

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOENERGIA

RAFAELA FABER DE CAMPOS

POTENCIAL ENERGÉTICO DA BIOMASSA E DO CARVÃO DE ESPÉCIES DE
BAMBU

PONTA GROSSA
2017

RAFAELA FABER DE CAMPOS

POTENCIAL ENERGÉTICO DA BIOMASSA E DO CARVÃO DE ESPÉCIES DE
BAMBU

Dissertação apresentada para a obtenção do
título de mestre em Bioenergia na
Universidade Estadual de Ponta Grossa.
Área de concentração: Biocombustíveis

Orientadora: Prof. Dra. Maria Elena Payret
Arrúa

Co-orientador: Prof. Dr. Pedro Henrique
Weirich Neto

PONTA GROSSA

2017

Ficha Catalográfica
Elaborada pelo Setor de Tratamento da Informação BICEN/UEPG

C198 Campos, Rafaela Faber de
Potencial energético da biomassa e do
carvão de espécies de bambu/ Rafaela Faber
de Campos. Ponta Grossa, 2017.
81f.

Dissertação (Mestrado em Bioenergia -
Área de Concentração: Biocombustíveis),
Universidade Estadual de Ponta Grossa.

Orientadora: Prof^a Dr^a Maria Elena
Payret Arrúa.

Coorientador: Prof. Dr. Pedro Henrique
Weirich Neto.

1.Bambu. 2.Bioenergia. 3.Potencial
energético. I.Arrúa, Maria Elena Payret.
II. Weirich Neto, Pedro Henrique. III.
Universidade Estadual de Ponta Grossa.
Mestrado em Bioenergia. IV. T.

CDD: 665.3

TERMO DE APROVAÇÃO

RAFAELA FABER DE CAMPOS

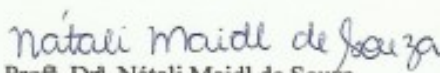
“Potencial energético da biomassa e do carvão de espécies de bambu”

Dissertação aprovada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre no Programa de Pós-graduação em Bioenergia, área de concentração em Biocombustíveis, da Universidade Estadual de Ponta Grossa pela banca examinadora abaixo assinada:



Prof. Dr.ª Maria Elena Payret Arrúa

Orientadora- UEPG/Ponta Grossa - PR



Prof. Dr.ª Nátaí Maidl de Souza

Emater/Ipiranga – PR



Prof. Dr.ª Sandra Regina Masetto Antunes

UEPG/Ponta Grossa - PR

Dedico à minha família e amigos pelo incentivo, ajuda e paciência.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela vida e salubridade em desenvolver esta pesquisa.

Aos meus queridos pais, Nilson e Marilene, meus irmãos Priscilla e Felipe, por todo amor, carinho e disposição em me ajudar a alcançar meus objetivos.

À minha orientadora professora Maria Elena Payret Arrúa, e ao meu co-orientador professor Pedro Henrique Weirich Neto, pela orientação, ajuda e confiança.

Ao Demerval Pessin pela disponibilidade de seu tempo e de sua propriedade, Bambuzeto Orvalho, que ajudou a construir minha base de conhecimento sobre o bambu, e demais funcionários da Secretaria de Agricultura de São Mateus do Sul.

Aos integrantes dos grupos Bambuzeiros do Paraná, Bambu Goiás, Aprobambu, pelo incentivo e acreditar no potencial desta planta.

Ao Sr. José Tadeu Weidlich Motta, curador do Herbário Municipal do Jardim Botânico de Curitiba.

À professora Dra. Rosangela Tardivo, responsável pelo Herbário da UEPG.

Ao Ruben e Rafael, estagiários do Herbário da UEPG.

Ao professor Dr. Tarciso Filgueiras, do Instituto de Botânica de São Paulo.

Aos colegas de turma do Programa de Pós-graduação em Bioenergia, pelos momentos de alegrias e sugestões.

A todos do Laboratório de Mecanização Agrícola (Lama), pela ajuda e sugestões em campo, em especial aos colegas Kassio, Tammy, Tobias, Eduardo, Matheus e Jonathan.

Aos amigos, Gilson Yugo Ueno Funaki e Eliane Nascimento dos Santos, pelas ilustrações, mapas e sugestões.

Ao Valdeci de Souza, técnico do Laboratório de Físico-química do DEQUIM/UEPG, pela disponibilidade e apoio nos trabalhos experimentais.

Ao professor Dr. Dimas Agostinho da Silva, Fernando, Rodrigo, Gisele, Clarice e Renata, pela disponibilidade do laboratório e apoio nas análises realizadas pelo LEB/UFPR.

Aos professores, Dr. Umberto Klock e Dr. Alan Sulato de Andrade, pelas análises realizadas no Laboratório de Química da Madeira/UFPR.

Às professoras, Dra. Graciela Muniz, Dra. Silvana Nigoski e Dra. Elaine Cristina Lengowski, pelas análises realizadas no Laboratório de Anatomia da Madeira/UFPR.

Ao professor Dr. Egon Schnitzler, pela análise realizada no Laboratório de Ciência e Tecnologia de Alimentos/UEPG.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa concedida.

“Melhor curvar-se ao vento do que se quebrar.”
(Autor desconhecido)

RESUMO

A biomassa sempre foi uma fonte de energia utilizada pelo homem, antes mesmo da utilização de petróleo e gás natural. Porém nos últimos anos com a necessidade de mitigação das mudanças climáticas e, com o aumento da demanda mundial por energias alternativas, além da energia solar, eólica e hidrelétrica, uma delas é a utilização de biomassa vegetal. Este tipo de energia representa 10% do fornecimento mundial. A maior parte desta biomassa ainda é proveniente de florestas nativas, chamada de “biomassa tradicional”, causando impacto, de certa forma, ao meio ambiente. Entretanto, a utilização do bambu como biomassa para geração de energia torna-se uma alternativa sustentável e interessante, pois dentre suas várias características, destaca-se sua facilidade de propagação. Desta forma, o objetivo, do presente trabalho foi avaliar o potencial energético de quatro espécies de bambu, *in natura* e em forma de carvão. As espécies selecionadas foram *Phyllostachys aurea* A. C. Rivière (bambu dourado), *Chusquea gracilis* McClure & Smith (criciúma), *Chusquea mimosa* McClure & Smith (caratuva) e *Merostachys multiramea* Hackel (taquara lixa), do município de São Mateus do Sul, PR. As espécies de bambu foram avaliadas quanto ao teor de umidade, massa específica, composição química imediata, rendimento gravimétrico em carvão e ao poder calorífico superior. A espécie *Phyllostachys aurea in natura* apresentou poder calorífico superior de 18,91 MJ kg⁻¹ e teor de cinzas de 0,49%. O carvão, 25,05 MJ kg⁻¹ e 1,24%, respectivamente. Os valores de teor de cinzas para as biomassas *in natura* das espécies *Merostachys multiramea*, *Chusquea gracilis* e *Chusquea mimosa*, foram de 3,95%, 2,76% e 4,90% e, carbonizadas ficaram com valor de 5,43%, 6,43% e 7,93%, respectivamente. O poder calorífico superior da espécie *C. mimosa* foi de 25,55 MJ kg⁻¹, mas devido a grande geração de cinzas após queima e massa específica de 0,20 g cm⁻³ *in natura* e de 0,10 g cm⁻³ do carvão, talvez sejam características mais interessantes para utilização como carvão ativado. A massa específica do *Phyllostachys aurea* foi de 0,63 g cm⁻³ *in natura* e 0,41 g cm⁻³, carbonizada. O alto teor de cinzas das espécies pode estar relacionado aos teores de constituintes minerais presentes no vegetal. Apesar disso, todas as espécies apresentaram características favoráveis para a utilização com fins energéticos, mas a espécie *Phyllostachys aurea* foi a que se apresentou mais semelhante às características apresentadas pela madeira de eucalipto, comumente utilizada para este fim.

Palavras-chave: bambu, bioenergia, potencial energético.

ABSTRACT

Biomass has always been an energy source utilized by humans, even before, the use of oil and natural gas. However, in the last couple of years, the need to mitigate climate change and the global demand increase for alternative fuel, besides Solar, Eolic and Hydro energies, one of them is the use of vegetal biomass. Such energy represents 10% of the world supply. Most of this biomass still comes from native forests and it's called "traditional biomass", causing great impact, in some way, to the environment. On the other hand, the use of bamboo as biomass for the generation of energy becomes a sustainable and interesting alternative, because among its characteristics, it's spread ease is highlighted. In this sense, the goal of the present research, is to analyze the energy potential of four bamboo species, *in natura* and in charcoal form. The selected species were *Phyllostachys aurea* A.C. Rivière (golden bamboo), *Chusquea gracilis* McClure & Smith (criciúma), *Chusquea mimosa* McClure & Smith (caratuva) and *Merostachys multiramea* Hackel (sandpaper taquara), from the city of São Mateus do Sul, PR. The bamboo species were evaluated according to their moisture rate, specific mass, immediate chemical composition, coal gravimetric yield and superior calorific value. The *Phyllostachys aurea* species *in natura* presented superior calorific value of 18.91 MJ kg⁻¹ and ash rate of 0.49%. The coal presented 25.05 MJ kg⁻¹ and 1.24%, respectively. The ash rate value for *Merostachys multiramea*, *Chusquea gracilis* e *Chusquea mimosa* were 3.95%, 2.76% e 4.90%, whereas carbonized they were 5.43%, 6.43% e 7.93%, respectively. The *C. mimosa* species' superior calorific value was 25.55 MJ kg⁻¹ but due to great ash generation after the burn and specific mass of 0.20 g cm⁻³ *in natura* and 0.10 g cm⁻³ in coal, may be better characteristics for activated charcoal use. *Phyllostachys aurea*'s specific mass was 0.63 g cm⁻³ *in natura* and 0.41 g cm⁻³ carbonized. The species' high ash rate may be related to the mineral constituent rate present in the plant. In spite of that, all species presented favorable characteristics to use for energetic purposes, but the *Phyllostachys aurea* species was the one which presented itself more similar to those characteristics presented by eucapiltus wood, commonly used for this purpose.

Key words: bamboo, bioenergy, carbonization.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1 – MAPA DE LOCALIZAÇÃO DO MUNICÍPIO DE SÃO MATEUS DO SUL	41
FIGURA 2 – MAPA DE LOCALIZAÇÃO DAS COLETAS	42
FIGURA 3 – ILUSTRAÇÃO DE UM COLMO DAS ESPÉCIES (A) <i>CHUSQUEA MIMOSA</i> , (B) <i>PHYLLOSTACHYS AUREA</i> , (C) <i>CHUSQUEA MIMOSA</i> E (D) <i>MEROSTACHYS MULTIRAMEA</i>	43
FIGURA 4 – ILUSTRAÇÃO DA ESPÉCIE COLETADA <i>C. GRACILIS</i> E (A) DETALHES DA BASE DO COLMO (B) MEIO E (C) TOPO	44
FIGURA 5 – ILUSTRAÇÃO DA ESPÉCIE COLETADA <i>C. MIMOSA</i> E (A) DETALHES DA BASE DO COLMO (B) MEIO E (C) TOPO	45
FIGURA 6 – ILUSTRAÇÃO DA ESPÉCIE COLETADA <i>M. MULTIRAMEA</i> E (A) DETALHES DA BASE DO COLMO (B) MEIO E (C) TOPO	46
FIGURA 7 – (A) PERDA DE MASSA E (B) A CURVA DERIVADA DA PERDA DE MASSA (DTG) EM FUNÇÃO DA TEMPERATURA DAS QUATRO ESPÉCIES ANALISADAS	64

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – MASSA ESPECÍFICA ENCONTRADA NA LITERATURA	28
TABELA 2 – ANÁLISE QUÍMICA IMEDIATA DA BIOMASSA <i>IN NATURA</i>	29
TABELA 3 – MASSA ESPECÍFICA DE CARVÃO ENCONTRADO NA LITERATURA	31
TABELA 4 – ANÁLISE QUÍMICA IMEDIATA DO CARVÃO	32
TABELA 5 – FAIXAS DE RENDIMENTO DE CARVÃO ENCONTRADO NA LITERATURA.....	33
TABELA 6 - ANÁLISE QUÍMICA DE BAMBU E EUCALYPTUS SPP. <i>IN NATURA</i> ..	35
TABELA 7 – PODER CALORÍFICO SUPERIOR DA BIOMASSA	37
TABELA 8 – PODER CALORÍFICO SUPERIOR DO CARVÃO	38
TABELA 9 - DETERMINAÇÃO NATURAL DA BASE, MEIO E TOPO DAS DIFERENTES ESPÉCIES DE BAMBUS.....	55
TABELA 10 – DETERMINAÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA DOS BAMBUS <i>IN NATURA</i> E DO CARVÃO	56
TABELA 11 – ANÁLISE QUÍMICA IMEDIATA DOS BAMBUS <i>IN NATURA</i> E DO CARVÃO.....	58
TABELA 12 – DETERMINAÇÃO DO PODER CALORÍFICO SUPERIOR DA BIOMASSA DO BAMBU <i>IN NATURA</i> E DO CARVÃO.....	60
TABELA 13 – RENDIMENTO GRAVIMÉTRICO EM CARVÃO (RGC), EM CARBONO FIXO (RCF) E ENERGÉTICO (RE).....	62
TABELA 14 – TEOR DE EXTRATIVOS TOTAIS E TEOR DE LIGNINA DAS ESPÉCIES DE BAMBU <i>IN NATURA</i>	63
TABELA 15 – PERDA DE MASSA (%) DAS DIFERENTES ESPÉCIES EM FUNÇÃO DAS FAIXAS DE TEMPERATURAS.....	65

LISTA DE ABREVIações

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
ASTM	American Standard Test Method
BAMCRUS	Bambuzeria Cruzeiro do Sul
CBRC	China Bamboo Research Center
CF	Carbono Fixo
DAP	Diâmetro médio à Altura do Peito
DFRS	Department of Forest Research and Survey
DTG	Derivada da Perda de Massa
FAO	Food and Agriculture Organization of the United Nations
INBAR	International Network for Bamboo and Rattan
MME	Ministério de Minas e Energia
PNMCB	Política Nacional de Incentivo ao Manejo Sustentado e ao Cultivo do Bambu
PCS	Poder Calorífico Superior
PEI	Parques Estaduais Intervales
TAPPI	Technical Association of the Pulp and Paper Industry
TGA	Termogravimetria
WEC	World Energy Council

