao redor dos vasos.

2.2.1.3 Poder calorífico dos colmos de bambu

O poder calorífico de um combustível, segundo a Lei de Hess, é o balanço entre a energia absorvida para realizar a quebra das ligações químicas e da energia liberada na formação de novas ligações químicas para a geração de novas substâncias. Em 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 (CASTELLAN, 1986).

Como não se pode medir a energia absorvida e liberada durante a reação de quebra e a formação de novas ligações, na prática é medida a energia excedente que é liberada para o sistema na forma indireta, de acordo com a variação de temperatura da água, pois sabendo-se que uma caloria é a quantidade de energia necessária para elevar em 1°C uma grama de água, utiliza-se então o calorímetro para se medir esse valor (CASTELLAN, 1986).

Quando da ocorrência da combustão em um ambiente hermeticamente fechado, em volume constante, a água gerada nesta combustão é condensada e o seu calor é recuperado neste sistema, esta medida da energia oriunda desta operação é chamada de poder calorífico superior – PCS (QUIRINO et al., 2004).

Os valores de poder calorífico superior dos colmos da *Bambusa vulgaris in natura* obtidos em literatura variaram de Brito (1997) (4530 kcal/kg) 4000 kcal/kg (GUANNETTI, 2013) a 4400 kcal/kg (AGUIAR E ROUSSET, 2010), sendo determinado também por Moreira (2012) (4370 kcal/kg);

Ribeiro (2005) (4219 kcal/kg); e por Brito et al. (1987) (4216 kcal/kg).

2.2.1.4 Composição Química Imediata

A composição química imediata se refere ao conteúdo percentual do carbono fixo, materiais voláteis, cinzas e eventualmente umidade, baseado na massa do combustível (BRAND, 2010).

O teor de voláteis abrange a porção do combustível que evapora-se quando este é aquecido a altas temperaturas, possuindo uma alta importância na combustão. Logo após a sua evaporação, mistura-se com o oxigênio do ar e entra em combustão. De uma maneira geral, os materiais lignocelulósicos com um alto teor de voláteis queimam mais rapidamente (BERNDSEN, 2008). Segundo Brito e Barrichelo (1979), 50 a 60% do calor absorvível da queima de um material está nos gases voláteis.

A porcentagem de carbono fixo de um material combustível corresponde a porção de carvão que se queima no estado sólido. Materiais com alto teores de carbono fixo são ideais para a combustão, pois queimam compassadamente (BERNDSEN, 2008).

Segundo, Fonseca Felti et. al (2003) e Assis (2008) o teor de carbono fixo possui uma influência direta no poder calorífico, pois quanto maior a quantidade deste, maior será o poder calorífico do combustível. Os teores de carbono fixo para a espécie *Bambusa vulgaris*, obtidos em literatura podem ser visualizados na tabela 1.

Tabela 1 COMPOSIÇÃO QUÍMICA IMEDIATA DOS COLMOS DA ESPÉCIE *Bambusa vulgaris*:

Autores	Teor voláteis (%)	Carbono Fixo (%)
Macedo et al (2014)	78,30	19,60
Moreira (2012)	78,14	17,67
Rousset (2010)	70,64	26,77
Média	75,69	21,34

Fonte: O Autor.

Para a espécie *Phyllostachys bambusoides*, o teor de carbono fixo médio é de 13,8 a 14,4 %. Já o conteúdo de voláteis apresenta variação média de 63% a 75,5%, sendo que ocorre a tendência de aumentar com a idade da espécie (Scurlock et.al, 2000).

Aguiar e Rousset (2010) encontraram valores de teor de cinzas para a espécie *Bambusa vulgaris*, com idade de 1 a 3 anos, de 2,49%. Gomide et al. (1981) encontraram valores de teor de cinzas variando de 3,2 a 2,5 %, sendo que verificou-se que teor de cinzas decresce com o aumento da idade, estabilizando com a idade de 3 anos.

Segundo Scurlock et. al, (2000) o teor de cinzas para a espécie *Phyllostachys bambusoides* apresentou uma variação de 0,53 % a 0,84 %, sendo que estes valores médios são similares aos encontrados para a madeira. Para colmos com 4,5 anos foi observado o valor de 0,6 % de cinzas.

2.2.1.5 Composição química dos colmos de bambu

Segundo Cruz (2002), o bambu, como material orgânico, é produzido por processos fotossintéticos localizados nas folhas. O bambu é um compósito polimérico, anisotrópico, com diferentes propriedades mecânicas em diferentes direções e não

homogêneo, não tendo a mesma composição, estrutura ou características em todo seu volume.

As propriedades da lignina não são muito conhecidas devido à sua estrutura química extremamente complexa. A lignina fornece rigidez para as árvores, tornando o seu crescimento possível, além de proporcionar maior durabilidade aos tecidos, protegendo-os da ação de micro-organismos (CRUZ, 2002).

Segundo Tomalang et al (1980), os principais constituintes químicos dos colmos de bambu são carboidratos determinados como celulose (60-70%), pentosana (20-25%), hemicelulose e a lignina (20-30%) e, em minoria, constituintes como resinas, tanino e sais inorgânicos.

Macedo et. al (2014) obtiveram o valor médio de 5,5% para extrativos em etanol:tolueno para a espécie *Bambusa vulgaris* com um ano de idade. Em relação às variações observadas na altura do colmo, Moreira (2012) encontrou no topo, meio e base os valores de 4,08%, 4,89% e 5,26%, respectivamente. Já Gomide et al (1988), para a espécie com idade de três anos encontraram os valores para a base de 9,8%, para o meio 9,7% e para o topo de 7,9%, sendo que para extrativos totais os valores foram de 15,70%.

(GOMIDE et. al 1982) em estudos para a espécie *Bambusa vulgaris*, com três anos de idade observaram o valor médio de 13,37% para extrativos totais, e Brito et. al (1987) mencionaram o valor de 16,30%.

Para extrativos em água quente, obteveram valor para idade de 1 ano de 11,8%, para idade de 2 anos de 12,0%, para idade de 3 anos de 15,0%, para a idade de 4 anos de 12,6% e para a idade de 5 anos valor de 7,7% Gomide et. al (1982).

De acordo com Scurlock et. al (2000) os valores de extrativos em etanol obtidos para a espécie *Phyllostachys bambusoides* com idade de 4,5 anos em média foi de 1,54%. Já a espécie *Phyllostachis heterocycla* foi obtido o valor de 4,5 % de extrativos solúveis em etanol:benzeno.

Segundo Brito et.al. (1997), o percentual de lignina da *Bambusa vulgaris* é de 17,5 %. Em estudo semelhante, Gomide et al. (1981) encontraram teores de lignina variando de 21,8 a 23,0 % sendo o maior valor para uma idade de 3 anos, de forma que ocorre aumento do teor de lignina com a idade. Para Bonfati (2010), o teor de lignina com mesma idade o valor médio obtido foi de 17,5%. Guannetti (2013), em estudo com a mesma espécie os valores nas posições axiais, base de 25,42%, para meio de 23,53% e para o topo de 23,89%.

Scurlock et al. (2000) em seus estudos obteve valores de lignina para a espécie *Phyllostachys bambusoides* de 25,5 % para colmos de 4,5 anos. Segundo o mesmo autor, os valores de lignina para o bambu variam de 25 % a 30 % assemelhando-se as espécies convencionais de coníferas e folhosas utilizadas na indústria. Este elevado teor de lignina contribui para um poder calorífico elevado das espécies de bambu. Este autor destaca ainda que existe uma ligeira tendência de diminuição do teor de lignina com o aumento da idade.

2.2.2 USO DO BAMBU PARA PRODUÇÃO DE CARVÃO VEGETAL

Os países orientais há séculos produzem e conhecem as propriedades do carvão de bambu. Porém no Brasil ainda são poucas as iniciativas, apesar de muitas pesquisas terem sido desenvolvidas para produção de carvão como biomassa e como tratamento de esgoto. Um exemplo destas iniciativas foi verificado no estado de São Paulo, onde uma associação benéfica trabalha com produção de carvão de bambu e utensílios cerâmicos para geração de renda (PRESZNHUK, 2004). Segundo Brito et.al. (1997), a espécie *Bambusa vulgaris* pode ser uma nova alternativa na produção de carvão vegetal no Brasil.

Além disso, o poder calorífico do bambu é igual ou superior às espécies comumente usadas para a obtenção de

carvão, como o Eucalipto, e a sua alta capacidade de renovação caracteriza esta planta como uma importante fonte renovável de energia (RIBEIRO, 2005).

2.2.2.1 Rendimento gravimétrico do processo produtivo de carvão de bambu

Segundo Oliveira (1988), o rendimento gravimétrico (RG) é a relação entre o peso seco do carvão e o peso de madeira seca, expresso em porcentagem. O rendimento gravimétrico apresenta correlação positiva com o teor de lignina total e o teor de extractivos, com a massa específica básica da madeira e correlação negativa entre largura e diâmetro dos lúmens e das fibras. Este mesmo autor destaca ainda que outros fatores importantes para o aumento do rendimento gravimétrico são: a temperatura máxima média e a taxa de aquecimento da carbonização.

Xiong et al (2014) observaram rendimento em torno 31% para carbonização de bambu com temperatura de 450°C. Maia et al (2013), para a mesma temperatura, produzindo carvão com *Phyllostachys aurea* obteve RG de 34,3%. Costa (2004) obteve rendimento em carvão de 32,54% para *Bambusa vulgaris*, contudo a temperatura máxima média empregada na carbonização foi de 400°C. Brito et al. (1987) obtiveram o valor médio do RG do carvão vegetal de *Bambusa vulgaris* de 29,6%, com temperatura final de 550°C.

2.2.2.2 Teor de umidade do bambu e do carvão

O fato de a umidade ser colocada como uma característica técnica na produção de biomassa para energia é porque, na maioria das vezes, é necessário que a biomassa seja pelo menos parcialmente seca, antes de ser usada como fonte energética (CARVALHO JR, 2010).

Uma umidade muito alta provoca o aumento do tempo de carbonização, reduz o rendimento gravimétrico ao consumir parte do material para evaporar a água, portanto espera-se maior rendimento ao utilizar material com teores de umidade baixos (VALENTE, 1986).

Segundo Costa (2004), a umidade é um fator que influência na fragilidade do carvão vegetal (quanto maior a umidade da matéria prima, maior é a quantidade de finos), gerando material particulado (carbono), também chamado de moinha, sendo que a umidade do carvão vegetal influência nas propriedades de resistência mecânica. Sendo que em seus estudos para a espécie *Bambusa vulgaris* encontrou teor médio de umidade de 8,7%.

2.2.2.3 Densidade aparente do carvão de bambu

Segundo Brito et al (1987), o valor de densidade aparente para o carvão da espécie *Bambusa vulgaris* foi de 0,418 g/cm³.

Os maiores valores de densidade básica apresentados pelos bambus, são altamente favoráveis em termos do seu emprego para a produção de carvão vegetal pois resultarão em carvões mais densos o que é quase sempre desejável em termos de qualidade desse produto (BRITO et al 1987).

2.2.2.4 Poder calorífico do carvão de bambu

Os valores de poder calorífico superior do carvão com temperatura de carbonização de 400°C para a espécie *Bambusa vulgaris* obtido em literatura variou de 7785 kcal/kg (Brito et al., 1987 e Ribeiro, 2005) a 6390 kcal/kg (COSTA, 2004).

Segundo Costa (2004) o poder calorífico para o carvão de *Bambusa vulgaris* com temperatura de carbonização de 800°C apresentou 7969 kcal/Kg, a temperatura de 600°C valor de 7401 kcal/kg e temperatura de 400°C um valor de 6390 kcal/kg.

2.2.2.5 Composição química imediata do carvão de bambu.

Os teores de carbono fixo obtidos em literatura para a espécie *Bambusa vulgaris* foam de 86,30% segundo (BRITO et.al, 1987), e 78,00% para (Costa, 2004), 78,84% de acordo com (CARVALHO Jr, 2010) e 78,30 % para (MACEDO et.al, 2014).

Os valores obtidos para o teor de voláteis da espécie *Bambusa vulgaris* em literatura apresenta 16,75% para (Brito et.al, 1987), sendo que para Costa (2004) o valor de 16,75%, e segundo Carvalho Jr (2010) valor de 16,00% e para Macedo et.al (2014) um valor de 21,30%.

Os teores de cinzas do carvão da espécie *Bambusa vulgaris* segundo literatura são de 2,4% para (BARRICHELO et.al,1975), em torno de 1,7% segundo (GOMIDE et al,1981) e Montalvão Filho et al (1984) encontraram valores de 2,5%. Já Costa (2004) obteve valor para o teor de cinzas de 3,28%.

2.2.3 USO DO BAMBU PARA PRODUÇÃO DE BRIQUETES

Prado (2001) destaca que o início do processo de briquetagem teve origem na Europa no início do século passado. Segundo Bezzon & Ivengo (1999) a briquetagem é a Trituração (moagem) de um material lignocelulósico, com a posterior compactação a elevadas pressões e temperatura na faixa de 100° C. O aumento da temperatura provoca a plastificação da lignina, a qual atua como ligante das partículas do material. Esta aglomeração somente tem sucesso com umidade do material em torno de 8 a 15% e com partículas com tamanho médio de 5 a 10 mm.

A briquetagem torna-se uma alternativa para a melhoria do aproveitamento de resíduos de biomassa. Segundo Diblasi Filho (2007), o processo de briquetagem pode reduzir

drasticamente a poluição ambiental, vindo assim a colaborar com a sustentabilidade energética.

O produto final do processo de briquetagem é conhecido por “briquete”, uma importante fonte de energia, a qual possui grandes vantagens em relação a outros materiais.

Segundo Quirino e Brito (1991), a vantagem da utilização de briquetes em caldeiras industriais é a concentração de energia por unidade de massa do material, fato este que também contribui para a economia no transporte, pois um mesmo volume de briquetes pode ter cinco vezes mais energia que a madeira.