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
2.1	BAMBU E SUA DISTRIBUIÇÃO GEOGRÁFICA	16
2.2	UTILIZAÇÃO DO BAMBU	17
2.3	ASPECTOS AMBIENTAIS, ECONÔMICOS E SOCIAIS DOS USOS DO BAMBU	20
2.4	ESPÉCIES DE BAMBU	22
2.4.1	<i>Chusquea gracilis</i> McClure & Smith	22
2.4.2	<i>Chusquea mimosa</i> McClure & Smith	23
2.4.3	<i>Merostachys multiramea</i> Hackel	24
2.4.4	<i>Phyllostachys aurea</i> A. C. Rivière	25
2.5	PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DA BIOMASSA DE BAMBU	26
2.5.1	<i>Teor de umidade</i>	26
2.5.2	<i>Massa específica</i>	27
2.5.3	<i>Análise química imediata da biomassa</i>	28
2.6	PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DO CARVÃO	30
2.6.1	<i>Teor de umidade</i>	30
2.6.2	<i>Massa específica</i>	31
2.6.3	<i>Análise química imediata do carvão</i>	31
2.6.4	<i>Rendimento gravimétrico em carvão</i>	33
2.7	PROPRIEDADES QUÍMICAS DA BIOMASSA DE BAMBU	34
2.8	PROPRIEDADES ENERGÉTICAS DE ESPÉCIES DE BAMBU	36
2.8.1	<i>Poder calorífico superior da biomassa</i>	36
2.8.2	<i>Poder calorífico superior do carvão</i>	38
2.8.3	<i>Termogravimetria</i>	38
3	MATERIAL E MÉTODOS	40
3.1	LOCAL DE COLETA DAS ESPÉCIES DE BAMBU	40
3.2	COLETA DAS ESPÉCIES DE BAMBU	41
3.2.1	<i>Chusquea gracilis</i> – Criciúma	43
3.2.2	<i>Chusquea mimosa</i> – Caratuva	44
3.2.3	<i>Merostachys multiramea</i> – Taquara lixa	45
3.2.4	<i>Phyllostachys aurea</i> – Dourado	46

3.3	CARACTERIZAÇÃO DA BIOMASSA DE BAMBU	47
3.3.1	<i>Determinação do teor de umidade</i>	48
3.3.2	<i>Determinação da massa específica</i>	48
3.3.3	<i>Determinação de teor de material volátil, de carbono fixo e de cinzas</i>	49
3.3.4	<i>Determinação do poder calorífico superior (PCS)</i>	50
3.3.5	<i>Determinação do rendimento gravimétrico, rendimento em carbono fixo e rendimento energético do carvão</i>	50
3.3.6	<i>Análise de teor de extrativos e lignina</i>	52
3.3.7	<i>Termogravimetria</i>	54
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	55
4.1	DETERMINAÇÃO DO TEOR DE UMIDADE	55
4.2	DETERMINAÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA	56
4.3	DETERMINAÇÃO DE TEOR DE MATERIAL VOLÁTIL, DE CARBONO FIXO E DE CINZAS	58
4.4	DETERMINAÇÃO DO PODER CALORÍFICO SUPERIOR	60
4.5	DETERMINAÇÃO DO RENDIMENTO GRAVIMÉTRICO EM CARVÃO, RENDIMENTO EM CARBONO FIXO E RENDIMENTO ENERGÉTICO	62
4.6	ANÁLISE DE TEOR DE EXTRATIVOS TOTAIS E LIGNINA	63
4.7	TERMOGRAVIMETRIA	64
5	CONCLUSÕES	68
6	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	69

1 INTRODUÇÃO

A dependência por energias provenientes de fontes fósseis e os problemas causados por este tipo de combustível, é de preocupação mundial (ZHU et al., 2011). O crescente consumo, de fontes não renováveis de energia, torna a busca por novas fontes alternativas de grande interesse (MOGHTADERI; SHENG; WALL, 2006; ESTEBAN; CIRIA; CARRASCO, 2008; PROTÁSSIO et al., 2013).

A bioenergia é a maior fonte de energia renovável, fornecendo 10% do suprimento global de energia. A madeira representa 68% do fornecimento de energia primária por biomassa, seguido do carvão vegetal com 10% (madeira é a fonte de mais de 52 milhões de toneladas de carvão utilizado). Globalmente, a bioenergia representou 14% do consumo mundial de energia em 2012, com cerca de 2,6 bilhões de pessoas dependentes da biomassa tradicional para consumo de energia, ou seja, aproximadamente 37% (WORLD ENERGY COUNCIL, 2016).

Define-se como biomassa a matéria orgânica que possa ser transformada em energia térmica e, posteriormente, transformada em energia mecânica e/ou elétrica. De acordo com a sua origem, pode ser florestal, agrícola ou proveniente de rejeitos urbanos e industriais (AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2008). Os exemplos mais comuns são os materiais lignocelulósicos, como lenha, resíduos de empresas de base florestal e carvão vegetal, este último amplamente utilizado na siderurgia (CALAIS, 2009). Outros exemplos são arroz (*Oryza sativa* L.), palha e bagaço de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.) e capim elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) (SEYE; CORTEZ; GOMEZ, 2000).

O *Bambuseae* Kunth ex Dumort. (*Bambusoideae* Luerst.) é um dos principais produtos florestais não madeiráveis, com potencial substituto da madeira em função da presença de tecido lenhoso em sua estrutura fisiológica (FAO, 2007). Porém, botanicamente não é uma árvore, isso leva a omissão nas discussões relacionadas às mudanças climáticas sobre florestas, mas como bioenergia é reconhecida em muitos países (INBAR, 2014). O bambu tem grande potencial, sendo a grande produtividade de biomassa uma característica que se destaca.

A China e a Índia são os maiores produtores de bambu, anualmente estima-se que sejam processados cinco milhões de toneladas de bambu em cada país

(KLEIN, 2015). A União Europeia (UE), Estados Unidos da América (EUA) e o Japão, em conjunto, consumiram mais de 56% das commodities de bambu e rattan (espécie de palmeira) do mercado global (BENTON et al., 2011).

Reconhecendo este mercado em potencial, a China vem estabelecendo estratégias e busca de parceiros visando à cadeia produtiva de bambu, principalmente com países tropicais, onde o Brasil se enquadra com grande potencial para produção da matéria prima (OSTAPIV; FAGUNDES, 2007).

Teoricamente, o bambu já tem importância reconhecida no Brasil. Em 2011, foi implementada a Lei Nacional 12.484/2011 que institui a Política Nacional de Incentivo ao Manejo Sustentado e ao Cultivo do Bambu (PNMCB) (BRASIL, 2011), a qual visa promover o manejo sustentado das formações nativas e ao cultivo de bambu voltado para extração de brotos, obtenção de serviços ambientais e valorização da atividade como instrumento de fomento do desenvolvimento socioeconômico regional pela agricultura familiar.

O desenvolvimento de ações em assistência técnica e extensão rural junto a agricultores de base família nas regiões são importantes para a permanência das pessoas no campo, e para o maior desenvolvimento rural sustentável, alternativas são estudadas. Dentro deste escopo, a avaliação do potencial energético da biomassa de bambu torna-se de interesse, sobretudo no município de São Mateus do Sul, onde os pequenos produtores desta região já fazem uso da mesma.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Bambu e sua distribuição geográfica

O bambu pertence à família *Poacea* e subfamília *Bambusoideae*, às vezes tratados separadamente como pertencentes à família *Bambusaceae*. Relata-se na literatura aproximadamente 50 gêneros e 1.300 espécies, que se distribuem dos trópicos às regiões temperadas do globo, com maior ocorrência nas zonas com temperaturas elevadas e precipitação abundante, tais como regiões tropicais e subtropicais da Ásia, África e América do Sul. Os bambus crescem naturalmente em todos os continentes, com exceção da Europa, sendo 62% da Ásia, 34% das Américas e 4% da África e Oceania (HIDALGO LOPEZ, 2003).

Grande parte das espécies observadas no Brasil são exóticas e, utilizadas na categoria de ornamentais. Na sua maioria são originárias de países orientais, com exceção ao gênero *Guadua* spp., que é originário da América. Este é muito utilizado na Colômbia e Equador, possuindo várias espécies nativas no Brasil (PEREIRA, 2001).

O Brasil possui 34 gêneros e 232 espécies de bambus nativos (174 espécies endêmicas), sendo 16 gêneros do tipo herbáceo e 18 gêneros do tipo lenhoso (AZZINI; BERALDO, 2001). Alguns lenhosos são conhecidos popularmente como taquara, taboca, jativoca, taquaruçu ou taboca-açu (AZZINI; BERALDO, 2001). Foram registrados 34 nomenclaturas em tupi-guarani, resultado dos encontros entre colonizadores e indígenas que reconheciam as diferenças entre as espécies de bambus (FILGUEIRAS; GONÇALVES, 2007).

O bambu ocorre em ambientes de mata, distribuídas em grande parte na Floresta Atlântica (65%), seguida da Floresta Amazônia (26%) e alguns relatos nos Cerrados (9%), ocorrentes principalmente quando há desbaste florestal indiscriminado (FILGUEIRAS; GONÇALVES, 2004). O gênero *Chusquea* spp. apresenta cerca de 200 espécies nas Américas Central e do Sul, com mais de 50 espécies no Brasil, geralmente de florestas serranas (WANDERLEY; SHEPERD; GIULIETTI, 2001).

Estudo realizado nos Parques Estaduais Intervale (PEI), Carlos Botelho e Alto Ribeira e a Estação Ecológica de Xitué, localizados no estado de São Paulo, indicaram dominância das espécies *Guadua tagoara* (Ness) Kunth e *Chusquea oxylepis* (Hackel) Ekman, e a ampla ocorrência de *Chusquea* spp. e *Merostachys* spp. Uma das áreas amostrais apresentou grande ocorrência no sub-bosque e dossel enquanto em outra área, o bambu apareceu em floresta mais estruturada, com ocorrência esporádica de espécies de bambus no sub-bosque (ARAUJO; RODRIGUES, 2011).

Devido à ocorrência dos taquarais de *Merostachys multiramea* Hackel no Brasil, é grande a observação dos eventos de mortalidade sincronizada desta espécie, e isso pode ser um resultado positivo, já que após aproximadamente cinco anos, a área se torna dominada ecologicamente por espécies pioneiras. Este cenário ainda pode ser confundido com clareiras que ocorrem por quedas de árvores (SANTOS et al., 2015). Esse efeito é marcante mesmo num curto período de tempo (SANQUETTA et al., 2007), pois sua presença interfere efetivamente na regeneração natural da floresta (GUILHERME, 1999). Algumas espécies de *Merostachys* spp. têm um longo intervalo de florescimento, entre 30 a 34 anos (SENDULSKY, 1995).

O gênero *Merostachys* spp. possui 55 espécies nas Américas Central e do Sul, a maioria do Brasil (WANDERLEY; SHEPERD; GIULIETTI, 2001). Segundo Sendulsky (1995), 87% dessas espécies são encontradas nas florestas montanas do leste e sudeste do Brasil. No Paraná, essa abundância das taquaras nas florestas, são constituídas principalmente pelos gêneros *Chusquea* spp. e *Merostachys* spp. (MAACK, 1968).

2.2 Utilização do bambu

A China apresenta a maior tradição na utilização do bambu, sendo estimados mais de quatro mil usos tradicionais, dentre diversas áreas como construção, agricultura, artesanato, utensílios domésticos, artes e atividades diárias

(HSIUNG, 1988). Embora tenha ampla possibilidade de uso, na Ásia, por exemplo, aproximadamente 80% são destinados à construção (OLIVEIRA, 2006).

Os produtos laminados provenientes do bambu, por exemplo, são destinados para compor habitações, mobiliários, pisos, painéis, lambris, cabos para ferramentas, e também na forma de chapas de partículas, compósitos, OSB, celulose e papel (PEREIRA, 2006). Além destas aplicações já citadas, também é uma fonte alimentícia, consumido por humanos e por pequenos roedores denominados “ratos de bambu” (*Kannabateomys amblyonyx*), que dependem do broto, no qual a reprodução destes coincide com a mesma época da reprodução vegetativa da planta (SILVA, 1993; SARTI; SILVA; VIEIRA, 2012).

É possível extrair amido através da desintegração do *Guadua flabellata*, e outros resíduos como fibras e pedaços de células de parênquima podem ser utilizadas para outros fins, como celulose. A cor do amido desta espécie se assemelha ao da batata (*Solanum tuberosum* L.) e suas dimensões com o amido do arroz (*Oryza sativa*) (AZZINI et al., 1981).

As dimensões da fibra de *Bambusa vulgaris* Schrad. ex J.C. Wendl. também mostram grande potencial como as fibras tradicionais de linho (*Linum usitatissimum* L.), sisal (*Agave sisalana* Perrine) e curauá (*Ananas erectifolius* L. B. Smith), mas como são mais leves, rígidas e fortes, despertam atenção na produção de produtos para as indústrias automotivas, eletroeletrônica, náutica, aeroespacial e embalagens, isso é devido as características de suas fibras, que são longas, estreitas, com lúmen pequeno e paredes relativamente espessas (GUIMARÃES et al., 2010).

Visando ao desenvolvimento de materiais alternativos para construção civil, a produção de chapas de partículas prensadas utilizando folhas caulinares do bambu (*Dendrocalamus giganteus* Wall. ex Munro) juntamente com resíduo de usinas de cana de açúcar (*Saccharum officinarum*), se mostraram mais densas naquelas chapas que constituem maior percentual de folhas caulinares de bambu (BATTISTELLE; MARCILIO; LAHR, 2006).

Um trabalho pioneiro de três décadas estudou o potencial energético de cinco espécies de bambu, em clima temperado que foram comparados com madeira de *Eucalyptus urophylla*, apresentou poder calorífico superior de 18,97 MJ kg⁻¹, sendo que umas das espécies estudadas, *Bambusa vulgaris vittata* apresentou valor

superior, com $19,89 \text{ MJ kg}^{-1}$ (BRITO; TOMAZELLO; SALGADO, 1987). Desde então várias espécies vem sendo avaliadas, com melhoramento das características energéticas, por exemplo, através da alocação de nutrientes na planta (OLIVEIRA et al., 2008) e tratamentos térmicos adequados (MAIA et al., 2013).

O carvão do bambu segue a tendência da planta e assim possui diversas utilizações no ramo ambiental, devido as suas características, como purificador do ar, desodorante, desumidificador e prevenção na formação de fungos, absorção de ondas eletromagnéticas, eliminação de impurezas e produtos químicos de águas cloradas, conservação de alimentos, em atividades pecuárias na redução de odores e umidade nos estábulos, na agricultura misturada a esterco para adubação do solo, uso em cosméticos, aplicações terapêuticas, técnicas para indução sono com carvão, filtros para indústria de tabaco e descolorantes na indústria alimentícia (AFONSO, 2011).