Apesar da matéria-prima mais usual para a produção de briquetes ser a madeira, uma alternativa para substituir está matéria-prima na geração de energia pode ser o bambu, que por sua vez, segundo Diblasi Filho (2007) vem sendo utilizado de várias formas.

Os briquetes de espécies de bambus pode-se tornar um potencial grandioso para a utilização de energia e co-geração de energia por ser fonte alternativa renovável (DIBLASI FILHO, 2007).

2.2.3.1 Granulometria das partículas para a produção de briquetes

O tamanho de partículas é muito importante para determinar a qualidade e durabilidade de um pélete ou briquete. Quanto menor for o tamanho de partícula, menor será a porosidade do produto final e, portanto, maior será a sua densidade. A baixa porosidade do pélete ou briquete pode, entretanto dificultar a queima devido ao menor número de espaços livres para difusão de calor. Sendo assim, a taxa de combustão dos produtos muito densos será menor e maior o período de combustão (DIAS et al, 2012). Além disso, quanto

menor o tamanho da partícula, maior é a área superficial da mesma, podendo em alguns casos necessitar o uso de adesivos para obter maior resistência mecânica (PEREIRA, 2009).

Segundo Kaliyan e Morey (2009), o tamanho das partículas é um influenciador importante da durabilidade e resistência dos briquetes, evidenciando a importância da classificação granulométrica da biomassa antes da compactação. Sendo que menores partículas facilitam a união das mesmas, diminuindo os espaços vazios entre as partículas proporcionando maior densidade relativa aparente.

No entanto, estudos mostram que a condição ideal é a presença de partículas de diferentes tamanhos, pois isso possibilita a melhora no empacotamento das partículas e contribui para a alta resistência dos briquetes e péletes. Uma distribuição ampla de tamanho de partículas promove a incorporação das partículas pequenas pelas partículas de maior dimensão (DIAS et al, 2012).

Bezzon & Ivengo (1999) mencionam que a granulometria média das partículas para a produção de briquetes deve ser de 5 a 10mm. Dias et al (2012) acrescentam que exceto para materiais que possuem pequeno tamanho de partícula, como serragem e casca de arroz, todos os outros materiais devem ser reduzidos a 6-8 mm de tamanho com cerca de 10-20% de finos para se obter bons resultados de briquetagem. As condições de processamento devem ser alteradas para se adequar às exigências de cada biomassa particularmente.

2.2.3.2 Teor de umidade de briquetes de bambu

O teor de umidade possui influência direta no poder calorífico dos briquetes, pois quanto mais umidade, maior será a quantidade de energia térmica necessária para a evaporação da água contida no material (PESSOA FILHO, 2013). Capote (2012) destaca ainda que o teor de umidade pode ser influenciado por diversos fatores como, por exemplo, a parte do

vegetal utilizado, a estação do ano, o local de coleta, dentre outros fatores.

Para Bezzon e Ivengo (1999) e Alves Junior e Santos (2002) para que esta aglomeração tenha sucesso há necessidade de uma umidade de 8 a 15%. Os estudos feitos por Demirbas et al. (2004) mostraram que o teor de água ideal, para a maioria das biomassas, está entre 5-10%, pois resulta em um produto mais denso, estável e durável do que briquetes compactados com teores de água acima dos 15%.

2.2.3.3 Densidade aparente dos briquetes de bambu

Densidade é um parâmetro importante na compactação: quanto maior a densidade, maior a razão energia/volume. Somado a isso, produtos de alta densidade são desejáveis em termos de transporte, armazenamento e manuseio (DIAS et.al 2012).

A densidade do material também é uma importante propriedade à ser considerada no decorrer da produção de briquetes a partir da biomassa agroflorestal (QUIRINO, 2000).

A densidade dos compactados depende da densidade do resíduo lignocelulósico de origem, da pressão de briquetagem ou de peletização e, em certo grau, do tempo e temperatura de processamento (DERMIBAS et al., 2004).

Segundo Brand (2010), a utilização de combustíveis mais densos resulta em economia no transporte, em virtude da redução do volume transportado.

Em geral, a densidade aparente dos briquetes varia entre 500 e 1200 kg/m³, (DIAS et.al 2012).

2.2.3.4 Resistência à compressão dos briquetes

A resistência à compressão é uma característica importante para a avaliação de um briquete, pois caso esta resistência não venha a atingir valores adequados, podem

ocorrer ruptura e abrasão. Esta avaliação pode direcionar seus usos, quer sejam domésticos ou até mesmo aplicações em altos fornos industriais (PROTÁSIO, 2011).

Segundo Protásio et al. (2011), a resistência à compressão dos briquetes deve ser considerada, principalmente quando os mesmos serão utilizados em equipamentos que exijam baixos teores de finos. Além disso, segundo Kaliyan & Morey (2009), o tamanho das partículas para a composição de briquetes é uma característica que possui influência direta na resistência a compressão.

2.3 DENSIDADE ENERGÉTICA COMO FERRAMENTA PARA ANÁLISE DA MELHOR FORMA DE UTILIZAÇÃO DO BAMBU PARA GERAÇÃO DE ENERGIA

A densidade energética é um critério de indicação da qualidade energética, considerando que esta medida leva em conta a relação entre a densidade básica do combustível e o poder calorífico superior (MOREIRA, 2012). Segundo Pinheiro, et. al. (2005), a densidade energética possui relação direta com a densidade a granel, quanto menor a densidade a granel, menor a densidade energética. No entanto, é influenciada indiretamente pelo teor de cinzas, pois o aumento de tal teor diminui o valor do poder calorífico superior (MOREIRA, 2012).

Couto, et al (2004), comentaram que a baixa densidade energética de uma biomassa sólida, em comparação com o petróleo e o carvão mineral, resulta em custos elevados de transportes e armazenamento.

No caso dos briquetes, a densidade energética pode ser definida como a quantidade de energia por volume. Quando são comparados com a lenha, percebe-se que a densidade energética dos briquetes é três vezes superior (QUIRINO, 2000).

Os valores calculados para a densidade energética (MJ/m^3) de colmos de *Bambusa vulgaris* foram de $9,859 \text{ MJ/m}^3$,

10,801 MJ/m³, 11,335 MJ/m³, respectivamente para as posições base, meio e topo, indicando que a densidade energética aumentou da base para o topo (MOREIRA,2012).

3. MATERIAL E MÉTODOS

As espécies de bambu analisadas neste trabalho foram a *Bambusa vulgaris* e *Phyllostachys bambusoides*, ambas com 3 anos de idade. Foram selecionados 5 indivíduos aleatoriamente de cada espécie e coletadas porções de 1,0 m a 1,5 m de comprimento na base, na porção mediana e no topo dos colmos (Figura 2).

A espécie *Bambusa vulgaris* foi coletada na Fazenda Experimental Ressacada da Universidade Federal de Santa Catarina, com coordenadas geográficas 27°41'03.7"S 48°32'33.8"W em Florianópolis, Santa Catarina, sendo que a sua adaptação e crescimento ocorre em clima quente e sem geadas.

A espécie *Phyllostachys bambusoides* foi coletada na propriedade de Fomio Honda, com coordenadas geográficas 27°13'19.5"S 50°44'13.4"W na cidade de Frei Rogério – Santa Catarina, sendo região de clima frio e com ocorrência de geadas em todo o inverno.

Figura 2 - COLMOS DAS ESPÉCIES *Bambusa vulgaris* (A) E *Phyllostachys bambusoides* (B) UTILIZADOS PARA AS ANÁLISES ENERGÉTICAS.

Figura A: *Bambusa vulgaris*



Fonte: Fazenda Experimental Resacada - SC

Figura B: *Phyllostachys bambusoides*



Fonte: Propriedade Fumio Honda

Os dados dendrométricos das duas espécies coletadas podem ser visualizados na Tabela 2.

Tabela 2 DADOS DENDROMÉTRICOS DAS
ESPÉCIES *Bambusa vulgaris* e *Phyllostachys bambusoides*.

Indivíduo	<i>Bambusa vulgaris</i>		<i>Phyllostachys bambusoides</i>	
	DAP (cm)	Altura total (m)	DAP (cm)	Altura total (m)
1	9,00	18,00	8,00	15,00
2	10,50	13,00	7,00	13,00
3	7,30	12,00	8,00	12,50
4	10,50	16,00	9,00	16,00
5	11,00	16,50	8,00	15,00
Média	9,66	15,10	8,00	14,30

Fonte: O Autor

As espécies foram analisadas com relação à qualidade energética na forma *in natura*, após a produção de carvão vegetal e após a confecção de briquetes.

Para tanto, a partir dos colmos *in natura*, foram confeccionados corpos de prova para a determinação da massa específica básica (MEB), por meio do método do máximo teor de umidade (FOELKEL et al., 1971), conforme Equação 1.

$$D_b = \frac{1}{\left(\frac{P_m - P_{as}}{P_{as}}\right) + \left(\frac{1}{G_s}\right)}$$

Onde:

P_m = Peso do ar dos cavacos saturados após a remoção, com papel absorvente, da água superficial (g/cm^3).

P_{as} = Peso absolutamente seco dos cavacos, conseguido através da secagem em estufa a $105^\circ\text{C} \pm 3^\circ\text{C}$ até peso constante (g/cm^3).

G_s = densidade da substância madeira.

Admitindo que a densidade média da substância madeira é 1,53 g/cm³ a expressão fica:

Equação 2:

$$D_b = \frac{1}{\left(\frac{P_m - 0,346}{P_{as}} \right)}$$

O restante do material foi moído em moinho de martelo e da serragem foi retirada uma amostra para a determinação do teor de umidade (TU), sendo o restante colocado em câmara climatizada, para posterior determinação da granulometria (G) para o ajuste do tamanho das partículas para a produção dos briquetes.

As peneiras utilizadas para a determinação da granulometria foram: peneira 1 (P1) com abertura de tela de 45 mm (1 ¾" ASTM); Peneira 2 (P2) com abertura de tela de 31,5 mm (1 ¼" ASTM); peneira 3 (P3) com abertura de tela de 16,00 mm (5/8" ASTM); peneira 4 (P4) com abertura de tela 8,00 mm (5/16" ASTM); peneira 5 (P5) com abertura de tela de 3,35 mm (6 ASTM); peneira 6 (P6) com abertura de tela de 0,425 mm (40 ASTM) e peneira 7 (P7) com abertura de tela de 0,250 mm (60 ASTM).

Para as análises energéticas e químicas da serragem do bambu foi utilizado o material retido em peneira de 60 mersh, podendo ser visualizados na tabela 3 e 4.

Tabela 3 GRANULOMETRIA PARA PROCESSO DE BRIQUETAGEM DA ESPÉCIE *Bambusa vulgaris*.

Dimensões das partículas	Distribuição granulométrica (%)		
	Base	Meio	Topo
16 mm	0,07	0,00	0,00
8 mm	0,13	6,29	8,43
3,35 mm	1,38	11,69	8,96
0,425 mm	69,16	67,05	66,94
0,250 mm	15,26	8,23	7,91
0,250 mm	13,99	6,74	7,76
Total	100,00	100,00	100,00

Fonte: O Autor.

Tabela 4 GRANULOMETRIA PARA PROCESSO DE BRIQUETAGEM DA ESPÉCIE *Phyllostachys bambusoides*.

Dimensões das partículas	Distribuição granulométrica (%)		
	Base	Meio	Topo
16 mm	2,63	0,00	0,00
8 mm	0,18	10,92	14,13
3,35 mm	20,11	19,13	22,06
0,425 mm	64,33	53,64	47,02
0,250 mm	7,42	12,08	12,10
0,250 mm	5,33	4,23	4,69
Total	100,00	100,00	100,00

Fonte: O Autor.

As análises físicas, químicas e energéticas realizadas no material *in natura* podem ser visualizadas na Tabela 5, juntamente com as normas utilizadas e o delineamento experimental adotado no estudo.

Tabela 5 Delineamento experimental e normas utilizadas para a determinação das propriedades físicas e energéticas nos colmos *in natura* das espécies *Bambusa vulgaris* e *Phyllostachys bambusoides*

Propriedade analisada	Norma/Fonte	N	N P	R	Total
TU	NBR 14929 (ABNT, 2003)	5	3	3	45
MEB	Foelkel et al. (1971)	5	3	1 0	15 0
PCS	DIN 51900 (DIN, 2000)	5	1	3	15
AI	ASTM D-1762 (ASTM, 2007)	5	1	3	15
AQ	NBR 7989 (ABNT, 2010) e NBR 14660 (ABNT, 2004)	5	1	4	20
G	EN15149-1:2010 (CEN, 2010)	5	3	3	45

Fonte: O autor

Legenda: TU = Teor de umidade na base úmida; MEB = Massa específica básica; PCS = Poder calorífico superior; AI = Análise imediata (Teor de carbono fixo; voláteis e teor de cinzas); AQ = Porcentagem e lignina e extractivos totais; G = Granulometria. N = número de indivíduos analisados; NP = Número de posições (3: base, meio e topo; 1: para a mistura das três posições); R = número de repetições para cada propriedade analisada em cada posição e indivíduo.

Os mesmos corpos de prova utilizados para a determinação da massa específica básica foram carbonizados conforme rampa de carbonização apresentada na Tabela 6.

Tabela 6 RAMPA DE CARBONIZAÇÃO UTILIZADA
PARA A PRODUÇÃO DE CARVÃO PARA AS
ESPÉCIES *Bambusa vulgaris* E *Phyllostachys bambusoides*

Tempo (h)	Início	00:20	01:27	03:04	04:48	06:02	06:32
Temperatura (°C)	25	150	200	250	350	450	450
Taxa de aquecimento (°C/min)	-	7,5	2,3	1,36	1,22	1,24	-

Fonte: O Autor

Após a carbonização, foi determinada a densidade aparente do carvão, por meio das medidas de volume e peso dos corpos de prova, e o rendimento gravimétrico da carbonização pela relação entre o peso seco do carvão e o peso absolutamente seco do corpo de prova, antes da carbonização, conforme figura 3.

Figura 3 - CORPOS DE PROVA PARA CARBONIZAÇÃO DAS ESPÉCIES *Bambusa vulgaris* e da espécie *Phyllostachys bambusoides*



Fonte: O Autor

Os corpos de prova de carvão foram moídos e utilizados para a determinação do: teor de umidade na base úmida, segundo a norma NBR 14929 (ABNT, 2003); poder calorífico superior, segundo a norma DIN 51900 (DIN, 2000) e análise imediata segundo a norma ASTM 7989.

Para a produção dos briquetes foi utilizada uma briquetadeira de laboratório da marca Lippel, piloto tipo pistão hidráulico, com temperatura de aquecimento de 120 °C. O tempo de produção dos briquetes foi de dez minutos, sendo que nos primeiros oito minutos aplicou-se a pressão de 50 bar, assemelhando-se ao período de acondicionamento existente nos processos industriais. Em seguida, elevou-se a pressão até a pressão de 95 bar durante os últimos dois minutos a fim de que ocorresse a ligação interna, possibilitando a consolidação do briquete conforme figura 4.

Figura 4 - PRODUÇÃO DOS BRIQUETES DAS ESPÉCIES *Bambusa vulgaris* e da espécie *Phyllostachys bambusoides*



Fonte: O Autor

Foi determinado o teor de umidade da serragem e posteriormente confeccionados quatro briquetes para cada tratamento, sendo que estes apresentavam dimensões nominais de 35 mm de diâmetro e comprimento variável em torno de 50 mm. A massa de serragem utilizada para a produção de cada briquete foi de 50 g. A composição granulométrica de cada briquete foi de 88% (44g) da massa do briquete constituída de partículas entre 3,35 a 15,99 mm e 12% (6g) com partículas entre 0,25 a 3,34 mm, seguindo norma EN 15149.

As propriedades dos briquetes analisadas foram: teor de umidade na base úmida (ABNT,2003); massa específica aparente e resistência à compressão. A massa específica

aparente dos briquetes foi determinada pela relação entre a massa, obtida por pesagem em balança de precisão (0,001g), e o volume com base nas medidas do diâmetro e comprimento do briquete, antes da realização do ensaio de resistência à compressão.

O teste de resistência à compressão foi realizado em máquina universal de ensaios EMIC modelo DL-300KN, segundo protocolo descrito pela norma NBR 7222 (2011), com velocidade de compressão de $2 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$, a fim de obter-se uma força máxima suportada pelo briquete até o seu rompimento total.

O volume dos corpos de prova foi determinado por meio da seguinte equação:

Equação 3:

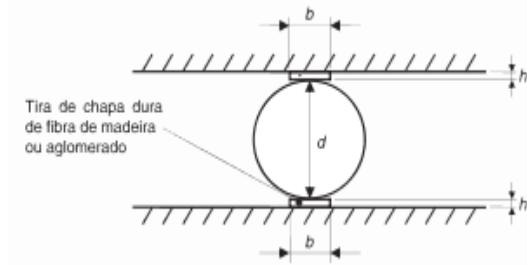
$$\text{Volume} = \frac{\pi * \text{diâmetro}^2}{4} * \text{comprimento}$$

Onde:

$$\pi = 3,1416$$

O posicionamento dos corpos de prova na máquina universal de ensaios pode ser visualizada na Figura 3.

Figura 5 - POSICIONAMENTO DOS CORPOS PROVA NA MÁQUINA UNIVERSAL



Fonte: NBR 7222 (ABNT, 2011).

Legenda: d = diâmetro do corpo de prova, em mm;

$b = (0,15 \pm 0,01)$ em mm;

$h = (3,5 \pm 0,5)$, em mm

A carga máxima de ruptura dos briquetes (MPa) foi determinada por meio da seguinte equação:

Equação 4:

$$\text{Carga} = \frac{2 * F}{\pi * d * l}$$

Onde:

Carga = carga máxima de ruptura dos briquetes (MPa)

F: força em *Newtons*;

d : diâmetro em milímetros;

l : comprimento em milímetros.

Após o ensaio de compressão, os briquetes foram fragmentados para a determinação do teor de umidade na base úmida.

Para determinar qual é a melhor forma de utilização do bambu para a geração de energia foi calculada a densidade energética dos colmos *in natura*, do carvão e dos briquetes produzidos com as espécies de bambu, utilizando-se a razão entre o poder calorífico superior e a massa específica de cada um dos produtos (serragem, carvão e briquetes), utilizando-se as equações 5, 6 e 7.

Equação 5: Densidade energética dos colmos *in natura*:

$$D_{in} = D_b \times PCS$$

Onde:

D_{in} = Densidade energética dos colmos *in natura* (MJ/m^3)

D_b = Densidade básica dos colmos (kg/m^3)

PCS = Poder calorífico superior dos colmos (kJ/kg)

Equação 6: Densidade energética para o carvão:

$$D_c = PCS \times D_{ap}$$

Onde:

D_c = Densidade energética do carvão (MJ/m^3)

PCS = Poder calorífico superior do carvão (kg/m^3)

D_{ap} = Densidade aparente do carvão (kJ/kg)

Equação 7: Densidade energética para briquetes:

$$D_b = D_{ap} \times PCS$$

Onde:

Db = Densidade energética do briquete (kJ/kg)

PCS = Poder calorífico superior dos colmos *in natura* (kJ/kg)

Dap = Densidade aparente dos briquetes (kJ/kg)

Neste sentido, para os colmos *in natura* foi utilizada a massa específica básica e para os briquetes e carvão a massa específica aparente. Já para os briquetes foram utilizados os valores de poder calorífico superior dos colmos *in natura*, visto que o processo de briquetagem não promove alterações químicas na matéria-prima e portanto, o poder calorífico dos briquetes e dos colmos é o mesmo.

Com relação a análise estatística, foi aplicado o Teste F para verificação da variação entre os tratamentos e posteriormente o Teste de médias de Tukey a 5% de probabilidade para diferenciação dos tratamentos.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 *Bambusa vulgaris*

4.1.1 Qualidade energética dos colmos *in natura*

4.1.1.1 Teor de umidade na base úmida dos colmos *in natura*

Os resultados apresentados na Tabela 7 correspondem aos valores médios do teor de umidade dos colmos de *Bambusa vulgaris*.

Tabela 7 TEOR DE UMIDADE NA BASE ÚMIDA (%)
DOS COLMOS DE *Bambusa vulgaris*

Indivíduo	Base	Meio	Topo	Média
1	33	34	35	34 c
2	35	36	36	36 c
3	54	53	54	54 a
4	40	39	38	39 b
5	31	30	31	31 d
Média	39 a	38 a	39 a	39

Nota: Médias seguidas da mesma letra, NA COLUNA, indicam que não há diferença significativa entre os indivíduos, a um nível de 95% para o Teste de Tukey. Média seguida da mesma letra, NA LINHA, indicam que não há diferença significativa entre as posições, a um nível de 95% para o Teste de Tukey.

O teor de umidade da espécie avaliada está próximo do máximo desejado para a geração de energia que é de 30%, se constituindo em uma vantagem quando da utilização dos colmos para queima direta. Os colmos de *Bambusa vulgaris*, apresentaram valor médio de teor de umidade de 39%, variando de 31 a 54%, com diferença estatística entre os indivíduos

avaliados. Para colmos maduros desta espécie, com mais de 3 anos, Rousset et al. (2011) encontrou valores de 20,19% de umidade.

Espécies madeireiras, como as do gênero *Eucalyptus* e *Pinus*, são mais comumente utilizadas para a geração de energia na região de estudo, no sul do Brasil. Estas por sua vez, apresentam altos teores de umidade no material recém colhido, comparativa ao bambu. Brand et al (2012) e Brand (2013) analisando o teor de umidade de toras de *Pinus taeda* e *Eucalyptus dunnii* destinadas à geração de energia, na mesma região de estudo, colhidas em diferentes épocas do ano observaram valores que variaram de 55 a 65%, com valor médio de 59% para pinus com casca e 50 a 58% com valor médio de 54% de umidade para toras de eucalipto com casca recém colhidas.

As médias em relação às alturas, da base para o topo, não apresentaram diferenças significativas entre si ao nível de significância de 95% para o teste de Tukey, contrariando o que Costa (2004) observou em seu trabalho, onde afirmou que existe variação do teor de umidade ao longo da altura, aumentando da base para o topo.

4.1.1.2 Densidade básica dos colmos *in natura*

Os resultados apresentados na Tabela 8 correspondem a valores médios da densidade básica da espécie *Bambusa vulgaris*.

Tabela 8 DENSIDADE BÁSICA (g/cm³) DOS COLMOS
DE *Bambusa vulgaris*

Indivíduo	Base	Meio	Topo	Média
1	0,685	0,777	0,793	0,752 a
2	0,515	0,681	0,641	0,612 b
3	0,360	0,430	0,419	0,403 d
4	0,567	0,674	0,794	0,678 c
5	0,574	0,655	0,800	0,676 bc
Média	0,540 b	0,643 a	0,689 a	0,624

Nota: Médias seguidas da mesma letra, NA COLUNA, indica que não há diferença significativa entre os indivíduos, a um nível de 95% para o Teste de Tukey. Média seguida da mesma letra, NA LINHA, indica que não há diferença significativa entre as posições, a um nível de 95% para o Teste de Tukey.

A densidade básica média dos colmos da espécie *Bambusa vulgaris* pode ser classificada como média e foi semelhante à densidade básica média dos colmos da mesma espécie, com aproximadamente quatro anos, analisados por Melo et al (2015), que foi de 0,630 g/cm³. Moreira (2012) obteve valores médios de 0,646 g/cm³, enquanto Brito et al (1987) encontrou valores de 0,687 g/cm³, para a idade de 3 anos. Portanto, os valores deste trabalho foram similares aos obtidos por outros pesquisadores, inclusive com relação à variação estatística que ocorreu entre os indivíduos da mesma espécie.

O indivíduo 5 não apresenta diferença significativa em relação aos indivíduos 2 e 4 a um nível de 95% para o teste de Tukey. Os demais foram diferentes entre si, salientando-se que o indivíduo 3 apresentou menor média, seguido do indivíduo 2, sendo que a maior média foi do indivíduo 1.

Vale salientar que Gomide et al. (1981) mencionaram que a densidade varia de acordo com a idade, sendo que esta variação é perceptível da idade de 1 ano até 4 anos. Após a idade de 4 anos a densidade não sofre alterações consideráveis.

Em comparação com espécies madeiráveis, a exemplo do *Eucalyptus* sp. utilizado para geração de energia através da biomassa, a densidade da *Bambusa vulgaris* é similar aos valores encontrados por Protásio et al. (2013) que variaram de 0,471 g cm³ a 0,619 g cm³ para diferentes espécies de *Eucalyptus*.

Com relação ao perfil da densidade na altura dos colmos, existe diferença significativa entre a base e as posições meio e topo, sendo estas duas últimas iguais entre si, sendo que a densidade aumenta da base para o topo.

O mesmo comportamento foi descrito por Azzini et al (1987), Lima et al (2011) e Moreira (2012). Azzini et al (1987) em seus estudos encontrou valores de 0,660g/cm³, 0,790 g/cm³ e 0,813 g/cm³, Lima et al (2011), obteve resultados que variam de 0,400g/cm³, 0,510 g/cm³ e 0,550g/cm³ e Moreira (2012) encontrou valores que variaram de 0,538g/cm³, 0,591 g/cm³ e 0,628 g/cm³, respectivamente para base, meio e topo, para densidade da espécie de *Bambusa vulgaris*.

4.1.1.3 Propriedades energéticas dos colmos *in natura*

Os resultados apresentados na Tabela 9 correspondem aos valores médios da análise imediata e poder calorífico superior da espécie *Bambusa vulgaris*.

Tabela 9 COMPOSIÇÃO QUÍMICA E PODER CALORÍFICO SUPERIOR DOS COLMOS DE *Bambusa vulgaris*.

Indivíduo	Teor de voláteis (%)	Teor de carbono fixo (%)	Teor de cinzas (%)	Poder calorífico superior (kcal/kg)
1	82,49 a	16,31 a	1,19 b	4585 b
2	82,40 a	14,21 a	3,39 a	4702 a
3	81,98 a	15,07 a	2,95 a	4599 ab
4	82,54 a	15,74 a	1,72 b	4452 c
5	81,87 a	14,96 a	3,17 a	4517 bc
Média	82,25	15,26	2,49	4571

Nota: Médias seguidas da mesma letra, NA COLUNA, indica que não há diferença significativa entre os indivíduos, a um nível de 95% para o Teste de Tukey.

O teor de voláteis obtido para a espécie em média foi mais alto em comparação ao observado por autores como Macedo et al (2014), que ao analisar o teor de voláteis de *Bambusa vulgaris* com 1 ano de idade, obteve valores de 78,30%. Rousset (2010) em seus estudos encontrou valores de 70,64%, enquanto Moreira (2012) obteve valores de 78,14%.

Os valores de carbono fixo obtidos foram mais baixos em comparação ao observado por autores como Macedo et. al (2014), que na análise do teor de carbono fixo para espécie de *Bambusa vulgaris* com 1 ano de idade, obteve valores de 19,60%. Rousset (2010) em seu trabalho encontrou valores de

26,77%, já Moreira (2012) obteve valores de 17,67%. Tanto para voláteis como para carbono fixo não houve variação estatística entre os indivíduos.

Os valores de teores de cinzas para o *Bambusa vulgaris* com idade de 3 anos neste estudo estão abaixo dos valores obtidos por Gomide et. al (1981) com média de 2,73%. Já Aguiar & Rousset (2010) obtiveram valores para teores de cinzas para as idades de 1 a 3 anos uma média de 2,49%, ficando no mesmo patamar de valores deste estudo. Os indivíduos 2, 3 e 5 não diferem entre si, sendo que os indivíduos 1 e 4 foram iguais entre si e diferentes dos demais ao nível de significância de 95%.