O carvão ativado também é um material carbonáceo, com elevada área superficial, possui grupos funcionais de superfície com afinidade para diversos adsorbatos (AVELAR, 2010; FARIA; ORFAO; PEREIRA, 2005) sendo mais leve e mais absorvente, usado para descoloração de produtos alimentares, usos medicinais, desinfecção, purificação de solventes (BRITO; BARRICHELO, 1981). Os carvões ativados preparados a partir de resíduo de bambu apresentaram elevada capacidade de adsorção (SANTANA, 2014) evidenciado em estudos da superfície específica do carvão de bambu no valor de $2.610 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$ (HONGBO et al., 2001), superior ao carvão de alta qualidade que possui valor de $2.000 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$ (MAYER, 1975).

No solo, o carvão é importante, visto que é uma forma de estocagem de carbono, aumentando a capacidade de retenção hídrica, impedindo a perda de nutrientes por lixiviação (SOHI et al., 2010). A melhora das características neutralizantes e de trocas iônicas do carvão de bambu é influenciada pela temperatura de carbonização, sendo que aqueles produzidos a 550°C proporciona caráter mais aromático, ou seja, aumenta a estabilidade do material contra decomposição biológica e bioquímica, com menos grupos funcionais que os carvões produzidos a 350°C , por exemplo, quando usados no solo (MAIA et al., 2013).

Esse potencial também é mostrado nas espécies de bambu *Bambusa vulgaris vittata*, *Dendrocalamus asper* (Schult. & Schult. f.) Baker ex K. Heyne e *Bambusa tuldoidea* Munro, na forma de pellets, sendo que as características atendem às especificações de qualidade exigidas nas normas internacionais de comercialização de produtos, exceto pelos altos níveis de cinzas (SETTE et al., 2016).

Os bambus ou taquaras são utilizados de diversas formas com notório papel na economia Paranaense, apresentam potencialidades de usos como produto florestal não madeirável, os bambus lenhosos nativos dos gêneros *Actinocladum* spp., *Apoclada* spp., *Chusquea* spp., *Guadua* spp., *Merostachys* spp. e *Olyra* spp. (SANQUETTA et al., 2005).

Em Honduras, onde é comum a utilização de bambu para fins artesanais, além da cana e coco, pode-se citar que a espécie *Merostachys argyronema* Lindman a maior parte da demanda atual de matéria prima (66,6%) (DIVER, 2001).

Segundo BYSTRIAKOVA; KAPOŠ; LYSENKO (2004), no Brasil o gênero *Merostachys* spp. é utilizado na fabricação de cestarias, no artesanato e na construção. Também utilizado na obtenção de polpa celulósica, juntamente com outros gêneros nativos *Chusquea* spp. e *Arundinaria* spp. (VALLE; BARBOSA; SOTO, 2000). Levantamentos já vêm sendo realizados como forma de estimular o uso da espécie *Merostachys multiramea*, desde que suportado pelo manejo sustentável, amparado por informações necessárias para que seu uso não se submeta a pressões negativas com o extrativismo (SCHWARZBACH; NEGRELLE, 2007).

2.3 Aspectos ambientais, econômicos e sociais dos usos do bambu

A produção desta biomassa é favorecida pelo rápido crescimento e utilização de menor área destinada para plantio, sendo que este crescimento é regulado conforme temperatura e disponibilidade hídrica. A facilidade de manejo e de treinamento da mão de obra também são vantagens para esta cultura, assim como o sequestro de carbono que é quatro vezes maior no bambu do que qualquer

árvore, contribuindo para a mitigação das mudanças climáticas (DANTAS; MILITO; LUSTOSA, 2005; LOPES, 2008).

Na Colômbia, dentro do Triângulo do Café, uma área com aproximadamente um milhão de hectares, estimou 40.000 ha, da espécie *Guadua angustifolia* Kunth, correspondente a 3,9% da área. O número médio de colmos foi de 6.940 pé ha⁻¹, com diâmetro médio à altura do peito (DAP) de 10,8 centímetros, volume comercial aparente de 654 m³ ha⁻¹, volume de madeira comercial de 304 m³ ha⁻¹, 311 Mg ha⁻¹ de biomassa seca e estoque de carbono total de 156 Mg ha⁻¹ (KLEINN; MORALES-HIDALGO, 2006).

A espécie *Merostachys skvortzovii* Send., nativa da Região Sul do Brasil, quando comparadas a outras nativas do gênero *Guadua* spp. e algumas espécies exóticas, apresentou maior teor de carbono por volume de material, próximos as espécies florestais que são utilizadas em projetos para fixação de carbono, se se apresentando assim como uma alternativa (DALLAGNOL, 2012).

A Rede Internacional de Bambu e Ratan (INBAR – International Network for Bamboo and Rattan) destaca esforço global em restaurar 150 milhões de hectares de áreas degradadas e desmatadas até 2020, sendo que se comprometeram coletivamente em restaurar 5 milhões de hectares usando bambu até 2020 (INBAR, 2015).

O Centro de Pesquisa de Bambu da China (CBRC – China Bamboo Research Center) destacou que houve intensificação no uso do bambu a partir dos anos 1980 em diversas áreas, destacando a alimentícia, fabricação de papel e outras aplicações na engenharia e química (CBRC, 2001).

A produção comercial de bambu mundial é liderada pela China. Grande parte deste é exportada na forma de artesanato, brotos comestíveis, e moveis. Estes valores atingem U\$\$ 5,6 bilhões. A estimativa do mercado mundial do bambu, em 2017, pode atingir cifras entre US\$ 15 a 20 bilhões (Departamento de Estudos Florestais DFRS – Department of Forest Research and Survey, 2010). Os maiores importadores são Estados Unidos e Comunidade Europeia (DFRS, 2010).

No Equador, existe um conselho consultivo específico para tal cultura. Este tem como objetivo estimular estudos sobre cultivo, produção, comercialização e utilização final do *Guadua angustifolia*. Neste caso a maior parte do uso é na

construção civil no próprio país e exportação para o Peru. Apesar de grande experiência, ainda são relatadas dificuldades no controle de qualidade e na sustentabilidade produtiva (KLOP; CARDENAS; MARLIN, 2003).

O Ministério do Desenvolvimento Urbano e Habitação do Equador, indicou avanços na padronização para engenharia com bambu, permitindo que os planejadores urbanos na América Latina e na Ásia, assim como na Colômbia e Peru, incorporem na habitação a infraestrutura de bambu, alcançando sistemas urbanos sustentáveis. Uma das vantagens das casas de bambu foi observada durante o terremoto no Equador, que mostraram maior resistência aos efeitos sísmicos, sendo assim existe a possibilidade dos equatorianos receber subsídios específicos para construções com bambu (INBAR, 2016). Em Madagascar existe política interministerial para desenvolvimento do setor do bambu (INBAR, 2016).

Em levantamento relacionado ao bambu realizado pela Organização das Nações Unidas para a Agricultura e a Alimentação (FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations) e INBAR, não foram descritos dados sobre o Brasil, a pesquisa indica indisponibilidade destes (KAHLER, 2005).

No Brasil, a utilização do bambu vem crescendo de forma lenta nas últimas décadas, sendo a maior parte representada no uso para artesanato, e a única empresa de grande porte, instalada na Região Nordeste, possui 40.000 hectares de plantio da espécie *Bambusa vulgaris*, para produção de pasta celulósica, com capacidade instalada de 72.000 toneladas ano⁻¹ (GUIMARÃES et al., 2010). Assim como é o caso desta empresa, se a bioenergia for gerada no mesmo local onde a biomassa de bambu é plantada, haverá maior proveito de CO₂, contendo o custo de logística e elevando a eficiência do uso final (PROTÁSIO et al., 2013).

2.4 Espécies de bambu

2.4.1 *Chusquea gracilis* McClure & Smith

Apresenta-se geralmente como uma planta ereta, com colmos lenhosos com redução de diâmetro discreto da base (16 mm) ao topo (6 mm); entrenós até 16 cm

de comprimento, e 3 mm de espessura, miudamente pontuados especialmente para o ápice; nós apenas inchados; bainhas medianas do colmo até 25 cm de comprimento e mais de 6 cm de largura (pela base). Folhas de bainhas cilíndricas, fortemente e miudamente pubescentes para o ápice e levemente fixas na base. Possui o menor porte dentre as espécies apresentadas, o arbusto, com os colmos curvados nas extremidades devido ao seu peso próprio, possui geralmente de 2-4 metros de altura, com folhas que se agrupam na altura dos nós, por toda a extensão do colmo, coloração verde escura, com algumas bainhas. *Gracilis*, do latim, significa delgado, referenciando-se aos novos ramos (REITZ, 1981).

Apresenta larga e inexpressiva dispersão, ocorrendo em touceiras isoladas no interior das matas abertas ou semi devastada. Espécie de luz difusa, situadas em solos úmidos, bem como na orla dos capões e das florestas dominadas pelo pinheiro do Paraná (*Araucaria angustifolia* Bert. Kuntz) e a imbuia (*Ocotea porosa* Nees et Martius ex Nees). Fornece forragem regular. Muito semelhante à espécie *Chusquea leptophylla* Nees, o que difere são suas folhas mais largas e mais curtas (REITZ, 1981).

2.4.2 *Chusquea mimosa* McClure & Smith

Esta espécie é subarbustiva, formada por muitos colmos, os quais são lisos e lustrosos; entrenós medianos até 26,5 cm de comprimento, entre 10 – 14 mm de espessura, estriados, rijos até 3 m ou mais de comprimento; possui nós pouco inchados; bainhas dos nós subapicais subtriangulares, até 9 cm de comprimentos, arredondado numa lâmina triangular no ápice, fortemente estriadas em ambos os lados quando secas; ramos desiguais. Folhas de bainhas bem fixadas, principalmente na base, ou quando maduras (ou por doença) divergentes e abertas, cilíndricas. Ela é a espécie de diâmetro maior que a anterior, maciça, com redução de diâmetro discreto da base (27 mm) ao topo (11 mm), suas folhas se agrupam somente na parte superior dos colmos, coloração verde, algumas raízes sendo

emitidos pelos nós basais. A partir de 2 metros seus galhos se entrelaçam fortemente (REITZ, 1981).

Apresenta vasta e expressiva, apesar de, descontínua dispersão. Espécies heliófita (que necessita de muita luz) ou de luz difusa, muito abundante; ocorre preferencialmente nos solos rochosos úmidos e rasos, situados em topografia bem acidentada, assim como ao longo das margens rochosas dos rios ou riachos. Adaptada a áreas montanas, encontra-se em altitudes entre 700 e 1500 m. Considerada ótima forragem e muito utilizada pelo gado (REITZ, 1981).

2.4.3 *Merostachys multiramea* Hackel

É uma planta subereta de 10 – 15 m de altura. Colmos 3-4 cm de espessura pela base, de glabros a escabrosos, ou seja, com aparência áspera. Ela é uma das espécies de diâmetro maior, comparadas as espécies anteriores, redução do diâmetro mais visível da base (35 mm) ao topo (6mm), colmo oco com muita água acumulada. Entrenós de 30-50 cm de comprimento, formando em cada nó fascículos de muitos ramos, agrupados de forma densa e muito característica, desiguais, foliados, bracteados e miudamente pubescentes pelas bases. Suas folhas se agrupam na parte superior do colmo, coloração verde escuro-marrom. Folhas de bainhas apertadas, cilíndricas, estriadas, levemente rugulosas entre as nervuras, até 13 cm de comprimento, 18 mm de largura, com algumas bainhas levemente fixas na base. Apresenta vasta e expressiva dispersão, desde 50 até 1200 m de altitude, formando densas e não raro quase contínuos agrupamentos por vastas áreas das florestas, sobretudo no planalto meridional do Sul do Brasil (REITZ, 1981).

Espécie esciófita (plantas que toleram locais sombreados), de luz difusa e até heliófita, também indiferente quanto às condições físicas dos solos, muito abundante, formando, não raro, geralmente encontrado em conjunto de plantas de estrutura semelhante e densa, no interior das florestas desenvolvidas, bem como no interior dos capoeirões de bracaatinga (*Mimosa scabrella* Benth.). Ocorre abundantemente, por toda a área dos pinhais mais desenvolvidos e cujas submatas

são dominadas pela imbuia (*Ocotea porosa*) e a sacopema (*Sloanea monosperma* Vell.), florestas, onde constitui um dos elementos mais expressivos. Igualmente nas matas pouco devastadas, se constata um adensamento maior das touceiras da taquara-lixá que se originou, após o espaçamento das árvores e a penetração de maior luz no interior da floresta (REITZ, 1981).

Esta espécie representa a mais importante do gênero no Sul do Brasil, bem adaptada, não só às diferentes condições físicas dos solos, mas desde as capoeiras e capoeirões, até a vegetação primária mais evoluída do ciclo climático atual no Sul do Brasil. No Paraná ocorre nos três planaltos. Áreas de dispersão englobam os estados brasileiros Paraná, Minas Gerais, Santa Catarina e Rio Grande do Sul, e mais Argentina e Paraguai (REITZ, 1981).

Apresentando um florescimento cíclico de aproximadamente 10 em 10 anos, após o qual as touceiras morrem, desempenha um papel importante na regeneração do pinheiro do Paraná (*Araucaria angustifolia*), bem como de outras espécies pioneiras mais exigentes quanto à luz para a germinação das sementes e posterior desenvolvimento. Ao morrerem, após florescimento e a frutificação, abrem-se grandes clareiras nas florestas, que duram alguns anos entre a morte, germinação das sementes e crescimento inicial das plântulas, quando o pinheiro do Paraná e outras plantas pioneiras têm chances de germinarem e se desenvolverem, libertando-se do sufocamento exercido pelos densos taquarais (REITZ, 1981).

Os colmos são largamente utilizados na fabricação de balaios, cestos, cestinhos, em carro-de-boi e ornamentos em trabalhos de artesanato. As folhas servem de forragem para o gado. As sementes são utilizadas para a criação de galinhas, bem como para a fabricação de farinha na confecção de pão caseiro (REITZ, 1981).

2.4.4 *Phyllostachys aurea* A. C. Rivière

Esta espécie tem as características de ser cespitosa, ou seja, entrenós basais são muito curtos, produzindo brotos de maneira a formar touceiras densas e

arbustivas, e os entrenós superiores chegam até 15 cm de comprimento. A planta ereta geralmente atinge 5 m de altura, 12-35 mm de espessura na base, os colmos jovens são verdes e os maduros são da cor amarela e lustrosa. Espécie de diâmetro maior de todas as apresentadas, oca, com uma redução de diâmetro mais visível da base (47 mm) ao topo (11 mm), suas folhas se agrupam na parte superior do colmo. Folhas de bainhas do colmo até 25 cm de comprimento, cor de palha com poucas máculas castanhas, pouca fixação na base (REITZ, 1981).