Os teores de cinzas tende a aumentar de acordo com a idade devido ao acumulo de corpos sílicos (MOREIRA 2012).

Considerando o uso energético, em termos gerais, a madeira apresenta índice de materiais voláteis entre 75 a 85%, e índice de carbono fixo entre 15 a 25%. Sendo que as madeiras de Coníferas apresentam valores médios de 82,54%, 0,29% e 17,70% e as folhosas 81,42%, 0,79% e 17,82% de teor de voláteis, cinzas e carbono fixo, respectivamente (BRAND, 2010).

Portanto, o bambu teve maior teor de cinzas, e teor de voláteis equivalente ao observado para diferentes espécies e grupos de madeiras. Neste sentido, o bambu pode ser considerado como um combustível de combustão rápida em que a maior parte de sua massa é queimada na forma de gases e a menor proporção na forma sólida (carbono residual).

O poder calorífico superior da *Bambusa vulgaris* pode ser considerado médio e similar ao registrado por outros autores: 4000 kcal/Kg (GUANNETTI, 2013); 4370 kcal/Kg (MOREIRA, 2012); 4400 Kcal/ Kg (AGUIAR; ROUSSET, 2010); 4219 Kcal/Kg (RIBEIRO, 2005) e 4216 Kcal/Kg (BRITO et.al, 1987). Quirino et al (2005) avaliando o poder calorífico de diferentes espécies madeireiras encontrou valores entre 3888 a 5263 kcal/kg, estando portanto o bambu dentro dos

valores observados para madeira. Houve diferença estatística entre os indivíduos analisados.

4.1.1.4 Propriedades químicas dos colmos *in natura*

Os resultados apresentados na Tabela 10 correspondem a valores médios para a composição química dos colmos da espécie *Bambusa vulgaris*.

Tabela 10 COMPOSIÇÃO QUÍMICA DOS COLMOS (%)
DE *Bambusa vulgaris*.

Indivíd	Etanol-tolueno	Etanol	Água quente	Extrativos totais	Lignina (%)
1	5,76 a	5,47 a	5,30 a	16,52 a	25,79 a
2	3,54 a	5,55 a	4,88 a	16,22 a	25,74 a
3	4,80 a	5,53 a	5,31 a	15,46 a	25,80 a
4	5,72 a	5,38 a	5,24 a	16,37 a	25,75 a
5	5,89 a	5,50 a	5,31 a	16,71 a	25,60 a
Média	5,14	5,49	5,21	16,26	25,76

Nota: Médias seguidas da mesma letra, NA COLUNA, indica que não há diferença significativa entre os indivíduos, a um nível de 95% para o Teste de Tukey.

Os valores de extrativos tanto em etanol tolueno, etanol e água quente foram elevados, como também o teor de lignina, não apresentando variação estatística entre os indivíduos analisados. Os valores observados foram compatíveis com os obtidos por outros autores. Com relação aos extrativos, Macedo et al (2014) encontrou o valor 5,5% e Moreira (2012) encontrou 4,14%, para extrativos em etano-tolueno e Brito et al. (1987) obtiveram 16,2% de extrativos totais. De acordo com os resultados para extrativos em água quente não apresentam diferenças significativas entre si, sendo que Li (2004) observou valores médios de 6,89 % para bambus com idade de 3 anos.

Para o teor de lignina, Macedo et al (2014) encontraram o valor de 25,8% de lignina total, para a espécie com 1 ano de idade; Rousset et al (2011) obteve 26,65% de lignina, para colmos com mais de 3 anos; e para a idade de 3 anos, Moreira (2012) encontrou valores de 23,11%, Brito et al. (1987) encontraram 17,5% e Gomide et al. (1981) 23,00%.

Comparando-se a composição química do bambu com a madeira, este último combustível (madeira) possui menor teor de extractivos, e maior teor de lignina. Bassa et al (2007) obteve valores de 2,37% e 2,50% para extractivos totais e 31,18% e 28,54% para teor de lignina para as espécies *Pinus taeda* e para o híbrido *Eucalyptus grandis x E. urophylla*, respectivamente.

A composição química caracterizada por maiores quantidades de extractivos é positivo para a geração de energia, visto que estes componentes possuem maior poder calorífico comparativamente a celulose e polioses conferindo a biomassa maior poder calorífico superior. No entanto, menores teores de lignina implicam em diminuição do poder calorífico superior.

4.1.2 Qualidade energética do carvão vegetal

4.1.2.1 Rendimento gravimétrico da carbonização

Os resultados apresentados na Tabela 11 correspondem aos valores médios do rendimento da carbonização da espécie *Bambusa vulgaris*.

Tabela 11 RENDIMENTO DA CARBONIZAÇÃO (%) DE COLMOS DA ESPÉCIE *Bambusa vulgaris*

Indivíduo	Base	Meio	Topo	Média
1	35,13	33,18	34,83	34,38 d
2	37,46	34,97	37,02	36,49 bc
3	39,02	36,59	38,68	38,10 a
4	37,26	35,21	34,76	35,74 c
5	38,09	37,06	36,80	37,31 ab
Média	37,39 a	35,40 c	36,42 b	36,40

Nota: Médias seguidas da mesma letra, NA COLUNA, indica que não há diferença significativa entre os indivíduos, a um nível de 95% para o Teste de Tukey. Média seguida da mesma letra, NA LINHA, indica que não há diferença significativa entre as posições, a um nível de 95% para o Teste de Tukey.

O rendimento gravimétrico (RG) do processo de carbonização foi alto, apresentando também muita variação entre os indivíduos. Xiong et al (2014) observaram rendimento em torno 31% para carbonização de bambu com temperatura de 450°C. Maia et al (2013), para a mesma temperatura, produzindo carvão com *Phyllostachys aurea* obteve RG de 34,3%. Costa (2004) obteve rendimento em carvão de 32,54% para *Bambusa vulgaris*, contudo a temperatura máxima média empregada na carbonização foi de 400°C. Brito et al. (1987) obtiveram o valor médio do RG do carvão vegetal de *Bambusa vulgaris* de 29,6%, com temperatura final de 550°C.

O indivíduo 1 que tem o menor valor de rendimento foi diferente de todos os demais. O indivíduo 3, com maior rendimento foi semelhante ao 5 e os indivíduos 2 e 5 não diferiram entre si.

As posições base, meio e topo diferem entre si, sendo que a base teve maior rendimento.

4.1.2.2 Teor de umidade do carvão vegetal

Os resultados apresentados na Tabela 12 correspondem aos valores médios da umidade do carvão vegetal da espécie *Bambusa vulgaris*.

Tabela 12 TEOR DE UMIDADE (%) DO CARVÃO VEGETAL DA ESPÉCIE *Bambusa vulgaris*

Indivíduo	Base	Meio	Topo	Média
1	3,43	3,68	3,76	3,62 d
2	3,95	4,05	3,83	3,94 c
3	6,77	6,17	5,66	6,02 a
4	4,51	5,00	5,00	4,48 b
5	4,45	4,96	4,84	4,75 b
Média	4,62 a	4,77 a	4,55 a	4,56

Nota: Médias seguidas da mesma letra, NA COLUNA, indica que não há diferença significativa entre os indivíduos, a um nível de 95% para o Teste de Tukey. Média seguida da mesma letra, NA LINHA, indica que não há diferença significativa entre as posições, a um nível de 95% para o Teste de Tukey.

O teor de umidade do carvão de *Bambusa vulgaris* foi baixo, com o maior valor observado para o indivíduo 3, sendo este diferente de todos os demais. Os indivíduos 4 e 5 apresentaram valores semelhantes entre si, sendo diferentes dos demais. Os indivíduos 1 e 2 apresentaram os menores valores para teor de umidade, sendo diferentes entre si e diferentes dos demais. Em relação a altura dos colmos, não houve variação estatística entre as posições.

De acordo com Costa (2004), o teor de umidade possui influência significante quando da produção do carvão, pois torna o mesmo quebradiço e aumenta a quantidade de finos, e reduzindo sua resistência mecânica.

4.1.2.3 Densidade aparente do carvão vegetal

Os resultados apresentados na Tabela 13 correspondem a valores médios da densidade do carvão vegetal da espécie *Bambusa vulgaris*.

Tabela 13 DENSIDADE RELATIVA APARENTE DO CARVÃO VEGETAL (g/cm³) DA ESPÉCIE *Bambusa vulgaris*

Indivíduo	Base	Meio	Topo	Média
1	0,363	0,389	0,493	0,415 b
2	0,287	0,353	0,395	0,345 c
3	0,225	0,263	0,285	0,258 d
4	0,332	0,358	0,457	0,382 bc
5	0,410	0,453	0,527	0,463 a
Média	0,323 c	0,363 b	0,431 a	0,372

Nota: Médias seguidas da mesma letra, NA COLUNA, indica que não há diferença significativa entre os indivíduos, a um nível de 95% para o Teste de Tukey. Média seguida da mesma letra, NA LINHA, indica que não há diferença significativa entre as posições, a um nível de 95% para o Teste de Tukey.

A densidade aparente do carvão de *Bambusa vulgaris* foi muito variável entre os indivíduos analisados, apresentando desde valores baixos de 0,258 até densidade aparente alta de 0,463 g/cm³. Segundo Brito et al (1987), o valores de densidade aparente para o carvão da espécie *Bambusa vulgaris* foi de 0,418 g/cm³, superior à média observada neste trabalho.

Os maiores valores de densidade básica, apresentados pelos bambus, são altamente favoráveis em termos do seu emprego para a produção de carvão vegetal porque resultarão em carvões mais densos o que é quase sempre desejável em termos de qualidade desse produto (BRITO et al 1987). Neste trabalho foi observada uma alta correlação positiva entre a

densidade básica dos colmos e a densidade aparente do carvão ($R^2 = 0,7436$).

As posições de base, meio e topo diferiram entre si, sendo que a base possuiu o menor valor e o topo o maior valor. Correlacionando os valores de densidade básica dos colmos nas diferentes posições com a densidade relativa aparente dos carvões foi possível estabelecer que a correlação é positiva e exponencial, tendo valores de $R^2 = 0,69$; $R^2 = 0,60$ e $R^2 = 0,74$, respectivamente para base, meio e topo dos colmos.

4.1.2.4 Propriedades energéticas do carvão

Os resultados apresentados na Tabela 14 correspondem aos valores médios do teor de voláteis do carvão vegetal da espécie *Bambusa vulgaris*.

Tabela 14 TEOR DE VOLÁTEIS DO CARVÃO VEGETAL (%) DA ESPÉCIE *Bambusa vulgaris*

Indivíduo	Base	Meio	Topo	Média
1	28,28	25,29	28,36	27,31 b
2	28,09	24,53	27,41	26,68 b
3	30,97	29,48	31,69	30,72 a
4	27,25	26,12	28,62	27,33 b
5	26,79	24,62	25,79	25,73 b
Média	28,28 a	26,01 b	28,37 a	27,55

Nota: Médias seguidas da mesma letra, NA COLUNA, indica que não há diferença significativa entre os indivíduos, a um nível de 95% para o Teste de Tukey. Média seguida da mesma letra, NA LINHA, indica que não há diferença significativa entre as posições, a um nível de 95% para o Teste de Tukey.

O teor de voláteis médio obtido para a espécie foi alto, em comparação aos observados por autores como Macedo et al (2014), que ao analisar o teor de voláteis de *Bambusa vulgaris*

com 1 ano de idade, obteve valores de 21,30%. Xiong et al (2014) encontraram 22%; Maia et al (2013) observaram 36,5%; Costa (2004) em seus estudos encontrou valores de 16,00%, sendo que Brito et al (1987) obteve valores de 16,75%. Somente o indivíduo 3 foi diferente estatisticamente dos demais.

Os valores elevados de teor de voláteis podem estar relacionados com a rampa de carbonização utilizada no estudo, visto que a temperatura, taxa de carbonização e tempo de carbonização tem influência sobre a qualidade do carvão obtido (COSTA, 2004).

As posições base e topo, que tiveram os maiores valores não diferiram entre si, enquanto a posição meio diferiu das demais.

Os resultados apresentados na Tabela 15 correspondem aos valores médios do teor de carbono fixo da espécie *Bambusa vulgaris*.

Tabela 15 TEOR DE CARBONO FIXO DO CARVÃO DA (%) ESPÉCIE *Bambusa vulgaris*

Indivíduo	Base	Meio	Topo	Média
1	68,27	71,11	66,51	68,63 a
2	66,70	70,28	65,56	67,52 a
3	62,76	65,64	60,56	62,99 b
4	68,39	69,66	67,40	68,48 a
5	68,34	69,40	69,29	69,01 a
Média	66,89 ab	69,22 a	65,87 b	67,32

Nota: Médias seguidas da mesma letra, NA COLUNA, indica que não há diferença significativa entre os indivíduos, a um nível de 95% para o Teste de Tukey. Média seguida da mesma letra, NA LINHA, indica que não há diferença significativa entre as posições, a um nível de 95% para o Teste de Tukey.

O teor de carbono fixo foi baixo para o carvão, comparativamente aos valores observados em literatura e com

diferença estatística somente entre o indivíduo 3 e os demais. Segundo Macedo et al (2014) o valor médio para carbono fixo foi de 78,30%;

Costa (2014) encontrou valores de 78,00 %, Carvalho Jr (2012) obteve em seu estudo valor de 78,94 e Brito et al (1987) encontraram valor médio de 86,30%. Somente Xiong et al (2014) e Maia et al (2013) encontraram valores menores que os aqui apresentados, de 65% e 57,4%, respectivamente.

Novamente, somente o indivíduo 3 diferiu dos demais. Com relação aos perfis de base, meio e topo, observou-se que a base foi semelhante tanto ao meio quanto ao topo. No entanto meio e topo foram diferentes entre si, com o maior valor de voláteis observado na posição mediana dos colmos.