Aurea provem do latim que significa amarelo de ouro, com referencia a cor dos colmos adultos. Floresce em Maio e Agosto. Origem exótica originaria da China, cultivada no sul do Brasil como planta ornamental, bem como no Uruguai, Argentina e outras regiões subtropicais. Consolidada em encostas de rodovias e largamente usada para estacas de hortas, vassouras para gramados e cobertura de viveiros de plantas (REITZ, 1981).

2.5 Propriedades físico-químicas da biomassa de bambu

2.5.1 Teor de umidade

Segundo relatos da literatura o teor de umidade (TU) do bambu recém-cortado pode atingir valores de até 80%. Este valor pode variar dependendo da idade do material, posição ao longo do colmo e época do ano. Sendo que após quatro meses de secagem natural chegam entre 10 e 15%, variando de acordo com espessura da parede do colmo (BERALDO *et al*, 2001). As espécies *Dendrocalamus giganteus* e *Phyllostachys aurea*, mais utilizadas estruturalmente no Brasil, possuem teor de umidade natural entre 52 e 66% (ARMANDEI; DARWISH; GHAVAMI, 2015).

O teor de umidade é menor nos colmos mais velhos e no topo (BERNDSEN *et al.*, 2010). Colmos da espécie *Dendrocalamus strictus* (Roxb.) Nees, com aproximadamente quatro anos de idade, possuem maior teor de umidade na base do que no topo, 100% e 60% respectivamente, e ainda a parte externa da parede do colmo contem mais água do que a parte interna (LIESE, 1985). Pode haver a

variação na mesma localidade, este se deve a variações na estrutura das células (LIESE; GROVER, 1961).

Na espécie *Bambusa vulgaris*, foram relatados valores diferentes, onde a parte mediana apresentou maior conteúdo de água 36%, a base 33% e o topo com menor conteúdo de água com 29% (COSTA, 2004).

2.5.2 Massa específica

Além do teor de umidade, uma propriedade físico-química importante é a massa específica, que também varia com a idade e posição ao longo dos colmos de (BERNDSEN et al., 2010). Este parâmetro é importante, pois afeta diretamente na massa específica do carvão, quanto maior a massa específica da biomassa *in natura*, maior é a massa específica do carvão, que se relaciona com o poder calorífico, que é a quantidade de energia contida na massa do combustível (MJ kg^{-1}) (PETROFF; DOAT, 1978).

Brito et al. (1987), encontraram valores de massa específica de bambu acima do *E. urophylla* (híbrido), que torna o carvão vegetal mais denso e desejável em questões de qualidade (BRITO; TOMAZELLO; SALGADO, 1987).

Para madeira de árvores utilizadas para fins energéticos o valor $0,49 \text{ g cm}^{-3}$ é próximo da espécie *Eucalyptus grandis* W. Hill (OLIVEIRA et al., 2005). Outras espécies do gênero *Eucalyptus* spp. que também se enquadram neste perfil se encontram na faixa de $0,47 \text{ g cm}^{-3}$ a $0,58 \text{ g cm}^{-3}$ (BRITO et al., 1983). Para *Eucalyptus pellita* F. Muell., a massa específica foi de $0,56 \text{ g cm}^{-3}$ (OLIVEIRA et al., 2010).

A massa específica normalmente aumenta com a idade e da base para o topo (BERNDSEN et al., 2010). Na espécie *Phyllostachys pubescens* (Pradelle) Mazel ex J.Houz, a maior massa específica foi de $0,80 \text{ g cm}^{-3}$ encontrada no topo dos bambus de cinco anos e a menor foi de $0,55 \text{ g cm}^{-3}$ na base do bambu de um ano (BERNDSEN, 2008).

Outros valores encontrados na literatura são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Massa específica encontrada na literatura

Espécies	Massa específica (g cm ⁻³)	Referência
<i>Guadua angustifolia</i>	0,63	Brito; Tomazello Filho; Salgado, 1987
<i>Bambusa tuldooides</i>	0,62	Azzini; Ciaramello, 1972; Brito; Tomazello Filho; Salgado, 1987; Salgado, 2014
<i>Bambusa tuldooides</i>	0,71	Brito; Tomazello Filho; Salgado, 1987
<i>Bambusa tuldooides</i>	0,35	
<i>Dendrocalamus asper</i>	0,25	Sette Jr et al., 2016
<i>Bambusa vulgaris</i>	0,29	
<i>Bambusa vulgaris</i>	0,69	Brito; Tomazello Filho; Salgado, 1987
<i>Bambusa vulgaris vittata</i>	0,55	Ciaramello; Azzini, 1971, Barrichelo; Foelkel, 1975
<i>Bambusa vulgaris vittata</i>	0,74	Brito; Tomazello Filho; Salgado, 1987
<i>Bambusa vulgaris vittata</i>	0,73	Salgado, 2014
<i>Bambusa vulgaris</i>	0,55	Ciaramello; Azzini, 1971, Barrichelo; Foelkel, 1975
<i>Bambusa vulgaris</i>	0,74	
<i>Bambusa oldhami</i> Munro	0,61	Salgado, 2014
<i>Dendrocalamus latiflorus</i> Munro	0,68	
<i>Dendrocalamus giganteus</i>	0,55	Ciaramello; Azzini, 1971, Barrichelo; Foelkel, 1975; Salgado, 2014
<i>Dendrocalamus giganteus</i>	0,74	Brito; Tomazello Filho; Salgado, 1987
-	0,50 – 0,90	Hidalgo-López, 2003
<i>E. gummifera</i> (Sol. ex Gaertner) Hochr.	0,46	Brito et al., 1983

2.5.3 Análise química imediata da biomassa

O conhecimento da composição imediata da biomassa, teor de carbono fixo (TCF), teor de material volátil (TMV) e teor de cinzas (TCZ), são importantes para a utilização da mesma como fonte de energia pois influenciam no seu poder calorífico (BRITO, BARRICHELO, 1978).

Os combustíveis com alto teor de carbono fixo e baixo teor de materiais voláteis queima mais lentamente, o que exige um longo período de tempo no forno para decomposição integral (BRAND, 2010; NOGUEIRA; LORA, 2003).

O teor de cinzas depende diretamente da composição química do vegetal, o qual esta relacionada aos minerais que constituem a composição química do solo, como cálcio, potássio, fosforo, magnésio, ferro, sódio, entre outros (TIENNE; DESCHAMPS; ANDRADE, 2004).

O teor de cinzas, que tem correlação negativa com o poder calorífico superior de uma biomassa, depende da quantidade da sílica presente no material. Segundo Brito e colaboradores, 1987, os teores de cinzas nos bambus devem ficar na faixa de 2,4 – 9,7% e de sílica 1,3 – 6,4%. Comparando espécies de bambu e de *Eucalyptus* spp., foi observado que a espécie *Guadua angustifolia*, apresentou teor de cinzas dez vezes maiores, enquanto as outras apresentaram valores semelhantes ao Eucalipto (BRITO; TOMAZELLO; SALGADO, 1987).

A espécie de bambu *P. aurea* apresenta maior teor de voláteis, sendo uma característica da biomassa *in natura*. Combustíveis com alto teor de substâncias voláteis são mais fáceis e rápidos de queimar (SMITH, 1976).

Outro parâmetro analisado na análise imediata é o carbono fixo, o qual esta diretamente relacionada com a qualidade na produção de energia (BRITO; TOMAZELLO; SALGADO, 1987). Alto teor de carbono fixo reflete na queima da biomassa mais lentamente comparado aqueles com menor teor de carbono fixo, necessitando assim de maior tempo de residência na queima (BRITO; BARRICHELO, 1982) e com menor formação de chama, pois esta relacionado com material volátil (BRITO; BARRICHELO, 1978).

Tabela 2 – Análise química imediata da biomassa *in natura*

Espécies	TCZ (%)	TCF (%)	TMV (%)	Referência
<i>Bambusa vulgaris</i> , polpa de celulose residual	1,60	13,10	85,30	Protásio et al., 2013
<i>Bambusa vulgaris</i> , base	10,00	15,00	75,00	Costa, 2014
<i>Bambusa vulgaris</i>	2,50	22,80	74,70	Sette Jr et al., 2016
<i>Dendrocalamus asper</i>	2,10	23,00	75,00	
<i>Bambusa tuldoidea</i>	3,00	21,80	75,20	
<i>Eucalyptus benthamii</i> Maiden & Cabbage	0,25	16,00	84,00	Silva et al., 2012

Espécies	TCZ (%)	TCF (%)	TMV (%)	Referência
<i>Eucalyptus grandis</i>	0,31	9,60	89,90	Brito; Barrichelo, 1978
<i>Eucalyptus urograndis</i> híbrido	0,30	17,50	82,20	Sette Jr et al., 2016

2.6 Propriedades físico-químicas do carvão

A produção de carvão necessita de pequena quantidade de oxigênio para dar ignição ao processo de carbonização, gerando o calor necessário ao processo da pirólise (DALLASTRA, 2010).

Em 2003 no Estado de São Paulo, foi criado o Selo Premium, que determina que carvão vegetal de qualidade deva apresentar teor de umidade abaixo de 5%, o teor de carbono fixo maior que 75%, teor de materiais voláteis abaixo de 23,5% e o teor de cinzas menor que 1,5% (SÃO PAULO, 2003).

Para uso doméstico, o carvão vegetal de boa qualidade deve apresentar alta massa específica relativa aparente, alto teor de carbono fixo, alto poder calorífico, baixa umidade, baixo teor de materiais voláteis e baixo teor de cinzas (RIBEIRO; VALE, 2006), bem como o carvão metalúrgico que deve apresentar teor de materiais voláteis e cinzas baixos e no mínimo 80% de carbono (BRITO; BARRICHELO, 1981).

2.6.1 Teor de umidade

No geral, o emprego de carvão vegetal com elevado teor de umidade pode aumentar o consumo do carvão, resultado da necessidade da ocorrência de uma maior intensidade de reações de combustão para fornecimento de calor (BRITO, 1993). O teor de umidade aumenta conforme o aumento de temperatura de carbonização. Na espécie *Bambusa vulgaris*, com carbonização a 400°C apresentou teor de umidade de 0,87%, a 600°C elevou-se para 1,34% e para 800°C chegou a 1,61% (COSTA, 2004).

2.6.2 Massa específica

A massa específica da madeira influencia na massa específica do carvão (DALLASTRA, 2010) e essa é uma exigência do carvão metalúrgico, que além de ser denso, deve ser pouco friável e ter uma boa resistência (BRITO; BARRICHELO, 1981).

Na Tabela 3 são apresentados os valores da massa específica de carvão vegetal obtidos a partir de madeira de diferentes gêneros de eucalipto e bambu.

Tabela 3 – Massa específica de carvão encontrado na literatura

Espécies	Massa específica (g cm ⁻³)	Referência
<i>Eucalyptus urophylla</i>	0,25	
<i>Bambusa vulgaris vittata</i>	0,49	
<i>Bambusa tuldoidea</i>	0,49	Brito; Tomazello Filho; Salgado, 1987
<i>Bambusa vulgaris</i>	0,42	
<i>Dendrocalamus giganteus</i>	0,42	
<i>Guadua angustifolia</i>	0,45	
Clones híbridos de <i>Eucalyptus</i> spp.	0,27-0,34	Santos, 2010; Castro et al., 2013
<i>Eucalyptus pellita</i> , diferentes faixas de tempo e temperatura de carbonização	0,35 – 0,38	Oliveira et al., 2010

2.6.3 Análise química imediata do carvão

O carvão vegetal é mais viável energeticamente comparado a madeira *in natura*, devido a sua alta concentração de carbono fixo. Na Tabela 5 são apresentados os teores de cinzas, de carbono fixo e de material volátil do carvão vegetal obtido a partir de madeira de *Eucalyptus* spp. e de bambu.

Tabela 4 – Análise química imediata do carvão

Espécies	TCZ (%)	TCF (%)	TMV (%)	Referência
<i>Eucalyptus urophylla</i>	0,50	90,80	-	
<i>Bambusa vulgaris vittata</i>	5,10	84,20	-	Brito; Tomazello; Salgado, 1987; Salgado, 2014
<i>Bambusa tuldoidea</i>	3,00	90,40	-	
<i>Bambusa vulgaris</i>	3,50	86,30	-	
<i>Bambusa vulgaris</i> , 400°C	7,43	61,25	29,33	Costa, 2004
<i>Eucalyptus saligna</i> Sm., 400°C	0,80	64,78	34,43	
<i>Dendrocalamus giganteus</i>	5,00	87,70	-	Brito; Tomazello; Salgado, 1987; Salgado, 2014
<i>Guadua angustifolia</i>	12,30	79,30	-	
<i>Phyllostachys aurea</i> , 450°C	2,70	57,40	36,50	Maia et al., 2013
<i>Phyllostachys aurea</i> , 550°C	4,30	60,50	31,30	
<i>Guadua</i> spp., 450°C	11,70	59,10	24,30	
<i>Guadua</i> spp., 550°C	9,6	62,5	23,9	
<i>Eucalyptus pellita</i> , diferentes faixas				
de tempo e temperatura de carbonização	1,86 – 2,60	83,17 – 88,17	9,71 – 14,65	Oliveira et al., 2010

A pirólise a baixa temperatura, entre 400°C e 500°C, melhorou o rendimento energético da biomassa, assim como o aumento do poder calorífico, maior carbono fixo e menor material volátil (BRIANE; DOAT, 1985; PARK et al., 2012).

O alto teor de carbono fixo no carvão tem forte influência na produção de aço, sendo definidos por algumas siderurgias no valor superior a 70% (OLIVEIRA, 2009), porém o teor de carbono fixo é inversamente proporcional ao rendimento gravimétrico (BRIANE; DOAT, 1985; MEZERETTE; VERGNET, 1994).

2.6.4 Rendimento gravimétrico em carvão

Quanto maior for o rendimento gravimétrico em carvão (RGC), maior será a produtividade energética por hectare (BRITO et al., 1983) e maior o lucro na venda (OLIVEIRA et al., 2010). Para melhorar este rendimento e qualidade do produto final, as empresas fazem com que as enforçadas sejam carregadas com um diâmetro médio das toras, reduzindo a quantidade de tiços (carbonização parcial) e finos (cinzas) (OLIVEIRA, 2009).

Na Tabela 4 são apresentadas as faixas de rendimento de carvão vegetal obtido a partir de madeira de árvores e de bambu.

Tabela 5 – Faixas de rendimento de carvão encontrado na literatura

Espécies	Rendimento (%)	Referência
Bambusa spp.	28 – 32	Brito; Tomazello Filho; Salgado, 1987
<i>Phyllostachys aurea</i>	31 – 52	Maia et al., 2013
Guadua spp.	31 – 40	
Eucalyptus spp.	40 – 50	Brito; Tomazello Filho; Salgado, 1987; Lima et al., 2009
Eucalyptus spp.	33 – 38	Brito et al., 1983
Eucalyptus spp.	28 – 41	Santos, 2010
<i>Eucalyptus pellita</i> , diferentes faixas de tempo e temperatura de carbonização	30 – 32	Oliveira et al., 2010

A composição química da madeira afeta diretamente o rendimento em carvão (PETROFF; DOAT, 1978) assim como a massa específica (BRITO; BARRICHELO, 1981).

O rendimento de carvão diminui com o aumento da temperatura de carbonização (BRIANE; DOAT, 1985; SYRED et al., 2006), por exemplo, para produção de carvão da espécie *Phyllostachys aurea*, em 550°C, rendeu 31% e em 350°C, 52% (MAIA et al., 2013).

Quando submetida a processos diferentes de produção de carvão, a espécie *Bambusa sinospinosa* Mc Clure variou as quantidades produzidas de materiais sólidos, líquidos e gasosos. O rendimento de sólidos foi decrescente entre 250 a 350°C, sendo a temperatura de 250°C que apresentou maior rendimento (CHEN et al., 2015).

O controle da temperatura de carbonização da parte inferior do forno, buscando-se maior proximidade com as temperaturas da parte superior do forno, assegurou rendimento médio de 33% de carvão (OLIVEIRA et al., 2013; CASTRO et al., 2013), sendo que o valor de 35% foi devido ao cumprimento das faixas de carbonização, onde a temperatura de saída dos gases na chaminé chegou a 440°C, e também pelo aumento do tempo de abertura dos controladores de ar após a chegada da frente de carbonização (OLIVEIRA et al., 2013).

2.7 Propriedades químicas da biomassa de bambu

A caracterização química de materiais lignocelulósicos permite assegurar as potencialidades que influenciam diretamente na utilização como matéria prima pela indústria e na qualidade dos produtos, como celulose e papel, painéis de partículas e geração de energia (KLOCK et al., 2005). Isso é importante para obtenção de um índice de desempenho energético, com alta correlação linear entre os parâmetros poder calorífico superior e os teores de carbono, hidrogênio, oxigênio mais cinzas (PROTÁSIO et al., 2011).

Averiguar a composição química como tipo e quantidade de extrativos, que são características peculiares de cada espécie, são necessários para melhor entendimento das propriedades e potencialidades dentro da indústria florestal (MARINHO, 2012).

Assim como na madeira de árvores, os principais constituintes químicos presente nos colmos de bambu são os carboidratos, como a celulose, hemicelulose, lignina e, em menores quantidades resinas, taninos, ceras e sais inorgânicos (LIESE, 1985, 1998; BERALDO et al., 2001).

O bambu cresce muito rapidamente e completa a altura final dentro de alguns meses e durante seu crescimento apresenta vários estágios de lignificação da base para as porções superiores do mesmo colmo (ITOH; SHIMAJI, 1981), mas após um período de aproximadamente um ano a composição química tende a ser constante (PEREIRA; BERALDO, 2008). Longitudinalmente a lignificação em cada entrenó procede a descendente, enquanto que transversalmente procede de dentro

para fora, completando-se todo o processo em uma estação de crescimento (LIESE, 1985; PEREIRA; BERALDO, 2008).

Tabela 6 - Análise química de bambu e *Eucalyptus* spp. *in natura*

Espécies	Celulose (%)	Lignina (%)	Extrativos (%)	Referência
-	~65,00	~18,00	~15,00	Beraldo et al., 2001
<i>Bambusa vulgaris vittata</i>	40,47	14,70	-	Salgado, 2014
<i>Bambusa tuldoidea</i>	42,53	17,80	-	
<i>Bambusa vulgaris</i>	66,11	20,70	13,14	Costa, 2004
<i>Bambusa vulgaris</i> , polpa de celulose residual	87,00	8,40	3,00	Protásio et al., 2013
<i>Bambusa sinospinosa</i>	62,33	13,01	10,22	Chen et al., 2015
<i>Bambusa oldhami</i>	43,47	13,60	-	
<i>Dendrocalamus latiflorus</i>	38,00	15,70	-	Salgado, 2014
<i>Dendrocalamus giganteus</i>	39,30	16,10	-	
<i>Phyllostachys edulis</i> (Carrière) J.Houz.	-	25,50	-	Li, Zeng, Xiao, Fu, Zhou, 1995
<i>Phyllostachys aurea</i>	-	26,00	1,70	Maia et al., 2013
<i>Guadua</i> spp.	-	19,00		
<i>Eucalyptus saligna</i>	69,53	25,50	4,97	Costa, 2004
<i>Eucalyptus pellita</i>	65,97	29,5	4,53	Oliveira et al., 2010

Após a celulose, a lignina é o segundo constituinte mais abundante nos colmos de bambu, com 25% (PEREIRA; BERALDO, 2008). A espécie *Bambusa vulgaris* utilizada em escala na indústria papelreira contém 22,3% e 1,8% de cinzas (SALGADO, 2014).

O teor de lignina (TL) tende a aumentar com a idade do bambu, enquanto o teor de extrativos (TE) diminui (GOMIDE et al., 1981). Foi observado para a espécie *Dendrocalamus giganteus*, que os extrativos em etanol tolueno, diminuiu de 10,91%, com dois anos de idade, para 4,61%, aos seis anos. A maior porcentagem de extrativos totais, 12,91%, foi observada aos 2 anos de idade. O teor médio de lignina não sofreu influência da idade, variando de 22,66 a 24,11%. O teor de cinzas com maior porcentagem foi obtida aos três anos, com 1,09% (MARINHO et al., 2012).

No bambu exótico, *P. aurea*, a degradação da lignina ocorre em temperaturas maiores do que no bambu nativo, *Guadua* spp., já que aquele possui maior quantidade deste componente (MAIA et al., 2013). A melhoria significativa nas características de combustível foi resultado da decomposição de constituintes de celulose e hemiceluloses na biomassa, que ocorreu abaixo temperatura de carbonização (entre 400 °C e 500 °C) (PARK et al., 2012). O biochar, ou biocarvão, definido como biomassa carbonizada sob atmosfera pobre em oxigênio com destinação para uso agrícola (WOICIECHOWSKI, 2011), produzido a partir da espécie de bambu *Dendrocalamus latiflorus*, mostrou melhorias nas propriedades do solo, como massa específica, acidez, retenção de umidade e estabilidade de íons de metais pesados nos solos (YE et al., 2015).

O conteúdo de sílica varia em média de 0,5 a 4%, aumentando da base para o topo. A maior parte é depositada na epiderme e nos nós, enquanto que os entrenós possuem baixo teor de sílica. O conteúdo de sílica afeta na polpação do bambu (LIESE, 1985) e na geração de cinzas, o que é inviável na queima em caldeiras (PEREIRA; BERALDO, 2008). Para *Bambusa vulgaris*, o valor é de 1,4% (TAMOLANG et al., 1980).

2.8 Propriedades energéticas de espécies de bambu

2.8.1 Poder calorífico superior da biomassa

O poder calorífico é a quantidade de energia na forma de calor liberada pela combustão de uma unidade de massa (JARA, 1989), sendo que o poder calorífico superior (PCS) advém da combustão que se efetua a volume constante e no qual a

água formada durante a combustão é condensada e este calor desta condensação é recuperado (BRIANE; DOAT, 1985), sendo um excelente parâmetro para avaliação do potencial energético dos combustíveis de biomassa (BRAND, 2010).

Tabela 7 – Poder calorífico superior da biomassa

Espécies	PCS (MJ kg ⁻¹)	Referência
<i>Eucalyptus urophylla</i>	18,97	
<i>Bambusa vulgaris vittata</i>	19,89	Brito; Tomazello; Salgado, 1987; Salgado, 2014
<i>Bambusa tuldoidea</i>	18,73	
<i>Bambusa vulgaris</i>	17,66	
<i>Bambusa vulgaris</i>	18,45	Costa, 2004
<i>Eucalyptus saligna</i>	18,79	
<i>Dendrocalamus giganteus</i>	18,68	Brito; Tomazello; Salgado, 1987; Salgado, 2014
<i>Guadua angustifolia</i>	18,37	
<i>Eucalyptus benthamii</i>	19,56	Lima et al, 2009
<i>Bambusa tuldoidea</i>	18,90	
<i>Bambusa vulgaris</i>	19,52	Sette Jr et al., 2016
<i>Dendrocalamus asper</i>	18,95	
<i>Eucalyptus urograndis</i> híbrido	19,50	
<i>Bambusa sinospinosa</i>	18,02	Chen et al., 2015
<i>Cupressus lusitânica</i> Mill.	19,29	Silva et al., 2014
<i>Bambusa multiplex</i> (Lour.) Raeusch. ex Schult. & Schult.	17,60	Bada; Falcon, R.; Falcon, L., 2014
-	17,29	Kwong et al., 2007
<i>Eucalyptus pellita</i>	19,38	Oliveira et al., 2010

2.8.2 Poder calorífico superior do carvão

Quanto ao poder calorífico superior do carvão, os melhores resultados foram para as espécies *Dendrocalamus giganteus* e *Bambusa vulgaris vittata*, próximos ao valor do híbrido *Eucalyptus spp.* (BRITO; TOMAZELLO; SALGADO, 1987).

Tabela 8 – Poder calorífico superior do carvão

Espécies	PCS (MJ kg ⁻¹)	Referência
<i>Eucalyptus urophylla</i>	35,53	
<i>Bambusa vulgaris vittata</i>	35,42	Brito; Tomazello; Salgado, 1987; Salgado, 2014
<i>Bambusa tuldoidea</i>	33,17	
<i>Bambusa vulgaris</i>	32,59	
<i>Bambusa vulgaris</i> , 400 °C	26,76	Costa, 2004
<i>Eucalyptus saligna</i> , 400 °C	27,03	
<i>Dendrocalamus giganteus</i>	36,36	Brito; Tomazello; Salgado, 1987; Salgado, 2014
<i>Guadua angustifolia</i>	27,17	
<i>Eucalyptus benthamii</i>	36,68	Lima et al, 2009
<i>Cupressus lusitânica</i>	27,42	Silva et al., 2014
<i>Bambusa multiplex</i> , torrefação, 250 e 280 °C	23,00	Bada; Falcon, R.; Falcon, L., 2014
<i>Bambusa multiplex</i> , carbonização a baixa temperatura, 350 e 380 °C	28,00	
<i>Eucalyptus pellita</i> , diferentes faixas de tempo e temperatura de carbonização	33,59 – 34,91	Oliveira et al., 2010

2.8.3 Termogravimetria

Através das curvas da análise termogravimétrica (TG/DTG) a perda de massa, em porcentagem, é representada em função da temperatura, assim como a curva da derivada primeira da perda de massa. São três faixas de degradação térmica, sendo a primeira a secagem do material, e as outras duas correspondentes a degradação da hemicelulose e celulose, até 450°C (PEREIRA; CARNEIRO, 2013),

particularmente na faixa de 220-315°C a hemicelulose e 315-400°C a celulose, todavia a degradação da lignina ocorre nas faixas de temperaturas mais amplas, por ser mais difícil de decompor, especialmente entre 160 a 900 °C (YANG et al., 2007). Na espécie de bambu *Dendrocalamus asper* a maior perda de massa esta na faixa entre 200 e 450 °C (HOMRICH, 2012).

O comportamento das propriedades térmicas e químicas da espécie *Bambusa multiplex*, espécie comum da África do Sul, foi investigado através da Análise Termogravimétrica (TGA), tanto na amostra *in natura*, como também tratada termicamente por torrefação. Assim, constatou-se maior facilidade em inflamar *in natura* devido ao alto teor de materiais voláteis. Para as amostras torrificadas, as temperaturas de ignição foram relativamente baixas e o potencial altamente reativo (BADA; FALCON, R.; FALCON, L., 2014).

Os carvões das espécies *P. aurea* e *Guadua* spp., foram analisadas para finalidade de uso agrícola, submetidas à análise termogravimétrica. Ambas as espécies apresentaram maior resistência à degradação na medida em que a temperatura de pirólise aumenta, apresentando maior caráter aromático e menos grupos funcionais que os pirolisados a menores temperaturas. O maior potencial de estoque de carbono no carvão favorece a espécie *P. aurea* para utilização no solo (MAIA et al., 2013).

A pirólise da celulose foi endotérmica e da lignina foi exotérmica. Os principais produtos a gás oriundos da pirólise dos três componentes foram semelhantes, compondo-se de CO₂, CO, CH₄ e alguns compostos orgânicos (YANG et al., 2007).

A biomassa herbácea de palha de trigo (*Triticum aestivum* L.) e da colza (*Brassica napus*. L.), que possuem maior teor de celulose e hemicelulose, se degradam mais rapidamente e produzem uma maior fração de produtos gasosos do que a biomassa lenhosa (madeira com casca), a qual possui maior teor de lignina (BURHENNEA et al., 2013). No geral, os resíduos florestais se mostram mais adequados energeticamente quando comparados a resíduos agrícolas, pois possuem maior poder calorífico, maior teor de carbono, menor teor de cinzas e também pela característica da lignina (PROTÁSIO, 2013).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Local de coleta das espécies de bambu

O local da coleta das espécies de bambu foi realizada no município de São Mateus do Sul, no Paraná, local de coordenadas geográficas 25° 52' 36" S e 50° 23' 3" O (Figura 1). Este município possui altitudes entre 700 até 840 m, com relevo ondulado e suave ondulado cortado por planícies aluviais (FLORES; GARRASTAZU, 2010). São áreas aptas ao uso agrossilvopastoril, porém apresentam problemas de suscetibilidade à erosão e baixa fertilidade natural. São áreas ocupadas por pastagens, reflorestamento para produção de celulose e culturas anuais (IPARDES, 2004).