Os resultados apresentados na Tabela 16 correspondem aos valores médios do teor de cinzas do carvão vegetal da espécie *Bambusa vulgaris*.

Tabela 16 TEOR DE CINZAS DO CARVÃO (%) DA ESPÉCIE *Bambusa vulgaris*

Indivíduo	Base	Meio	Topo	Média
1	3,45	3,61	5,13	4,06 c
2	5,21	5,19	7,03	5,81 a
3	6,28	4,88	7,74	6,30 a
4	4,36	4,22	3,99	4,19 cb
5	4,87	5,98	4,92	5,26 ab
Média	4,83 a	4,77 a	5,76 a	5,12

Nota: Médias seguidas da mesma letra, NA COLUNA, indica que não há diferença significativa entre os indivíduos, a um nível de 95% para o Teste de Tukey. Média seguida da mesma letra, NA LINHA, indica que não há diferença significativa entre as posições, a um nível de 95% para o Teste de Tukey.

O teor de cinzas médio obtidos para a espécie foi alto em comparação com resultados observados em literatura, e com

muita variação entre os indivíduos. Maia et al (2013) obtiveram 2,7%; Costa (2004) obteve valor de 3,28%; 3,5% para Brito et al (1987); 1,7% para Gomide et.al (1981). Somente Xiong et al (2014) registrou 13% de teor de cinzas.

Em relação aos perfis, as posições base, meio e topo não diferem entre si ao nível de significância de 95%.

Zanuncio et al (2014) determinaram para carvão de várias espécies de *Eucalyptus* os valores 19,33 a 26,93% de voláteis; 72,70 a 80,22% de carbono fixo, 0,21 a 1,88% de cinzas, demonstrando que a qualidade do carvão obtido de *Bambusa vulgaris* na rampa de carbonização adotada no estudo foi baixa quanto a composição química imediata.

Os resultados apresentados na Tabela 17 correspondem aos valores médios do poder calorífico superior do carvão vegetal da espécie *Bambusa vulgaris*.

Tabela 17 PODER CALORÍFICO SUPERIOR DO CARVÃO VEGETAL (Kcal/Kg) DA ESPÉCIE *Bambusa vulgaris*

Indivíduo	Base	Meio	Topo	Média
1	7930	7533	7242	7568 a
2	7533	7410	7077	7340 ab
3	7512	7262	6848	7207 b
4	7458	7685	7377	7507 ab
5	7674	7463	7458	7532 ab
Média	7621 a	7470 a	7200 b	7431

Nota: Médias seguidas da mesma letra, NA COLUNA, indica que não há diferença significativa entre os indivíduos, a um nível de 95% para o Teste de Tukey. Média seguida da mesma letra, NA LINHA, indica que não há diferença significativa entre as posições, a um nível de 95% para o Teste de Tukey.

De forma geral, o poder calorífico superior do carvão de *Bambusa vulgaris* foi alto. Os valores obtidos em literatura

variaram de 7969 kcal/kg (COSTA, 2004) até 7785 kcal/kg (BRITO et al., 1987), sendo superiores aos observados neste trabalho.

Os indivíduos 1 e 3 foram diferentes entre si, registrando o maior e menor valor, respectivamente, sendo o demais semelhantes entre si e com os indivíduos 1 e 3.

4.1.3 Qualidade dos briquetes de *Bambusa vulgaris*

4.1.3.1 Propriedades físicas e mecânicas dos briquetes

Os resultados apresentados na Tabela 18 correspondem aos valores médios das propriedades físicas e resistência mecânica dos briquetes da espécie *Bambusa vulgaris*,

Tabela 18 PROPRIEDADES FÍSICAS E RESISTÊNCIA MECÂNICA DOS BRIQUETES DA ESPÉCIE *Bambusa vulgaris*.

Indivíduo	TUS (%)	TUB (%)	DA (kg/m³)	RC (MPa)
1	10,55 a	7,83 bc	1069 c	4,899 ab
2	10,56 a	7,51 c	1087 bc	4,729 ab
3	11,55 a	8,45 ab	1104 bc	4,496 b
4	10,12 a	8,94 a	1118 b	4,527 b
5	10,94 a	7,81 bc	1179 a	6,155 a
Média	10,54	8,11	1111	4,961

Nota: Médias seguidas da mesma letra, NA COLUNA, indica que não há diferença significativa entre os indivíduos, a um nível de 95% para o Teste de Tukey.

Legenda: Teor de umidade da serragem (TUS), Teor de umidade do briquete (TUB), densidade aparente (DA), resistência a compressão (RC)

O teor de umidade da serragem antes do processo de briquetagem estava homogêneo para todos os indivíduos analisados, não havendo diferença estatística entre as amostras. O teor de umidade das partículas foi adequado ao processo de briquetagem, conforme descrito por Alves Junior e Santos (2002) e Demirbas et al. (2004), devendo estar entre 5 e 15%. Houve redução do teor de umidade após a compactação da serragem dos colmos, sendo que para os briquetes houve variação estatística entre os indivíduos para esta propriedade.

A densidade aparente dos briquetes foi alta. Protasio et al. (2011), analisando briquetes de diferentes matérias-primas obteve densidade aparente de 946 kg/m^3 para briquetes de serragem de eucalipto; 934 kg/m^3 para briquetes de resíduo de milho e 1291 kg/m^3 para briquetes de casca de café. Furtado et al. (2010) analisando briquetes feitos com diferentes misturas de resíduos de *Pinus* obtiveram densidades aparentes de 1390 kg/m^3 para briquetes de casca; 1220 kg/m^3 para briquetes de cavacos; 1240 kg/m^3 para briquetes de serragem e 1210 para uma mistura de todos os resíduos.

Segundo Dermibas et al. (2004), quanto maior a densidade aparente, maior a razão energia/volume. Além disso, produtos de alta densidade, entre 500 a 1200 Kg/m^3 , são desejáveis quanto ao armazenamento, transportes e manuseio.

A resistência à compressão foi baixa quando comparada aos resultados obtidos por Dias Junior et. al (2014), que ao realizar estudo de resistência à compressão de briquetes de *Bambusa sp*, obteve valores de $7,884 \text{ MPa}$ para briquetes compostos de 100 % de serragem de bambu. Nos estudos realizados por Li (2004), a resistência à compressão para os colmos do bambu da espécie *Phyllostachys pubescens*, teve como menor valor encontrado o de $7,770 \text{ MPa}$ na base dos colmos com idade de um ano, e o valor máximo de $13,410 \text{ MPa}$ no meio dos colmos com idade de 5 anos sendo que esta diferença pode ser justificada pela densidade dos colmos.

Por outro lado, Protasio et. al. (2011) obtiveram resultados de resistência à compressão de 1,18 MPa para casca de café moída; 0,82 MPa para serragem de eucalipto e 0,91 MPa para resíduos da colheita de milho. Comparando os resultados obtidos para *Bambusa vulgaris* com estas biomassas, a resistência à compressão foi alta.

Tanto para densidade aparente quanto para a resistência à compressão houve variação estatística entre os indivíduos analisados, podendo-se observar correlação positiva entre a densidade e a resistência a compressão ($R^2 = 0,41$).

Phyllostachys bambusoides

4.1.4 Qualidade energética dos colmos *in natura*

4.1.4.1 Teor de umidade na base úmida dos colmos *in natura*

Os resultados apresentados na Tabela 19 correspondem a valores médios do teor de umidade recém colhido da espécie *Phyllostachys bambusoides*.

Tabela 19 TEOR DE UMIDADE NA BASE ÚMIDA (%) DOS COLMOS DE *Phyllostachys bambusoides*.

Indivíduo	Base	Meio	Topo	Média
6	33	35	35	34 b
7	35	36	36	36 a
8	36	37	36	37 a
9	35	36	36	36 a
10	36	36	36	36 a
Média	35 a	36 a	36 a	36

Nota: Médias seguidas da mesma letra, NA COLUNA, indica que não há diferença significativa entre os indivíduos, a um nível de 95% para o Teste de Tukey. Média seguida da mesma letra,

NA LINHA, indica que não há diferença significativa entre as posições, a um nível de 95% para o Teste de Tukey.

Segundo Scurlock et al (2000) o teor de umidade dos colmos da espécie *Phyllostachys bambusoides* sofre variação entre 8% até 23% na base úmida, ocorrendo diminuição com o aumento da idade da planta.

A exemplo da espécie *Bambusa vulgaris*, o *Phyllostachys bambusoides* apresentou baixos valores de teor de umidade para todos os indivíduos analisados, próximos ao mínimo necessário para a geração de energia, havendo variação significativa para o teor de umidade entre os indivíduos, sendo que somente o indivíduo 1 com o menor teor de umidade foi diferente dos demais. Com relação à altura do colmo, não houve variação entre as posições.

4.1.4.2 Densidade básica dos colmos

Os resultados apresentados na Tabela 20 correspondem a valores médios da densidade básica da espécie *Phyllostachys bambusoide*.

Tabela 20 DENSIDADE BÁSICA (g/cm³) DOS COLMOS DE *Phyllostachys bambusoides*

Indivíduo	Base	Meio	Topo	Média
6	0,690	0,721	0,740	0,717 b
7	0,724	0,688	0,740	0,717 b
8	0,643	0,658	0,753	0,684 b
9	0,706	0,721	0,730	0,719 b
10	0,743	0,730	0,802	0,758 a
Média	0,701 b	0,703 b	0,753 a	0,719

Nota: Médias seguidas da mesma letra, NA COLUNA, indica que não há diferença significativa entre os indivíduos, a um nível de 95% para o Teste de Tukey. Média seguida da mesma letra,

NA LINHA, indica que não há diferença significativa entre as posições, a um nível de 95% para o Teste de Tukey.

A densidade dos colmos da espécie *Phyllostachys bambusoides* pode ser classificada de média a alta, sendo maior que a do *Bambusa vulgaris*, havendo variação entre os indivíduos e entre as posições na altura dos colmos, com maior densidade no topo.

Os valores observados neste trabalho foram maiores, tanto para os indivíduos como para as posições, quando comparados à literatura. Segundo Lee *et al.* (1994), citado por Valero *et al.* (2005), para a espécie *Phyllostachys bambusoides*, a densidade básica dos colmos foi de 0,494 g/cm³ para base, 0,488 g/cm³ para o meio e 0,464 g/cm³ para o topo dos colmos.

Outros autores trabalhando com outras espécies do gênero *Phyllostachys* obtiveram valores de densidade básica média de 0,64 g/cm³ para a espécie *Phyllostachys aurea* (NASCIMENTO *et al.*, 2012). Li (2004), verificou em estudos com a espécie *Phyllostachys pubenses* com idade de 1 ano valores de densidade para base de 0,41 g/cm³, para o meio de 0,42 g/cm³ e para o topo dos colmos de 0,42 g/cm³. Sendo que para a idade de 3 anos obteve valores para a base, meio e topo de 0,66 g/cm³.

Chun (2003) observou variação na densidade em função da idade, para a espécie *Phyllostachys pubenses*, sendo que para a idade de um ano o valor médio foi de 0,42 g/cm³ e para a idade de três anos foi de 0,61g/cm³.

4.1.4.3 Propriedades energéticas dos colmos

Os resultados apresentados na Tabela 21 correspondem aos valores médios da composição química e poder calorífico superior da espécie *Phyllostachys bambosoides*.

Tabela 21 COMPOSIÇÃO QUÍMICA E PODER CALORÍFICO (Kcal/kg) SUPERIOR DA ESPÉCIE *Phyllostachys bambusoides*

Indivíduo	TV (%)	CF (%)	TC (%)	PCS (kcal/kg)
6	81,35 a	17,57 a	1,08 a	4758 a
7	82,35 a	17,33 a	0,71 a	4595 a
8	81,55 a	17,24 a	1,21 a	4757 a
9	81,73 a	17,72 a	0,54 a	4638 a
10	82,54 a	16,52 a	0,94 a	4723 a
Média	81,88	17,28	0,90	4694

Nota: Médias seguidas da mesma letra, NA COLUNA, indica que não há diferença significativa entre os indivíduos, a um nível de 95% para o Teste de Tukey.

Legenda: Teor de voláteis (TV), teor de carbono fixo (CF), teor de cinzas (TC), poder calorífico superior (PCS).

Comparativamente à espécie *Bambusa vulgaris*, o *Phyllostachys bambusoides* teve maior teor de carbono fixo e poder calorífico superior e menores teores de voláteis e cinzas, sendo ligeiramente superior em termos energéticos, não apresentando variação estatística nem entre indivíduos e nem entre posições do colmo para as propriedades analisadas.

Scurlock et al. (2000), analisando a qualidade energética de diferentes espécies de bambu obteve os valores de 83,52%, 15,90% e 0,59% para os teores de carbono fixo, voláteis e cinzas, respectivamente, para colmos com 4,5 anos de idade. O poder calorífico superior observado por estes autores foi de 4559 kcal/kg, um pouco inferior ao obtido neste trabalho.

4.1.4.4 Propriedades químicas dos colmos

Os resultados apresentados na Tabela 22 correspondem aos valores médios da composição química da espécie *Phyllostachys bambusoides*.

Tabela 22 COMPOSIÇÃO QUÍMICA (%) DOS COLMOS
DE *Phyllostachys bambusoides*.

Indivíduo	ET	Etanol	AQ	ETt	Lignina
6	5,15 a	5,31 a	5,56 a	16,02 a	25,59 a
7	5,22 a	5,54 a	5,51 a	16,48 a	25,52 a
8	5,27 a	5,46 a	5,30 a	16,03 a	25,55 a
9	5,43 a	5,66 a	5,34 a	16,42 a	25,52 a
10	5,44 a	5,42 a	5,39 a	16,25 a	25,51 a
Média	5,30	5,48	5,42	16,24	25,54

Nota: Médias seguidas da mesma letra, NA COLUNA, indica que não há diferença significativa entre os indivíduos, a um nível de 95% para o Teste de Tukey.