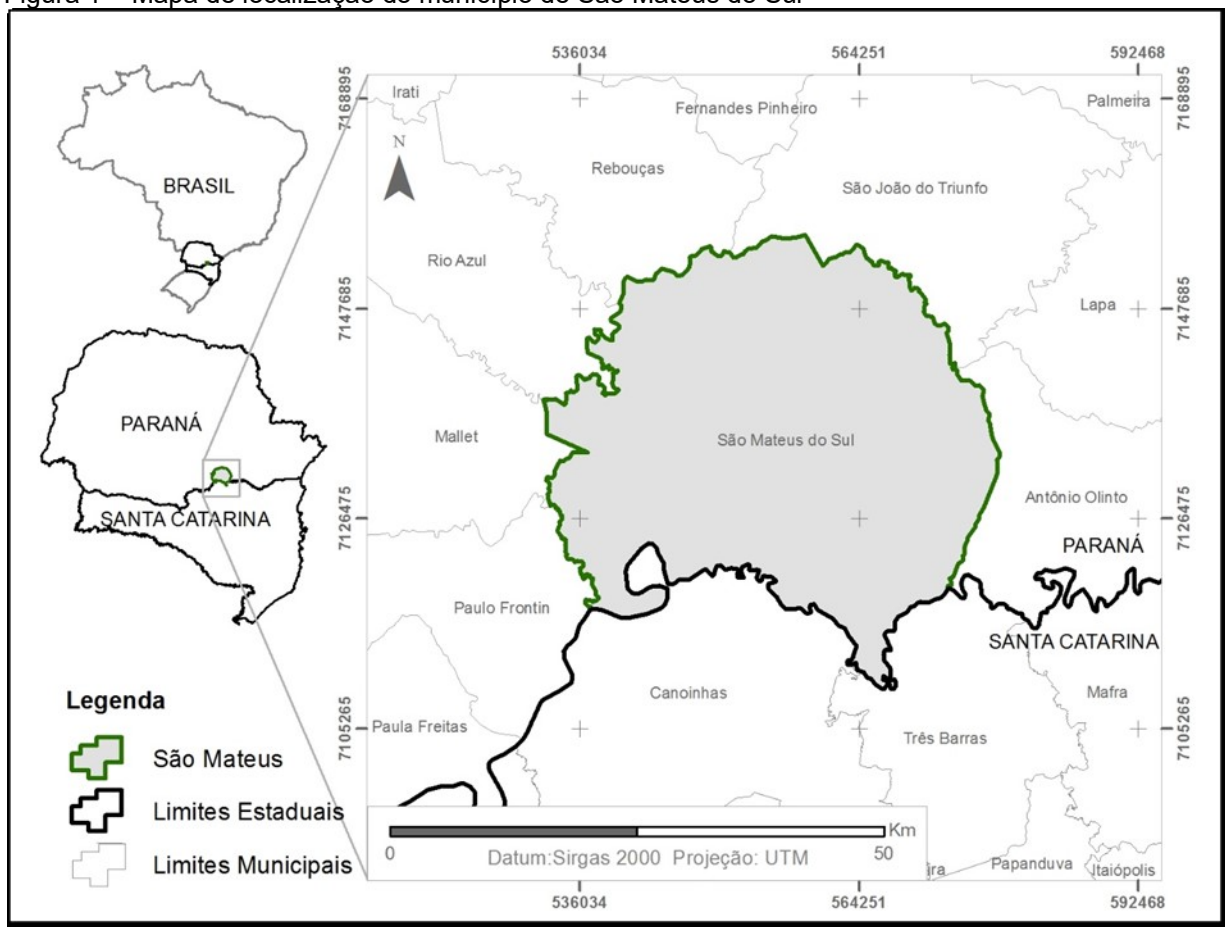
A classificação climática de Köppen para São Mateus do Sul é Cfb, subtropical com chuvas bem distribuídas durante o ano e verões amenos e mais de cinco geadas noturnas anualmente (MAACK, 2012). A pluviosidade média anual está entre 1300 e 1600 mm e uma temperatura média de 17 e 18 °C (ALVARES et al., 2013; MAACK, 2012; CAVIGLIONE et al., 2000). Os meses de janeiro e fevereiro têm as maiores médias de temperatura (23 e 24 °C) e em julho as mais baixas (12 e 13 °C). A precipitação é maior nos meses de dezembro, janeiro e fevereiro e menor precipitação nos meses de junho, julho e agosto (CAVIGLIONE et al., 2000).

As principais classes de solo encontradas na região são os Argissolos (Podzólicos), Gleissolos e os Latossolos, sendo que os Argissolos ocupam as cotas superiores da região, em um relevo mais acidentado. Enquanto os Latossolos se encontram à medida que o relevo se suaviza (FLORES; GARRASTAZU, 2010).

O município está inserido na Bacia Hidrográfica do Rio Iguaçu e possui a Floresta Ombrófila Mista como vegetação original, tendo o pinheiro do Paraná (*Araucaria angustifolia*) como símbolo (MAACK, 1968).

No município de São Mateus do Sul, 37,7% da população total de 41.257 habitantes são residentes rurais (IBGE, 2016), sendo que na maioria das propriedades de pequenos produtores possuem algum tipo de espécie de bambu.

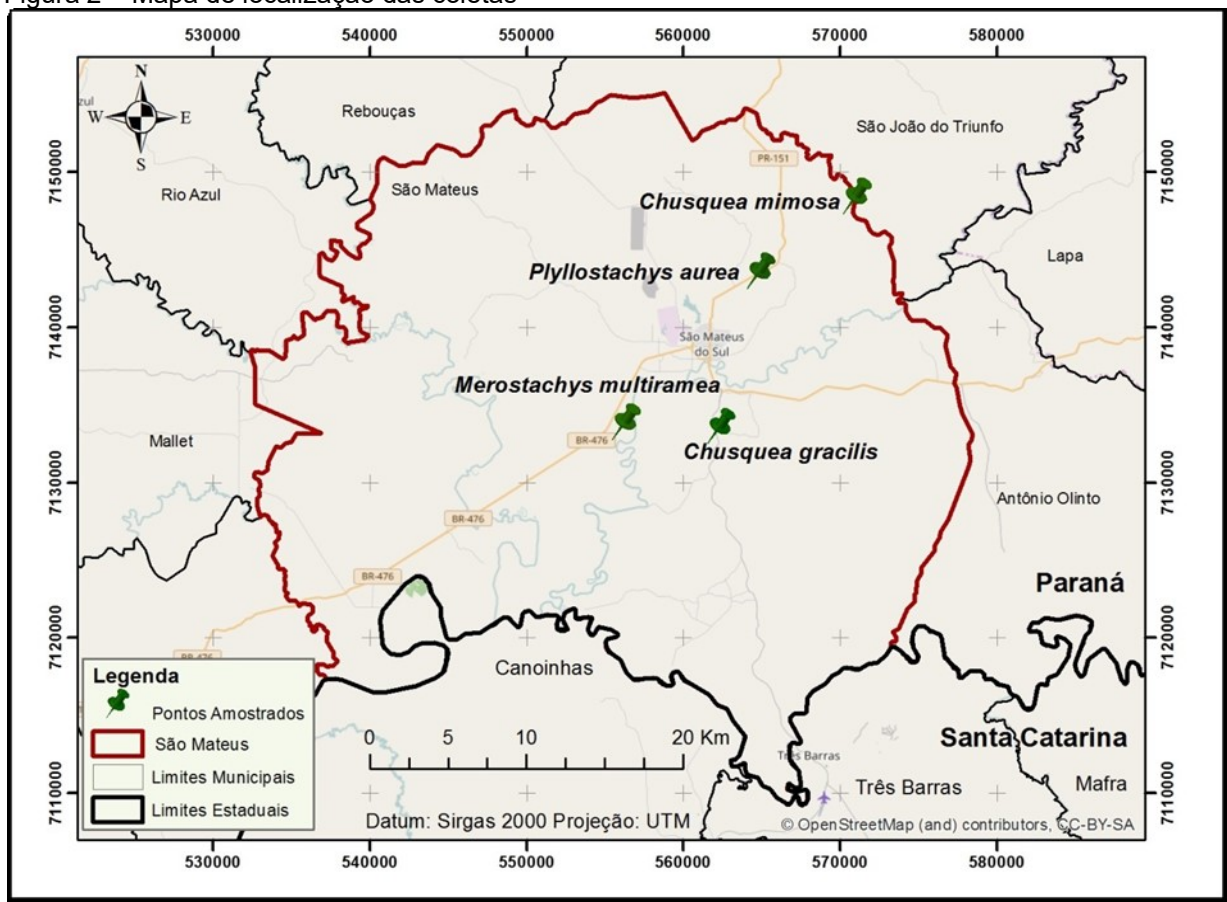
Figura 1 – Mapa de localização do município de São Mateus do Sul



3.2 Coleta das espécies de bambu

Foram coletadas três espécies nativas, *Chusquea gracilis* McClure & Smith, (Criciúma), *Chusquea mimosa* McClure & Smith, (Caratuva) e *Merostachys multiramea*, (Taquara lixa) e uma exótica, *Phyllostachys aurea* A. C. Rivière, (Dourado). A coleta foi realizada em maio de 2016, utilizando o primeiro terço inferior do colmo, inclusive os nós, já que é a parte que geralmente não possuem galhos e folhas, e possuem maior quantidade de biomassa. Houve precipitação no dia anterior ao da coleta, e tempo nublado durante a coleta. A figura 2 está mostra a localização das coletas.

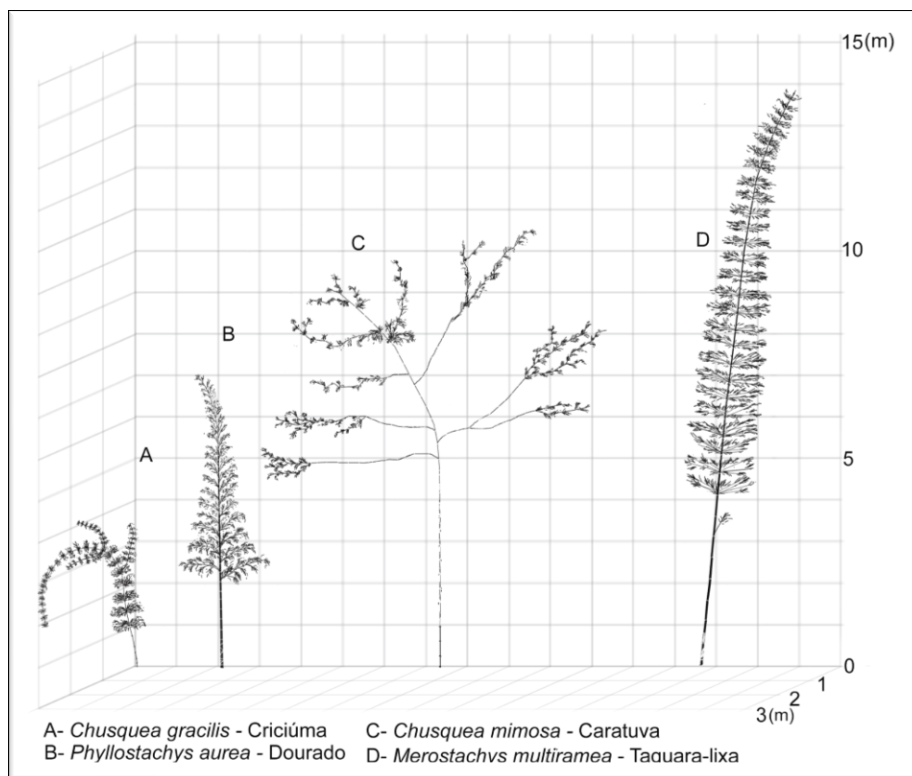
Figura 2 – Mapa de localização das coletas



Em um primeiro momento as espécies foram classificadas entre nativas e exóticas, e então identificadas valendo-se de marcadores taxonômicos que expressam as principais características (REITZ, 1981). Coletaram-se fragmentos do colmo, folhas, raízes para comparação com exsicatas do Herbário da Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG), do Herbário Municipal do Jardim Botânico de Curitiba e em Herbário virtual (Herbário Virtual Re flora; Herbário Virtual Austral Americano; Herbário Virtual da Flora e dos Fungos, 2015).

A figura 3 representa a ilustração de um colmo de cada espécie de bambu coletados.

Figura 3 – Ilustração de um colmo das espécies (A) *Chusquea mimosa*, (B) *Phyllostachys aurea*, (C) *Chusquea mimosa* e (D) *Merostachys multiramea*



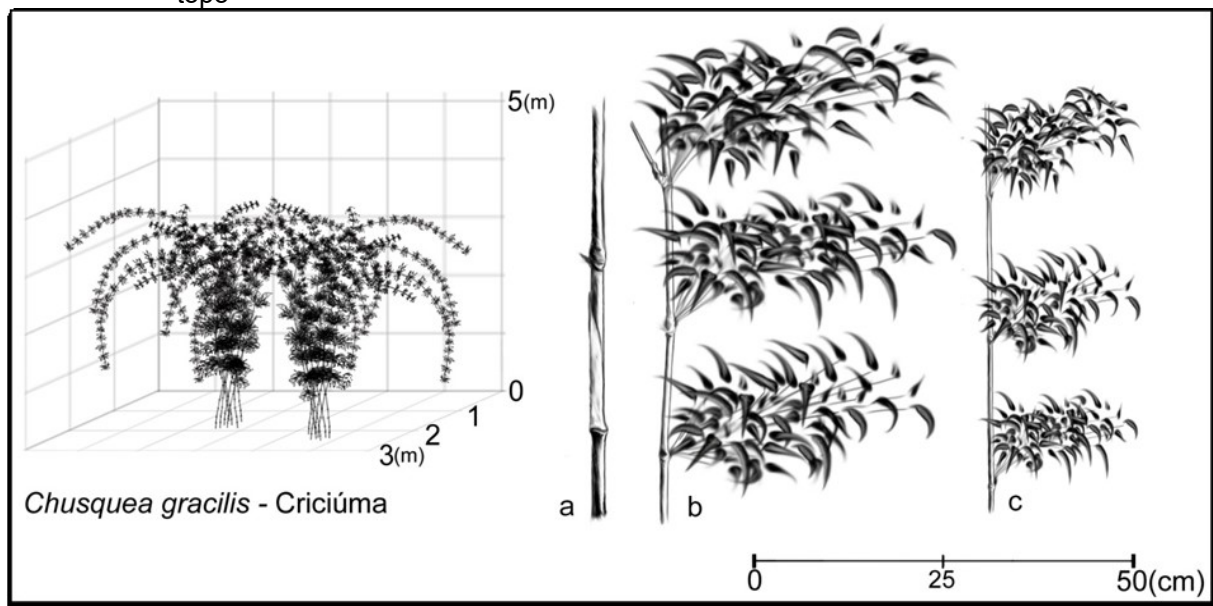
Autor: Gilson Yugo Ueno Funaki

3.2.1 *Chusquea gracilis* – Criciúma

A primeira espécie nativa coletada foi *Chusquea gracilis*, conhecida popularmente como criciúma, cará-de-vara, bengala. A coleta foi realizada no local de coordenadas 56° 22' 96" mE e 71° 33' 63" mS; numa altitude de 787 metros. A amostra desta espécie possui 7,2 m de comprimento e 28 nós ao longo de seu colmo, sendo que foram utilizados os 8 nós da base para a realização do trabalho. Esta espécie foi a única coletada durante o florescimento.