Legenda: Extrativos em etanol-tolueno (ET), extrativos em etanol, extrativos em água quente (AQ), extrativos totais (ETt) e lignina.

O *Phyllostachys bambusoides* possui a composição química muito similar à espécie *Bambusa vulgaris*, sem variação entre os indivíduos para todas as propriedades analisadas.

Scurlock et al. (2000) obtiveram, para colmos de *Phyllostachys bambusoides* com 4,5 anos os valores para extrativos em etanol de 1,1% e lignina de 25,5%. Para outras espécies do mesmo gênero o autor registrou os valores de 3,4 a 4,6% para extrativos em etanol-tolueno e 23,8 a 26,1% para lignina.

4.1.5 Carvão vegetal

4.1.5.1 Rendimento gravimétrico da carbonização

Os resultados apresentados na Tabela 23 correspondem aos valores médios do rendimento da carbonização da espécie *Phyllostachys bambusoides*.

Tabela 23 RENDIMENTO DA CARBONIZAÇÃO DE COLMOS (%) DA ESPÉCIE *Phyllostachys bambusoides*.

Indivíduo	Base	Meio	Topo	Média
6	32,07	31,55	32,01	31,88 c
7	34,39	33,96	34,17	34,17 a
8	32,93	31,58	33,73	32,75 c
9	33,59	34,82	33,78	34,06 a
10	33,47	33,94	34,31	33,91 b
Média	33,29 b	33,17 b	33,60 a	33,35

Nota: Médias seguidas da mesma letra, NA COLUNA, indica que não há diferença significativa entre os indivíduos, a um nível de 95% para o Teste de Tukey. Média seguida da mesma letra, NA LINHA, indica que não há diferença significativa entre as posições, a um nível de 95% para o Teste de Tukey.

O rendimento gravimétrico dos colmos da espécie *Phyllostachys bambusoides* foi menor que os observado para *Bambusa vulgaris*, com variação tanto entre indivíduos como nas posições, e ao contrário desta última espécie, o rendimento do carvão foi maior no topo dos colmos.

No entanto, os valores podem ser considerados altos quando comparados com os trabalhos com bambu de Xiong et al (2014) (31%); Maia et al (2013) (34,3%); Costa (2004) (32,54%) e Brito et al. (1987) (29,6%).

4.1.5.2 Teor de umidade do carvão

Os resultados apresentados na Tabela 24 correspondem aos valores médios da umidade do carvão vegetal da espécie *Phyllostachys bambusoides*.

Tabela 24 TEOR DE UMIDADE (%) DO CARVÃO VEGETAL DA ESPÉCIE *Phyllostachys bambusoides*

Indivíduo	Base	Meio	Topo	Média
6	4,89	5,50	6,28	5,56 b
7	5,27	5,08	6,00	5,45 b
8	3,46	7,34	7,61	6,13 a
9	2,33	2,77	3,30	2,80 c
10	2,60	3,00	2,93	2,61 c
Média	3,71 c	4,60 b	5,22 a	4,51

Nota: Médias seguidas da mesma letra, NA COLUNA, indica que não há diferença significativa entre os indivíduos, a um nível de 95% para o Teste de Tukey. Média seguida da mesma letra, NA LINHA, indica que não há diferença significativa entre as posições, a um nível de 95% para o Teste de Tukey.

O teor de umidade do carvão foi baixo, apresentando variação estatística tanto entre indivíduos como entre posições.

4.1.5.3 Densidade aparente do carvão vegetal

Os resultados apresentados na Tabela 25 correspondem aos valores médios da densidade do carvão vegetal da espécie *Phyllostachys bambusoides*.

Tabela 25 DENSIDADE RELATIVA APARENTE DO CARVÃO VEGETAL (g/cm^3) DA ESPÉCIE *Phyllostachys bambusoides*.

Indivíduo	Base	Meio	Topo	Média
6	0,304	0,310	0,327	0,314 c
7	0,360	0,372	0,367	0,367 b
8	0,301	0,341	0,367	0,336 c
9	0,383	0,444	0,377	0,401 a
10	0,423	0,400	0,434	0,419 a
Média	0,354 b	0,373 a	0,375 a	0,367

Nota: Médias seguidas da mesma letra, NA COLUNA, indica que não há diferença significativa entre os indivíduos, a um nível de 95% para o Teste de Tukey. Média seguida da mesma letra, NA LINHA, indica que não há diferença significativa entre as posições, a um nível de 95% para o Teste de Tukey.

Da mesma forma que para o *Bambusa vulgaris*, esta espécie teve diferença significativa tanto entre indivíduos como entre as posições do colmo para a densidade relativa aparente do carvão, com valor médio menor que o carvão de *Bambusa vulgaris*, mas com a mesma tendência de aumento da densidade aparente do carvão da base para o topo dos colmos. Neste trabalho foi observada uma baixa correlação positiva entre a densidade básica dos colmos e a densidade aparente do carvão ($R^2 = 0,2661$).

As posições de base, meio e topo diferiram entre si, sendo que a base possuiu o menor valor e o topo o maior valor. Correlacionando os valores de densidade básica dos colmos nas diferentes posições com a densidade relativa aparente dos carvões foi possível observar que a correlação entre estas duas variáveis é baixa, tendo valores de ($R^2 = 0,5152$; $R^2 = 0,1361$ e $R^2 = 0,3032$) respectivamente para base, meio e topo dos colmos.

4.1.5.4 Propriedades energéticas do carvão

Os resultados apresentados na Tabela 26 correspondem aos valores médios do teor de voláteis do carvão vegetal da espécie *Phyllostachys bambusoides*.

Tabela 26 TEOR DE VOLÁTEIS DO CARVÃO VEGETAL (%) DA ESPÉCIE *Phyllostachys bambusoides*.

Indivíduo	Base	Meio	Topo	Média
6	25,35	26,45	29,42	27,07 ab
7	30,37	27,39	30,83	29,53 a
8	26,64	23,89	28,07	26,20 b
9	24,92	28,11	28,12	27,05 ab
10	25,28	26,76	27,49	26,48 ab
Média	26,49 b	26,52 b	28,78 a	27,26

Nota: Médias seguidas da mesma letra, NA COLUNA, indica que não há diferença significativa entre os indivíduos, a um nível de 95% para o Teste de Tukey. Média seguida da mesma letra, NA LINHA, indica que não há diferença significativa entre as posições, a um nível de 95% para o Teste de Tukey.

O teor de voláteis médio obtido para a espécie foi alto, tendo o valor similar ao *Bambusa vulgaris*, com diferença entre os indivíduos e entre as posições do colmo, com maior teor de voláteis no topo.

Os resultados apresentados na Tabela 27 correspondem a valores médios do teor de carbono fixo da espécie *Phyllostachys bambusoides*.

Tabela 27 TEOR DE CARBONO FIXO DO CARVÃO (%) DA ESPÉCIE *Phyllostachys bambusoides*.

Indivíduo	Base	Meio	Topo	Média
6	73,21	71,95	69,63	71,60a
7	68,59	71,69	68,20	69,49a
8	71,65	75,07	69,36	72,03a
9	73,63	75,07	69,36	70,90a
10	73,17	71,35	69,71	71,41a
Média	72,05a	73,03a	69,25b	71,09

Nota: Médias seguidas da mesma letra, NA COLUNA, indica que não há diferença significativa entre os indivíduos, a um nível de 95% para o Teste de Tukey. Média seguida da mesma letra, NA LINHA, indica que não há diferença significativa entre as posições, a um nível de 95% para o Teste de Tukey.

O teor de carbono fixo do carvão vegetal foi maior, tanto nas posições como na média dos indivíduos, em comparação com o carvão de *Bambusa vulgaris*, havendo variação somente entre as posições do colmo com maiores valores na base e no meio.

Os resultados apresentados na Tabela 28 correspondem a valores médios do teor de cinzas do carvão vegetal da espécie *Bambusa vulgaris*.

Tabela 28 TEOR DE CINZAS DO CARVÃO (%) DA ESPÉCIE *Phyllostachys bambusoides*

Indivíduo	Base	Meio	Topo	Média
6	1,44	1,60	0,95	1,33 ab
7	1,04	0,93	0,97	0,98 b
8	1,71	1,04	2,57	1,77 ab
9	1,46	1,33	3,39	2,06 a
10	1,65	1,89	2,80	2,11 a
Média	1,46 b	1,36 b	2,14 a	1,65

Nota: Médias seguidas da mesma letra, NA COLUNA, indica que não há diferença significativa entre os indivíduos, a um nível de 95% para o Teste de Tukey. Média seguida da mesma letra, NA LINHA, indica que não há diferença significativa entre as posições, a um nível de 95% para o Teste de Tukey.

Os teores de cinzas tanto dos indivíduos quanto das posições foram menores comparativamente ao *Bambusa vulgaris* o que é positivo, pois quanto menor o teor de cinzas do carvão vegetal, menor será a quantidade de resíduos após a queima.

O teor de cinzas variou entre o carvão dos indivíduos com os maiores valores apresentados pelos indivíduos 9 e 10 que foram semelhantes entre si e o menor valor para o indivíduo 7, diferente do 9 e 10 mais semelhante aos indivíduos 6 e 8.

Em relação as posições o teor e cinzas no topo foi maior, diferindo da base e meio.

Os resultados apresentados na Tabela 29 correspondem a valores médios do poder calorífico superior do carvão vegetal da espécie *Phyllostachys bambusoides*.

Tabela 29 PODER CALORIFICO SUPERIOR DO CARVÃO VEGETAL DA ESPÉCIE *Phyllostachys bambusoides*.

Indivíduo	Base	Meio	Topo	Média
6	7661 a	7797 a	7782 a	7747 a
7	7924 a	7766 a	7490 a	7727 a
8	7635 a	7582 a	7530 a	7582 ab
9	7534 a	7576 a	6959 a	7356 b
10	7587 a	7434 a	7522 a	7525 ab
Média	7668 a	7631 a	7457 a	7587

Nota: Médias seguidas da mesma letra, NA COLUNA, indica que não há diferença significativa entre os indivíduos, a um nível de 95% para o Teste de Tukey. Média seguida da mesma letra, NA LINHA, indica que não há diferença significativa entre as posições, a um nível de 95% para o Teste de Tukey.

De forma geral, o poder calorífico superior do carvão de *Phyllostachys bambusoides* (7587 Kcal/kg) foi superior aos valores encontrados para a espécie *Bambusa vulgaris*, (4694 Kcal/kg) sendo que os indivíduos 6 e 7 apresentaram maior valor.

Os indivíduos 8 e 10 não diferem entre si, possuindo um valor intermediário, sendo que o indivíduo 9 apresentou menor valor e diferindo dos indivíduos 6 e 7.

Em relação as posições de base, meio e topo, estas apresentaram resultados semelhantes, não diferindo entre si.

4.1.6 Qualidade dos briquetes

4.1.6.1 Propriedades físicas e mecânica dos briquetes

Os resultados apresentados na Tabela 30 correspondem a valores médios das propriedades físicas e resistência mecânica dos briquetes da espécie *Phyllostachys bambusoides*.

Tabela 30 PROPRIEDADES FÍSICAS E RESISTÊNCIA MECÂNICA DOS BRIQUETES (Mpa) DA ESPÉCIE *Phyllostachys bambusoides*.

Indivíduo	TUS (%)	TUB (%)	DA (kg/m ³)	RC (Mpa)
6	10,55 a	5,61 a	1199 a	5,1888 a
7	10,63 a	7,75 b	1176 a	4,5700 ab
8	10,94 a	8,13 b	1178 a	4,9400 a
9	10,12 a	8,07 b	1181 a	4,8820 a
10	11,55 a	7,79 b	1115 b	3,8050 b
Média	10,76	7,47	1170	4,6772

Nota: Médias seguidas da mesma letra, NA COLUNA, indica que não há diferença significativa entre os indivíduos, a um nível de 95% para o Teste de Tukey.

Legenda: Teor de umidade da serragem (TUS), Teor de umidade do briquete (TUB), densidade aparente (DA), resistência a compressão (RC).

A umidade da serragem antes do processo de briquetagem estava homogênea para todos os indivíduos, não havendo diferença estatística entre as amostras, sendo que o teor de umidade tanto para a espécie *Bambusa vulgaris* e para a espécie *Phyllostachys bambusoides* foram semelhantes entre si.

O teor de umidade das partículas foi adequado ao processo de briquetagem, conforme descrito por Alves Junior e Santos (2002) e Demirbas et al. (2004), os quais indicam que a umidade deve estar entre 5 e 15%.

Os valores para o teor de umidade após a compactação da serragem dos colmos, ocorreu redução, sendo que para os briquetes ocorreu variação estatística entre os indivíduos.

Os indivíduos 6, 7, 8, e 9 com relação a densidade aparente não apresentaram diferenças estatísticas, sendo que o indivíduo 10 foi diferente dos demais.

A densidade aparente dos briquetes da espécie *Phyllostachys bambusoides* foi em média de 1170 Kg/m³, sendo superior ao observado para a espécie *Bambusa vulgaris* que foi de 1111 Kg/m³.

Furtado et al. (2010) analisando briquetes feitos com diferentes misturas de resíduos de *Pinus* obtiveram densidades aparentes de 1390 kg/m³ para briquetes de casca; 1220 kg/m³ para briquetes de cavacos; 1240 kg/m³ para briquetes de serragem e 1210 para uma mistura de todos os resíduos.

Segundo Dermibas et al. (2004), quanto maior a densidade aparente, maior a razão energia/volume. Além disso, produtos de alta densidade, entre 500 a 1200 Kg/m³, são desejáveis quanto ao armazenamento, transportes e manuseio.

Os valores de resistência a compressão tanto para a espécie *Bambusa vulgaris*, quanto para a espécie *Phyllostachys bambusoides* foram baixas, sendo que o valor observado para o *Phyllostachys bambusoides* mostrando-se inferior aos resultados obtidos para o *Bambusa vulgaris*.

Segundo Dias Junior et. al (2014), que ao realizar estudo de resistência à compressão de briquetes de *Bambusa sp*, obteve valores de 7,884 MPa para briquetes compostos de 100 % de serragem de bambu. Enquanto que Li (2004), em seus estudos obteve resultados para a resistência à compressão com colmos do bambu da espécie *Phyllostachys pubescens*, o menor valor encontrado foi de 7,770 MPa na base dos colmos com idade de um ano, e o maior valor foi de 13,410 MPa no meio dos colmos com idade de 5 anos sendo que esta diferença pode ser justificada pela densidade dos colmos.

Quando comparados os resultados observados neste estudo com valores de Protassio et. al (2011) para a casca de arroz com valor de 1,18 MPa, para a serragem de eucalipto de

0,91 Mpa respectivamente, o material compactado mostrou-se superior, atingindo valores médios de 4,677 MPa.

Com relação a resistência a compressão, os indivíduos 6,7,8 e 9 não apresentaram diferença estatística, onde o maior valor foi obtido pelo indivíduo 6. Os indivíduos 7 e 10 não apresentaram diferenças, sendo que o indivíduo 10 apresentou menor valor.

4.2 Densidade Energética dos colmos *in natura*, do carvão e dos briquetes das espécies estudadas

Os resultados apresentados na Tabela 31 correspondem a valores médios da densidade energética das espécies *Bambusa vulgaris* e *Phyllostachys bambusoides*.

Tabela 31 DENSIDADE ENERGÉTICA (MJ/m³) DAS ESPÉCIES *Bambusa vulgaris* e *Phyllostachys bambusoides*.

Mt	<i>Bambusa vulgaris</i>			<i>Phyllostachis bambusoides</i>		
	D kg/m ³	PCS kcal/kg	DE MJ/m ³	D kg/m ³	PCS kcal/kg	DE MJ/m ³
Colmos <i>in natura</i>	623	4571	11,91 b	719	4694	14,14 b
Carvão	373	7431	11,60 b	367	7589	11,66 c
Briquet e	1109	4571	21,31 a	1170	4694	22,99 a

Nota: Médias seguidas da mesma letra, NA COLUNA, indica que não há diferença significativa entre os indivíduos, a um nível de 95% para o Teste de Tukey.

Legenda: 1 – Densidade básica (D), poder calorífico superior (PCS), densidade energética (DE).

O valor observado para a densidade energética dos colmos da espécie *Bambusa vulgaris in natura* (11,91 MJ/m³) não difere estatisticamente em relação a densidade energética do carvão (11,60 MJ/m³), sendo que o valor obtido para a densidade energética do briquete (21,31 MJ/m³) possui diferença em relação aos demais.

Moreira (2012), em estudo para a densidade energética do colmos de *Bambusa vulgaris* para a idade de três anos obteve valores médios de 10,65 MJ/m³, sendo que os estudos atuais demonstram superioridade.

Para a espécie *Phyllostachys bambusoides*, os valores encontrados para a densidade energética dos colmos *in natura* de (14,14 MJ/m³) difere dos valores para o cravão (11,66 MJ/m³) bem como para valores dos briquetes de (22,99 MJ/m³), sendo que este último foi o maior valor de densidade energética encontrado.

A densidade energética para a briquetagem para os colmos das espécies *Bambusa vulgaris* e do *Phyllostachys bambusoides* obteve-se maior concentração de energia disponível por metro cúbico, o qual demonstrou potencial energético competitivo as espécies madeiráveis podendo vir a substitui-las.

Nas suas diversas utilizações, estão os setores de prestação de serviços (Padarias, pizzarias, lareiras e etc.), nas quais necessitam da queima direta, bem como a facilitação de seu manuseio, transporte e armazenamento.

Os valores observados de densidade energética dos colmos de bambu na forma *in natura*, apresenta potencial equivalente as espécies de madeira, podendo ser indicadas para a substituição como biomassa para geração de energia em câmeras de combustão nos seus mais diversos tipos de equipamentos (Caldeiras Fogotubulares e Caldeiras Aquatubulares bem como em Sistemas Mistos).

Os resultados obtidos em relação a densidade energética dos colmos das espécies de bambu na forma de carvão vegetal, apresentou como um material correlato e equivalente as espécies de madeira utilizadas para este fim, parâmetros estes que viabilizando tecnicamente esta matéria prima alternativa como fonte de energia secundária.

5. SUGESTÃO PARA ESTUDOS FUTUROS

A partir deste estudo pode-se elencar necessidades complementares e oportunidades científicas como segue:

- Estudo da viabilidade econômica da utilização das espécies de bambu na forma *in natura*, bem como a disponibilidade da matéria prima para utilização como biomassa para geração de energia.
- Avaliação da composição química dos resíduos nas fornalhas das caldeiras e suas possíveis utilizações.
- Produção de briquetes em escala industrial, avaliando o desgastes dos pistões da briquetadeira em função da quantidade de sílica existentes nas espécies de bambu.
- Produção de carvão vegetal e ativado em fornos de escala industrial.

6. CONCLUSÕES

As propriedades físicas e energéticas dos colmos *in natura* de *Bambusa vulgaris* e *Phyllostachys bambusoides* são similares as das madeiras das espécies dos gêneros *Pinus* e *Eucalyptus*, utilizadas na região sul do Brasil para geração de energia. As espécies podem ser utilizadas para ampliar a base de biomassa para geração de energia e até substituir as espécies madeireiras utilizadas para este fim na região de estudo.

O uso destas duas espécies permite a obtenção de carvão vegetal com alto rendimento gravimétrico, e qualidade energética comparável as espécies madeireiras utilizadas para este fim. No entanto, o processo de obtenção do carvão deve ser ajustado para obtenção de carvão com menor teor de voláteis e maior teor de carbono fixo.

Os briquetes das espécies estudadas tiveram qualidade similar aos briquetes de espécies de madeira, necessitando de ajustes na granulometria das partículas e no processo para aumento da resistência a compressão.

As espécies tem potencial para utilização na geração de energia tanto na forma *in natura*, como cavacos para a queima em caldeiras, na forma de carvão vegetal para uso doméstico e na forma de briquetes para uso no setor de serviços, para a região de estudo.

A *Bambusa vulgaris* e o *Phyllostachys bambusoides* podem complementar a cadeia produtiva de geração de energia ou substituir as espécies madeireiras para geração de energia na região de estudo.

7. 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.

ALVES JUNIOR, F.T.; SANTOS, G.A. Potencial de geração de biomassa para briquetagem e o perfil do mercado consumidor deste insumo na região de Cariri – CE. In. CONGRESSO IBERO AMERICANO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS FLORESTAIS, 2. SEMINÁRIO EM TECNOLOGIA DA MADEIRAS E PRODUTOS FLORESTAIS NÃO MADEIRÁVEIS, 1.; 2002, Curitiba. *Anais...* Curitiba: FUPEF, 2002. 1 – CD ROM.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS – ASTM. **ASTM D-1762:** *Standard Test Method for Chemical Analysis of wood charcoal.* PA: American Society for Testing and Materials; 2007.

DIAS JUNIOR, A. F.; ANDRADE, A. M.; COSTA JUNIOR, D. S.; **Caracterização de briquetes produzidos com resíduos agroflorestais** – São Paulo – SP – 2014.

ASSIS, C.F.C. **Caracterização de Carvão Vegetal para sua Injeção em altos Fornos e Carvão Vegetal de Pequeno Porte.** 2008.113 . Dissertação de Mestrado – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto – MG.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14660:** Madeira - Amostragem e preparação para análise. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS.
NBR 14929: Madeira - Determinação do teor de umidade de cavacos - Método por secagem em estufa. 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS.
NBR 7989: Pasta celulósica e madeira – Determinação de lignina insolúvel em ácido. Rio de Janeiro, 2010.

AZZINI, A.; ARRUDA, M. C.; TOMAZZELLO FILHO, M.; SALGADO, A. L., & CIARAMELLO, D. (1987). **Variações dos teores de fibras celulósicas e amido no colmo de bambu. Bragantina**, 46(1), 141-145.

AZZINI, A., BERALDO, A.L. **Métodos práticos para utilização do bamboo.** Gráfica da UNICAMP, Campinas, SP, 14p. 2001.

AZZINI, A.; SANTOS, R.L.; PETTINELLI JÚNIOR, A.; **BAMBU: Material alternativo para construções rurais.** Campinas, SP, Instituto Agronômico de Campinas, Boletim Técnico, n. 171, p. 1-18, 1997.

BASSA, A. G. M. C.; SILVA JÚNIOR, F. G.; SACON. **Misturas de madeira de Eucalyptus grandis x Eucalyptus urophylla e Pinus taeda para produção de celulose kraft através do Processo Lo-Solids.** Scientia Forestalis, n. 75, p. 19-29, 2007.

BERNDSEN, R.S. **Caracterização anatômica, física e mecânica de lâminas de bambu.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica e de Materiais). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, PR. (2008).

BEZZON, G. & IVENGO, C. A. **Carvão vegetal derivado de resíduos agroflorestais: uma alternativa energética.** Grupo combustíveis alternativos, São Paulo, 1999.

BONFATI, E.A.JR. **Caracterização das propriedades anatômicas, químicas e desnsidade da espécie *Bambusa Vulgaris Schad*, ex J.C. Wendl, para a produção de celulose Kraft com diferentes cargas de álcali,** Brasilia, D.F., 2010.

BRAND, M. A. **Energia de Biomassa Florestal.** Rio de Janeiro: Interciênciac, 2010.

BRAND, M. A. **Qualidade da biomassa florestal para o uso na geração de energia em função da estocagem.** Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007, 151p

BRAND, M. A., BRITO, J. O., QUIRINO, W. F., & DE MUNIZ, G. I. B. (2012). **Influência da época de estocagem na qualidade da biomassa florestal para a geração de energia.** Floresta, 42(2), 369-380.

BRAND, M.A. **Influência da espécie na qualidade da biomassa florestal sob estocagem, para geração de energia,** Ambiênciac, v. 9, n. 3, p. 461-474, 2013.

BRASIL. **LEI N° 12.484 DE 8 DE SETEMBRO DE 2011.** Disponível em:
https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/lei/l12484.htm. Acesso em: 12.06.2015.

BRITO, J. O. Expressão da produção florestal em unidades energéticas. In: CONGRESSO FLORESTAL PANAMERICANO, 1., CONGRESSO FLORESTAL

BRASILEIRO, 7.; 1993, Curitiba. Anais... Curitiba: SBS, SBEF, 1993. P. 280-282.

BRITO, J. O., TOMAZELLO, M. F. e SALGADO, A. L. de B. **Produção e caracterização do carvão vegetal de espécies e variedades de bambu**, p. 1-50, IPEF, Piracicaba, S.P., 1987.

BRITO, J. O.; BARRICHELO, L.E.G. **Usos Diretos e propriedades da Madeira para Geração de Energia**. Disponível em: <<http://www.ipef.br/publicacoes/ctecnica/nr052.pdf>>. Acesso em 22 março de 2015.

BRITO, J. O.; TOMAZELLO FILHO, M.; SALGADO, A.L de B. **Produção e caracterização do carvão vegetal de espécies e variedades de bambu**. IPEF, Piracicaba, n. 36, p. 13-17, 1987.

CAPOTE, F. G. **Caracterização e classificação de coprodutos compactados da biomassa para fins energéticos**. Dissertação (Mestrado Interinstitucional em Bioenergia) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012, 73p

CARDOSO, S. A. SILVA.; ROCHA I. T.; PEREIRA, B. R. et al. **Utilização de resíduos de cacau para geração de energia no estado do Pará**. In: ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL, 4, 2002, Campinas. Disponível em <http://www.proceedings.scielo.php?script=artex&pid=MSC000000022002000200066&lng=en&nrm=abn>. Acesso, em 18 de outubro de 2014.

CHUN, Z. F.; The structure of culm of Phyllostachys Hangzhou: China National Research Center of Bamboo - CBRC, 2003.

COSTA, T. M. S. **Estudo da Viabilidade Técnica do Emprego do Bambu da Espécie *Bambusa vulgaris* Shard. como**

Carvão Vegetal. 2004. 74 p. Dissertação (Mestre em ciências na área de Tecnologia Nuclear-Materiais) – Autarquia associada à Universidade de São Paulo, São Paulo.

COUTO, L. C.; COUTO, L.; WATZL, A. L. F. **Vias de valorização energética da biomassa.** Biomassa & Energia, Visosa – MG – 2004.

CRUZ, M. L. S.; **Caracterização física e mecânica de colmos inteiros do bambu da espécie Phyllostachys aurea: Comportamento à flambagem.** Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil do Departamento de Engenharia Civil da PUC-Rio, 2002, 114p.

CASTELANI, G. (1986). **Fundamentos de Físico-Química** (1^a ed.). Rio de Janeiro: LTC - Livros técnicos e Científicos Editora Ltda.

DEMIRBAS, A.; SAHIN-DERMIBAS, A.; DERMIBAS, A. H. **Briquetting properties of biomass waste materials.** Energy Sources, Philadelphia, v. 26, n. 1, p. 83-91, 2004.

DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG - DIN. **DIN 51900:** Determining the gross calorific value of solid and liquid fuels using the bomb calorimeter, and calculation of net calorific value. Berlim; 2000.

DIAS JÚNIOR, A. F.; DE ANDRADE, A. M.; COSTA JÚNIOR, D. S.; **Caracterização de briquetes produzidos com resíduos agroflorestais.** Pesquisa Florestal Brasileira, v. 34, n. 79, p. 225-234, 2014.

DIAS, J. M. S.; SOUZA, D. T. DE.; BRAGA, M.; ONOYAMA, M. M.; MIRANDA, C. H. B.; BARBOSA, P. F. D.; ROCHA, J. D. Produção de briquetes e péletes a partir de resíduos agrícolas,

agroindustriais e florestais. Brasília: Embrapa Agroenergia, 2012.