A figura 4 mostra a ilustração da espécie de bambu *C. gracilis*.

Figura 4 – Ilustração da espécie coletada *C. gracilis* e (a) detalhes da base do colmo (b) meio e (c) topo



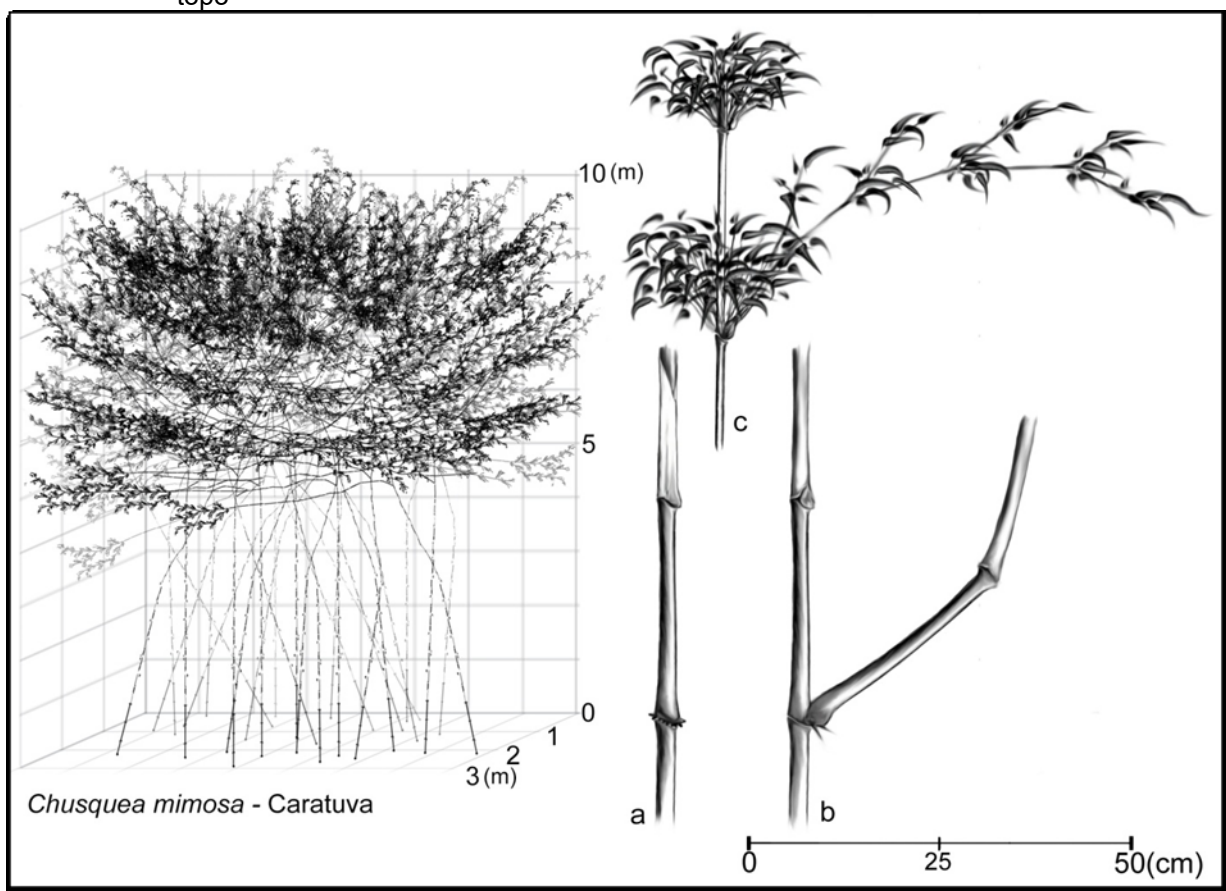
Autor: Gilson Yugo Ueno Funaki

3.2.2 *Chusquea mimosa* – Caratuva

A segunda espécie nativa coletada foi *Chusquea mimosa*, nas coordenadas 570944,00 mE; 7148482,00 mS e, altitude de 782m. Conhecida popularmente como caratuva, cará-mimoso, cará-de-vara, cará-de-caniço, cará-de-bengala, carafá, se confundindo com a vegetação local, às margens do Rio Água Branca, a qual faz divisa entre o município de São Mateus do Sul e São João do Triunfo, possuindo 11 m de comprimento e 45 nós ao longo de seu colmo, sendo utilizado os 13 nós da base para as análises.

A figura 5 mostra a ilustração da espécie de bambu *C. mimosa*.

Figura 5 – Ilustração da espécie coletada *C. mimosa* e (a) detalhes da base do colmo (b) meio e (c) topo



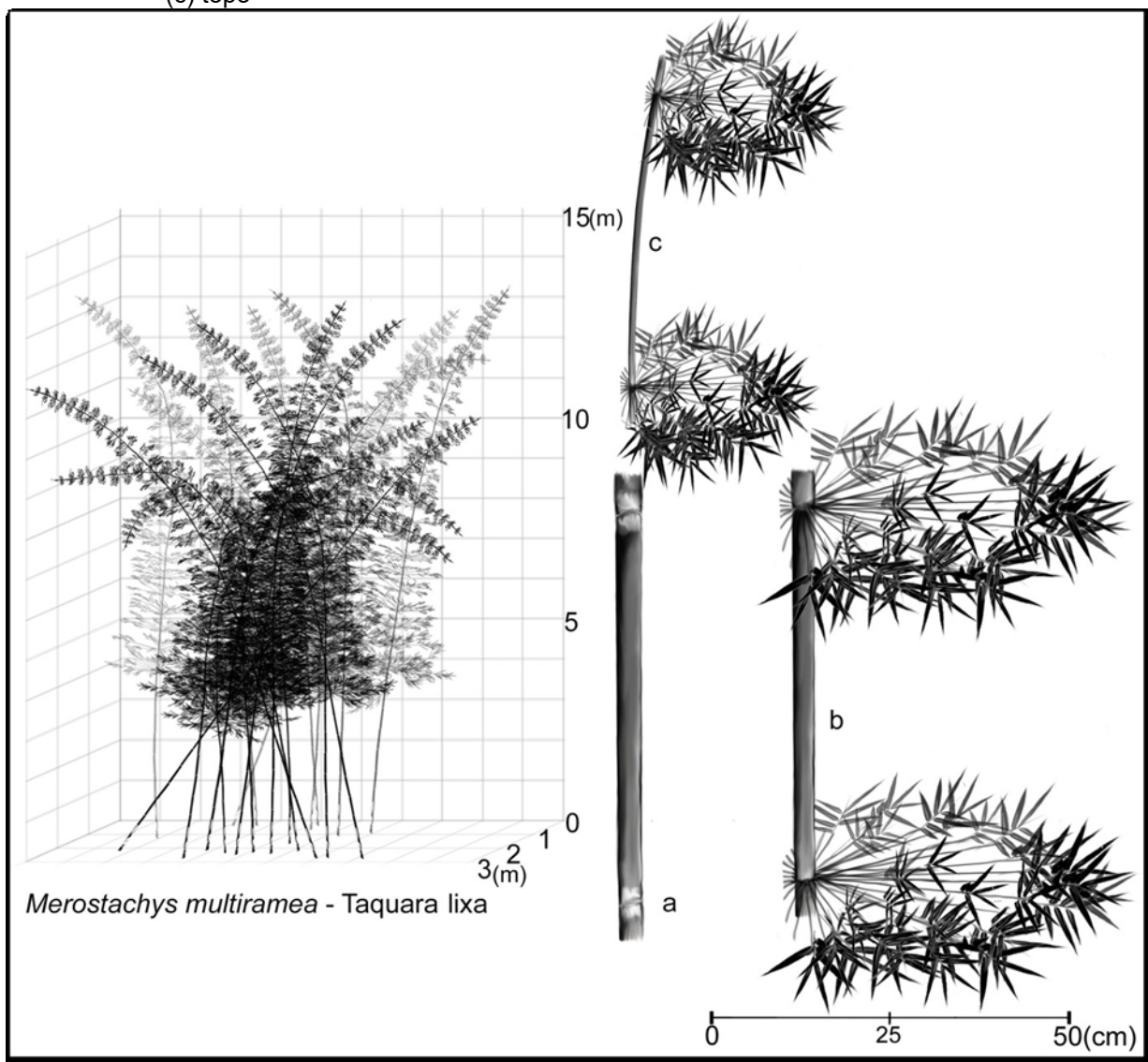
Autor: Gilson Yugo Ueno Funaki

3.2.3 *Merostachys multiramea* – Taquara lixa

A terceira espécie nativa coletada foi *Merostachys multiramea*, conhecida popularmente como taquara lixa, taquara mansa, taquara, taquara poca, taquaricé. A coleta foi realizada no local de coordenadas 556210,00 mE; 7133972,00 mS, altitude de 816 metros, com predominância na vegetação local, amostra possuindo 13,9 m de comprimento e 37 nós ao longo de seu colmo, sendo utilizado os 16 nós da base para as análises.

A figura 6 mostra a ilustração da espécie de bambu *M. multiramea*.

Figura 6 – Ilustração da espécie coletada *M. multiramea* e (a) detalhes da base do colmo (b) meio e (c) topo



Autor: Gilson Yugo Ueno Funaki

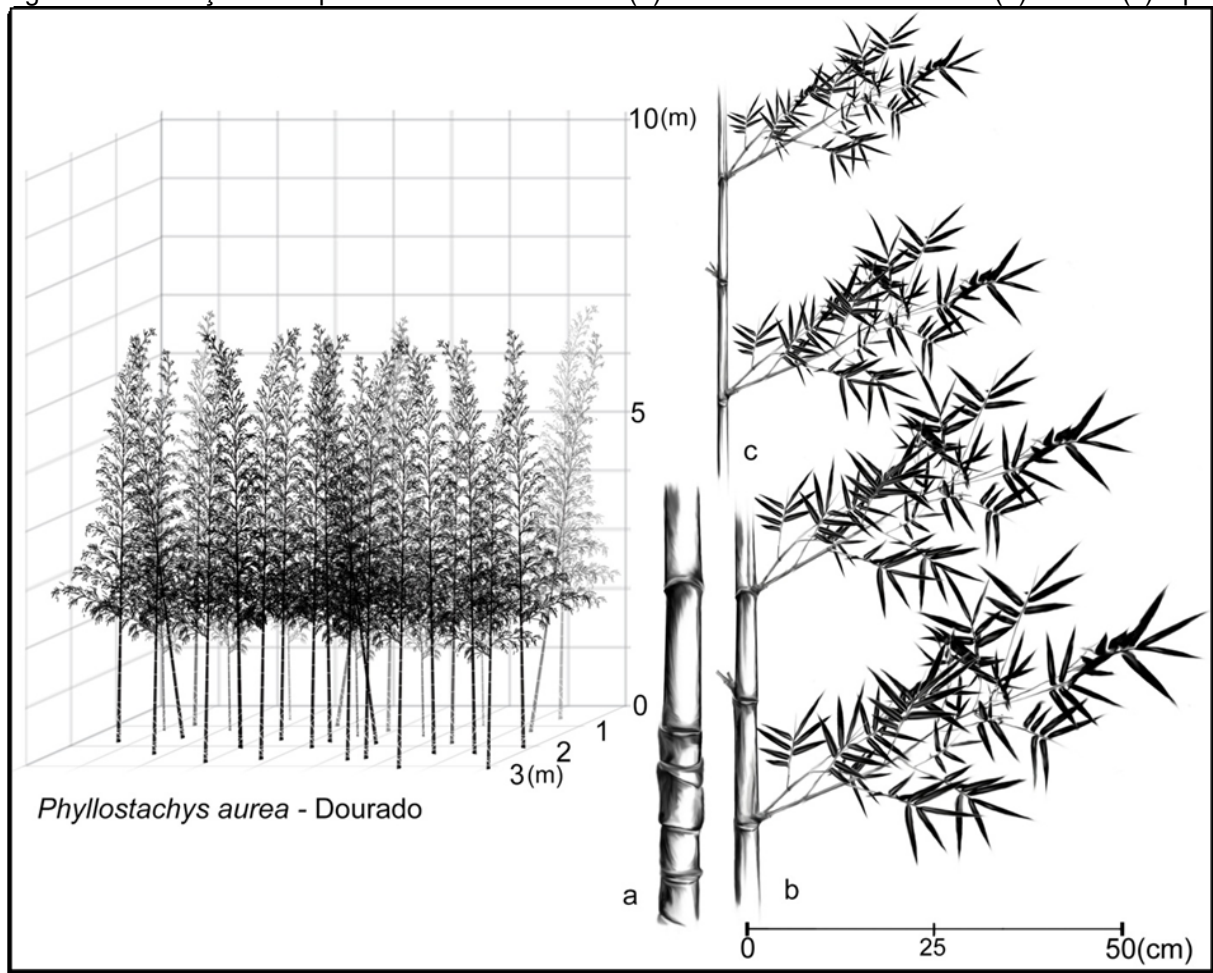
3.2.4 *Phyllostachys aurea* – Dourado

A espécie exótica *Phyllostachys aurea* foi coletada no local de coordenadas 564835,00 mE; 7143693,00 mS e, altitude de 804 metros. Conhecida popularmente como bambu dourado, bambuzinho amarelo, bambuzinho chinês, considerada uma

planta invasora pelos produtores rurais da região. A amostra possui 7,3 m de altura e 51 nós ao longo de seu colmo, sendo utilizado os 15 nós da base para as análises.

A figura 7 mostra o desenho ilustrativo da espécie de bambu *P. aurea*.

Figura 7 – Ilustração da espécie coletada *P. aurea* e (a) detalhes da base do colmo (b) meio e (c) topo



3.3 Caracterização da biomassa de bambu

Para efetuar a caracterização da biomassa de bambu, foram realizadas as seguintes análises físico-químicas: teor de umidade, massa específica, composição química imediata (teor de carbono fixo, de material volátil e de cinzas), determinação dos teores de lignina e de extrativos. Foi determinado o poder calorífico superior e efetuada análise de termogravimetria. Além disso, foi realizada a pirólise da biomassa de bambu para obtenção do carvão e o mesmo foi caracterizado em

relação ao seu potencial energético, através da determinação do teor de umidade, massa específica, composição química imediata (teor de carbono fixo, de material volátil, de cinzas) e poder calorífico superior.