DIBLASI FILHO, I. Ecologia Geral. 1º ed. São Paulo: Ciência Moderna, 2007. 52 p.

DA COSTA JÚNIOR D. S.; **Avaliação físico-química do carvão das espécies Eucalyptus grandis Hill (ex Maiden) e Eucalyptus saligna Smith proveniente de plantios no Rio de Janeiro – 2013.**

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION – CEN. EN 15149-1: Solid biofuels – Determination of particle size distribution – Part 1: Oscillating screen method using sieve apertures of 1 mm and above. Brussels, 2010. 13 p.

FARRELLY, D. **The book of bamboo.** Sierra Club Books, São Francisco, 1984. 202p.

FERNANDEZ, M.A.V. **Avaliação dos processos de polpação soda – antraquinona e bisulfito - base magnésio para bambu.** Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Escola Superior de Agronomia “Luz de Queiroz”, Universidade de São Paulo – SP – 2010.

FILGUEIRAS, T.S., GONÇALVES, A.P.S. A **Checklist of the Basal Grasses and Bamboos in Brazil (POACEAE).** Bamboo Science and Culture: The Journal of the American Bamboo Society 18(1):

FOELKEL, C. E. B.; BRASIL, MAM E BARRICHELO, LEG. **Métodos para determinação da densidade básica de cavacos para coníferas e folhosas.** Piracicaba, IPEF, 1971, p. 65-74.

FONSECA F.; FELIX E.; **Torrefação de Biomassa, Vabilidade Técnica e Potencial de Mercado, 2003.** Tese de Doutorado – Universidade estadual de Campinas, campinas – SP.

FURTADO, T. S.; VALIN, M.; BRAND, M. A., & BELLOTE, A. F. J. **Variáveis do processo de briquetagem e qualidade de briquetes de biomassa florestal.** Pesquisa Florestal Brasileira, v. 30, n. 62, p. 101, 2010.

GAZETA MERCANTIL. Penha negocia seus créditos de carbono com KFW para 2014. Disponível em :<<http://www.global-bioenergy.net/noticias.asp?lgg=&idn=3704>>. Acesso em: 10 outubro de 2014)

GOMIDE J L **Características das fibras e estruturas macro micro e ul tramicroscópica do *Bambusa vulgaris*** Laboratório de Celulose e Papel UFV 1988 (Trabalho não publicado).

GOMIDE, J.; OLIVEIRA, R., & COLODETTE, J. **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. 1981.

GOMIDE, J.L; COLODETE, I.J; OLIVEIRA, R.C. **Estudos das potencialidades do *Bambusa vulgaris* para produção de papeis tipo Kraft.** O Papel, São Paulo – SP – 1982.

GRAÇA, V. L. **Bambu: técnicas para cultivo e suas aplicações.** São Paulo, Icone, 1998, 124p).

GRECO, T.M.; CROMBERG, M.2011. **Bambu: Cultivo e Manejo.** 1 ed. Florianópolis: Insular, v. 1.181p.

GUANNETTI, R.L. **Cogeração de eletricidade utilizando bambu no Brasil: Aspectos técnicos, econômicos e ambientais.** São Paulo, 2013.

HSIUNG, W. **Prospects for bamboo development in the world.** Journal de La American Bamboo Society, 8(1-2), 168 (1988).

INBAR. INTERNATIONAL NETWORK FOR BAMBOO AND RATTAN. **CAN BAMBOO TRANSFORM BIOENERGY?.** October 15, 2014. Disponível em: <<http://www.inbar.int/2014/10/can-bamboo-transform-bioenergy/>> Acesso em: 12/06/2015.

JARAMILLO, S.V. **La Guadua en los proyectos de inversión.** In: **Anales del Congresso Mundial de Bambú/Guadua,** Pereira, Colômbia, 1992.

JUDZIEWICZ E.J.; CLARK L.G.; LONDONO X, STERN M.J. **The American bamboos.** Smithsonian Institution Press, Washington DC, U.S.A. 1999).

KALIYAN, N.; MOREY, R. V. **Factors affecting strength and durability of densified biomass products.** Biomass and Bioenergy. Oxford, GB. v. 33, n. 3, p. 337 – 359, 2009.

LEE, A.W.C.; XUESONG B; PERRY N.P.; **Selected physical and mechanical properties of giant timber bamboo grown in South Carolina.** Forest Prod. Journal, 1994. 40-46.

LI, X. **Physical, chemical, and mechanical properties of bamboo and its utilization potential for fiberboard**

manufacturing. Dissertation, The School of Renewable Natural Resources, Louisiana, 2004. 76p.

LIESE, W. **The anatomy of bamboo culms. Inbar –** International Network for bamboo and rattan, 1998. China. Technical Report. 204 p.

LOBOVIKOV, M.; PAUDEL, S.; PIAZZA, M.; REN, H.; WU, J. **World bamboo resources: a thematic study prepared in the framework of the Global Forest Resources Assessment 2005.** FAO, Rome.

LÓPEZ, O. H. **Bamboo, The gift of the gods.** Bogotá: Bamboscar, 2003. 553 p.

MACEDO, L. A.; ROUSSET, P. L. A.; VALE, A. T. **Influência da composição da biomassa no rendimento em condensáveis da torrefação de resíduos vegetais.** Pesquisa Florestal Brasileira, v. 34, n. 80, p. 417-424, 2014.

MAIA, C. M. B. D. F., BARATTO, R. L., GUIOTOKU, M., SIQUEIRA, F. C. D. J., MADARI, B. E., GABRIEL, W., & DE OLIVEIRA, L. E. A. L. **Efeito da temperatura de carbonização sobre características físico-químicas dos carvões de duas espécies de bambu.** In: Embrapa Florestas-Artigo em anais de congresso (ALICE). In: ENCONTRO BRASILEIRO DE SUBSTÂNCIAS HÚMICAS, 10., 2013, Santo Antônio de Goiás. Matéria orgânica e qualidade ambiental: anais. Brasília, DF: Embrapa, 2013., 2013.

MARTINS, R., GUERREIRO, L. **Resposta Técnica. Serviço Brasileiro de Normas Técnicas.** 2006. Disponível em: <<http://www.sbrt.ibict.br>>. Acesso em: 4 de abril de 2015.

MELO, R. R. D.; STANGERLIN, D. M.; SOUSA, A. P. D.; CADEMARTORI, P. H. G. D., & SCHNEID, E. **Physical mechanical properties of wood-bamboo particleboard.** Ciência Rural, v. 45, n. 1, p. 35-42, 2015.

MELO, V.P.S. **Produção de briquetes de carvão vegetal com alcatrão de madeira.** Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa. Viçosa 2000, 64p.

MOREIRA, A. C. O. **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 – Universidade de Brasília.- DF. 2012,

NASCIMENTO, A. M.; XAVIER, L. M. **Densidade básica e retratibilidade volumétrica de *Dendocalamus giganteus*, *Bambusa tuloides*, *bambusa vulgaris* e *Phyllostachys aurea*.** XIII EMBRAMEM – 23 a 25 de julho de 2012.

NATIONAL TROPICAL BOTANICAL GARDEN. *Bambusa vulgaris*: Schrad. ex JC Wendl.- bambu comum. Disponível em: http://ntbg.org/plants/plant_details.php?plantid=11810. Acesso em: 16 de setembro de 2014.

NUNES, A.R.S. **Construindo com a natureza. Bambu: uma alternativa de eco desenvolvimento.** Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) - Núcleo de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Universidade Federal de Sergipe). 2005. 142p.

OHANA, C. C. **Utilização de resíduos do processamento de teca (*Tectona grandis L.f.*) na produção de briquetes.** Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais e Florestais). Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2012, 63p.

OLIVEIRA J.B.; VIVACQUA FILHO, A.; MENDES, M. G.; GOMES, P. A. **Produção de carvão vegetal: aspectos técnicos.** In: FUNDAÇÃO CENTRO TECNOLÓGICO DE MINAS GERAIS/CETEC. **Produção e utilização de carvão vegetal.** Belo Horizonte, 1982. 1 v. p. 60-89. (Série de publicações técnicas, 8).

OLIVEIRA, A.C.; CARNEIRO, A. C. O; VITAL, B. R; ALMEIA, W; PEREIRA, B. L. C; CARDOSO, M. T. **Parâmetros de qualidade da madeira e do carvão vegetal de Eucalyptus pellita F. Muell. Sci. For.**, Piracicaba, v. 38, n. 87, p. 431-439, set. 2010.

PANSHIN, A.J & De ZEEUW, C. 1980. **Textbook of technology**. 3. ed., New York, McGraw Hill, 722p.

PEREIRA, M.A. dos R. 2001. *Bambu: espécies, características e aplicações*. Apostila de curso, UNESP, Bauru, SP, 2001.

PINHERIO, F.G.; RENDEIRO, G, & PINHO, T.J. **Densidade energética de Resíduos Vegetais**, Belém – PA, 2005.

PRESZNHUK, R.A.O. **Estudo da viabilidade do filtro de carvão de bambu como pós- tratamento em estação de tratamento de esgoto por zona de raízes: tecnologia ambiental e socialmente adequada.** Dissertação (Mestrado em Teconologia) - Pós-Graduação em Tecnologia, Centro Federal de Educação e Tecnologia do Paraná). 2004. 110p.

PROTÁSIO T. DE PAULA;; ALVES, I. C. N., TRUGILHO, P. F., SILVA, V. O., & BALIZA, A. E. R. **Compactação de biomassa vegetal visando à produção de biocombustíveis sólidos.** Pesquisa Florestal Brasileira, v. 31, n. 68, p.273-283, 2011.

QUIRINO, W. F. Utilização energética de resíduos vegetais.
Laboratório de produtos florestais LPF/IBAMA. Módulo do curso “Capacitação de agentes multiplicadores em valorização da madeira e dos resíduos vegetais”, p.4-32, 2000.

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.

QURINO, W. F.; BRITO, J. O. Características e índice de combustão de briquetes de carvão vegetal. Brasília, DF: IBAMA, Laboratório de Produtos Florestais, 1991. 16 p. (IBAMA-LPF. Série técnica, n. 13).

RAO, A. N.; RAMANATHA RAO, V.; WILLIAMS, J.T. (editors). Priority species of bamboo and rattan. IPGRI and INBAR. 1998. 103 p.

RIBEIRO, A.S. Carvão de bambu como fonte energética e outras aplicações. Instituto do Bambu. Maceió. Instituto do Bambu, 2005. 109 p.

RIGUEIRA JR., I. Bambu Para Toda Obra, Boletim UFMG Nº 1730 - Ano 37, 21 de março de 2011. Disponível em: <www.ufmg.br/online>. Acesso em 02 agosto de 2015.

ROUSSET, P.; AGUIAR, C.; LABBÉ, N.; COMMANDRÉ, J. M. Enhancing the combustible properties of bamboo by torrefaction. Bioresource technology, v. 102, n. 17, p. 8225-8231, 2011.

SCURLOCK. J.M.O, DAYTON D.C; HAMES B.; 2000.

SPOLIDORO, P. V. **Características dendrométricas e propriedades físicas dos colmos de *Bambusa vulgaris* e *Bambusa tuldaoides***, 2008.

SPÖRRY, H; SCHRÖTER, C. Die Verwendung dês bambus in japan und katalog der Spörry´s schen Bambus-Sammlung. 198 pp. Zürich: Zürcher und Furrer. 1903. In: FARRELLY, D. The book of bamboo: a comprehensive guide to this remarkable plant, its uses, and its history. Sierra club Books. 1938. 321 p.

STAISS, C.; PEREIRA, H. **Biomassa energia renovável na agricultura e no setor florestal**. AGROS, n.1. p. 21 - 30, 2001.

TARGA, M.S. **Determinação de parâmetros hidráulicos e avaliação econômica de tubos de bambu- gigante (*Dendrocalamus giganteus*), para utilização em drenage**. Tese (Doutorado em Agronomia). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, SP, (1997).

TAYLOR, N. 1994 Mestre Guia de Taylor para jardinagem), (Krauss, Beatrice H. 1993 plantas em cultura havaiana).

PROTASIO, T. DE P.; ALVES, C. N.; TRUGILHO, P. F.; SILVA, V. O.; BALIZA, A. E. R. **Compactação de biomassa vegetal visando á produção de biocombustíveis sólidos – Larvas – MG – 2011**.

TOMALANG, F.N.; LOPEZ A.R.; SEMARA, J.A.; CASIN, R.F.; ESPILOY, Z.B.; **Properties and utilization of Philippine erect bamboo**. In International Seminar on Bamboo Research in Asia held in Singapore, proceedings edited by G.Lessard and A. Chouinard. Singapore: International Development Research Center and the International Union of Forestry Research Organization. 1980.

VALERO, S. W.; REYES, E., & CONTRERAS, W. Estudio de las propiedades físicas y mecánicas del bambú (*Bambusa vulgaris*), de tres años de edad y proveniente de las plantaciones ubicadas en la ribera de la margen derecha del Río Chama, Municipio Francisco Javier Pulgar, estado Zulia, Venezuela. *Revista Forestal Latinoamericana*, 37, 87-107. 2005.

WWW.BAMBOOBOTANICALAS, acesso em 14 de julho de 2015.

www.painelforestal.com.br , acesso em Janeiro de 2015.

XIONG, S., ZHANG, S., WU, Q., GUO, X., DONG, A., & CHEN, C. **Investigation on cotton stalk and bamboo sawdust carbonization for barbecue charcoal preparation.** *Bioresouce technology*, v. 152, p. 86-92, 2014.

ZANUNCIO, A. J. V.; LIMA, J. T.; MONTEIRO, T. C.; TRUGILHO, P. F., & LIMA, F. S. . **Secagem ao Ar Livre da Madeira para Produção de Carvão Vegetal.** *Floresta e Ambiente*, v. 21, n. 3, p. 401-408, 2014.