3.3.1 Determinação do teor de umidade

Após coleta as amostras foram condicionadas em sacos plásticos durante a viagem de São Mateus do Sul até o Laboratório de Mecanização Agrícola/UEPG. A seguir cortes foram realizados separando os colmos em nós e entrenós, seguindo um padrão de dimensão das peças de aproximadamente 0,15 m.

O material vegetal foi seco em estufa a 105 °C e a determinação do teor de umidade foi realizada de acordo com norma brasileira NBR 14660 (ABNT, 2004). A determinação das massas foi realizada em balança semi analítica (Shimadzu – Modelo BL 3200H). A determinação do teor de umidade (TU) foi realizada em duplicata para base, meio e topo do material vegetal, calculado pela equação 1.

$$TU (\%) = (((M2 - M3)) / ((M2 - M1)) * 100 \dots\dots\dots eq. 1$$

Onde:

TU = teor de umidade (%)

M1 = massa do recipiente de secagem seco em estufa a 105 °C, (g)

M2 = massa do recipiente com amostra antes da secagem, (g)

M3 = massa do recipiente com amostra após a secagem, (g)

3.3.2 Determinação da massa específica

A determinação da massa específica foi efetuada pelo método de Arquimedes, segundo a Norma ASTM D2395 (ASTM, 2014). As massas foram determinadas em balança semi-analítica, marca Marte – modelo AL500, do

Laboratório de Físico-Química da UEPG. A massa específica é expressa pela massa inicial saturada, permanecendo submerso em água por 15 dias e, após isso, dividido pela massa seca, após passar por período de 24 horas em estufa a 105 °C. A determinação foi realizada em triplicata para nós e entrenós.

3.3.3 Determinação de teor de material volátil, de carbono fixo e de cinzas

As análises foram realizadas em triplicata, de acordo com a Norma ASTM D3172 (ASTM, 2014).

As amostras foram previamente preparadas conforme Norma NBR 14660, Madeira – Amostragem e preparação (ABNT, 2004), em partículas finas, após trituração, peneiradas em peneira com abertura de malha de 0,355 mm e 0,247 mm de diâmetro, marca Bertel. Após produção do carvão, o mesmo foi macerado e peneirado.

Para determinação de material volátil, os cadinhos contendo as amostras, foram levados à mufla marca Quimis, modelo Q318 M24, previamente aquecida a 950 °C, permanecendo na entrada do equipamento por 3 minutos e, em seguida, enfiadas por 7 minutos, de acordo com a Norma ASTM D3172 (ASTM, 2014). Após este procedimento, as amostras foram colocadas em dessecador, e as massas determinadas.

Para determinação do teor de cinzas utilizou-se o coque formado após a etapa anterior (sem umidade e sem material volátil). As amostras foram colocadas na mufla e foi utilizada taxa de aquecimento de 20 °C min⁻¹, até 750 °C e mantidas por 7 horas, de acordo com a Norma ASTM D3172 (ASTM, 2014). Após este novo procedimento, as mesmas foram resfriadas em dessecador e as massas determinadas novamente.

O conteúdo de carbono fixo foi calculado com base no teor de material volátil e de cinzas, conforme a equação 5 (ASTM, 2014).

$$TCF = 100 - (TCZ + TMV) \dots\dots\dots \text{eq. 5}$$

Onde:

TCF = teor de carbono fixo (%)

TCZ = teor de cinza (%)

TMV = teor de material volátil (%)

3.3.4 Determinação do poder calorífico superior (PCS)

O PCS das amostras foi determinado utilizando-se bomba calorimétrica digital IKA WORKS, modelo C 5000 de acordo com a Norma ASTM D5865 (ASTM, 2013). O reator do calorímetro funcionou no modo dinâmico. O sistema foi pressurizado com oxigênio (99,95%) a $3,43 \cdot 10^6$ Pa.

Para esta análise foi utilizado balança analítica Bioprecisa.

As medições foram realizadas em duplicatas e de acordo com a Norma ASTM D5865 (ASTM, 2013). A leitura do resultado do PCS no equipamento é em cal g^{-1} , o qual foi transformado para Joules.

3.3.5 Determinação do rendimento gravimétrico, rendimento em carbono fixo e rendimento energético do carvão

Logo após a secagem da biomassa de bambu, o material coletado foi fracionado, armazenado e mantido em dessecador. A produção do carvão foi realizada, utilizando forno mufla marca Quimis, modelo Q318 M24, balança semi-analítica marca Marte, modelo AL500 do Laboratório de Físico-Química do Departamento de Química da UEPG.

Para realização da pirólise da biomassa de bambu foi utilizada aparelhagem de vidro em borossilicato. As amostras foram aquecidas em balão de fundo redondo, no forno mufla, até estabilização da temperatura final em 420°C , e então mantidas

por uma hora. Em seguida foi acoplado um condensador e balão volumétrico. A taxa de aquecimento do experimento foi em média de 21 °C min⁻¹. A seguir, foi determinada a massa do carvão utilizando balança semi-analítica (Shimadzu – Modelo BL 3200H) e foi calculado o rendimento gravimétrico em carvão, em base seca, conforme equação 2 (PARK; JANG, 2012; OLIVEIRA, 2010):

$$RGC (\%) = \frac{MC}{MBI} * 100 \dots\dots\dots eq. 2$$

Onde:

RGC = rendimento gravimétrico em carvão, em base seca, (%)

MC = massa do carvão produzido, (g)

MBI = massa da biomassa *in natura*, (g)

O rendimento do carbono fixo foi calculado, conforme equação 3 (SCREMIN, 2012; VALE et al., 2011):

$$RCF (\%) = \frac{(RGC * TCF)}{100} \dots\dots\dots eq. 3$$

Onde:

RCF = rendimento em carbono fixo, (%)

RGC = rendimento gravimétrico em carvão, (%)

TCF = teor de carbono fixo, (%)

O rendimento energético foi calculado, em base seca, conforme equação 4 (PARK; JANG, 2012; PARK et al., 2012):

$$RE (\%) = RGC \frac{PCSC}{PCSI} \dots\dots\dots eq. 4$$

Onde:

RE = rendimento energético em base seca, (%)

RGC = rendimento gravimétrico em carvão, (%)

PCSC = poder calorífico superior do carvão produzido, (MJ kg⁻¹)

PCSBI = poder calorífico superior do bambu *in natura*, (MJ kg⁻¹)

3.3.6 Análise de teor de extrativos e lignina

A composição química da madeira foi determinada em amostras livres de extrativos, após a extração em etanol/tolueno, etanol e água quente, de acordo com a Norma TAPPI T264 om-88 (TAPPI, 1996).

Primeiramente, a determinação do teor de extrativos foi realizada uma extração contínua sólido-líquido durante 6 horas, em aparelho de Soxhlet, com 2,0000 g de amostra e como solvente uma mistura etanol:tolueno 2:1 durante seis horas. Após a extração o solvente foi evaporado e a massa do extrato obtido foi determinado. O material vegetal foi seco e utilizado na próxima extração.

Foi preparado outro extrato com o material seco utilizando etanol 95% como solvente durante 4 horas. O material do cartucho foi transferido para um béquer de 600,0 mL, com 500,0 mL de água destilada aquecida. O béquer foi tampado com vidro de relógio e aquecido em banho-maria durante 1 h. Após isso, o material foi filtrado à vácuo em funil sinterizado. O filtrado foi seco em estufa e pesado para determinar o teor de extrativos totais. O teor de extrativos totais (TET) foi calculado em cada etapa, utilizando a seguinte equação 6.

$$TET(\%) = \frac{(MEB - MB)}{MAS} \times 100 \dots\dots\dots \text{eq. 6}$$

Onde:

MEB = massa extrativo + balão, (g)

MB = massa balão, (g)

MAS = massa amostra seca, (g)

A extração e determinação do teor de lignina da amostra resultante foi realizada de acordo com a literatura (TAPPI, 1996). Com a amostra livre de extrativos, e seca em estufa, foi pesado 1,0000 g da mesma e transferido para um béquer de 50,0 mL. A seguir foram adicionados 15,0 mL de ácido sulfúrico 72%, e agitados com bastão de vidro a cada 15 minutos permanecendo em contato com a amostra durante 2 horas. Esta mistura foi transferida em béquer de 600 mL, adicionando 560 mL de água destilada em temperatura entre 90 °C e 100 °C. A amostra permaneceu em banho-maria durante 4 horas.

Em seguida, o material foi filtrado a vácuo. Após 24 horas em estufa os cadinhos filtrantes contendo as amostras foram pesados novamente assim determinando o teor de lignina do material. O teor de lignina (TL) foi calculado de acordo com a equação 7.

$$TL(\%) = \frac{(MCA - MC)}{MAS} \times 100 \dots\dots\dots eq.7$$

Onde:

MCFA = massa cadinho filtrante + amostra, (g)

MCF = massa cadinho filtrante, (g)

MAS = massa amostra seca, (g)

3.3.7 Termogravimetria

Para determinar o comportamento térmico das amostras de biomassa e carvão das espécies de bambu, houve preparo das amostras o qual consistiu em redução em partículas finas, após trituração, passando por peneira para análise granulométrica de 0,42 mm, permitindo combustão homogênea do material (NBR 14660) (ABNT, 2004). A trituração foi realizada em moinho de facas marca Tecnal, no Laboratório Multidisciplinar de Preparo de Amostras de Solo da UEPG.

O comportamento térmico foi determinado por Termogravimetria em Termobalança Gravimétrica de marca Shimadzu, modelo TGA-50, com cadinho de alfa-alumina. As condições utilizadas foram: fluxo de ar sintético de 150 mL min⁻¹, taxa de aquecimento de 10 °C min⁻¹, rampa de 30 a 650 °C.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Determinação do teor de umidade

O teor de umidade da biomassa pode influenciar o poder calorífico, sendo que apresenta uma relação inversa (VALE et al., 2011; BRITO; BARRICHELO, 1979). O teor de umidade varia de acordo com as espécies, condições do local e armazenamento (BRITO; BARRICHELO, 1979).

No armazenamento da biomassa, o teor de umidade elevado pode ajudar à proliferação de fungos e a degradar o material (FARINHAQUE, 1981; VALE et al., 2011). Isso ocorre quando é exposta ao meio ambiente, assim absorve a umidade dispersa do ar e alcança a umidade de equilíbrio do ambiente (GALVÃO; JANKOWSKY, 1985). Para locais com alta umidade relativa do ar, a menor umidade do material possível é mais interessante, tanto na biomassa *in natura*, quanto no carvão, para que não haja perdas de energia na secagem do combustível (CORREA, 1988).

Na tabela 9 são apresentados os valores médios de teor de umidade das porções base, meio e topo dos colmos de bambu *in natura*. Observou-se maior teor de umidade na base do que o topo (BERNDSEN et al., 2010).

Tabela 9 - Determinação natural da base, meio e topo das diferentes espécies de bambus

Espécies	Parte do colmo	TU (%)	CV (%)
<i>Merostachys multiramea</i>	Base	60,47	3,01
	Meio	59,55	0,66
	Topo	48,82	7,60
<i>Chusquea gracilis</i>	Base	57,02	1,75
	Meio	42,31	12,45
	Topo	30,40	4,26
<i>Phyllostachys aurea</i>	Base	43,20	0,37
	Meio	42,28	0,25
	Topo	30,40	7,89
<i>Chusquea mimosa</i>	Base	78,87	0,30
	Meio	77,69	1,74
	Topo	70,60	1,67

Além das influências já citadas, o alto teor de umidade, acarreta maior tempo necessário para eliminação da água, na etapa inicial da carbonização, propiciando aumento na etapa endotérmica do processo, entre 60 e 100 °C, faixa de temperatura que ocorre a secagem (LORA; VENTURINI, 2010). Quanto menor o teor de umidade, menor tempo nesta etapa e consequente maior produtividade (OLIVEIRA, et al., 2013) pois o teor de umidade posterga a degradação térmica (ROFFAEL; SCHALLER, 1971).

Considerando somente o valor de teor de umidade correspondente às bases do colmo do bambu observou-se (Tabela 9), que o valor para todas as espécies estudadas ficou dentro da faixa relatada na literatura (LIESE, 1985; ARMANDEI; DARWISH; GHAVAMI, 2015). Estes valores podem chegar até 80%, variando com as condições de coleta e época do ano (BERALDO et al., 2001). Assim sendo, para que a biomassa seja utilizada como biocombustível, é necessária a secagem natural para reduzir este teor de umidade.

Comparando com os dados da literatura, para a espécie *P. aurea*, o teor de umidade de 43,20% foi menor que o apresentado por Armandei et al. (2015), de 52 - 66%.

4.2 Determinação da massa específica

Na Tabela 10 estão os valores determinados para a massa específica das espécies de bambu *in natura* e do carvão.

Tabela 10 – Determinação da massa específica dos bambus *in natura* e do carvão

Espécies	Massa específica (g cm ⁻³)			
	<i>In natura</i>	Desvio padrão	Carvão	Desvio padrão
<i>Merostachys multiramea</i>	0,40 (10,40)*	0,04	0,32 (54,06)*	0,17
<i>Chusquea gracilis</i>	0,46 (15,42)*	0,07	0,26 (32,82)*	0,09
<i>Phyllostachys aurea</i>	0,63 (2,76)*	0,02	0,41 (15,40)*	0,06
<i>Chusquea mimosa</i>	0,20 (13,88)*	0,03	0,10 (38,40)*	0,04

* Os valores entre parênteses correspondem aos coeficientes de variação, em %.

A massa específica do carvão é diretamente proporcional a massa específica da biomassa *in natura* (BRITO et al., 1977; PASTORE et al., 1989). O valor da massa específica se encontra diretamente relacionado com o poder calorífico da biomassa. Segundo Foelkel (1978) valores de massa específica compreendidos entre 0,45 e 0,65 g cm⁻³, são encontradas em madeiras utilizadas para produção de energia. As espécies *C. gracilis* e *P. aurea* apresentaram valores de massa específica compatíveis com estes valores da literatura, podendo ser utilizados na produção de energia, pois depois de carbonizados apresentam massa específica maior na forma de carvão, e isso se relaciona com o poder calorífico, que é a quantidade de energia contida na massa do combustível (Tabela 10).

A espécie que apresentou maior massa específica é a *P. aurea*, com 0,63 g cm⁻³. Este valor está acima do relatado para a espécie de *Eucalyptus grandis*, que é de 0,49 g cm⁻³, espécie esta comumente utilizada para fins energéticos (OLIVEIRA; HELLMEISTER; TOMAZELLO FILHO, 2005). Outras espécies do gênero *Eucalyptus* que se enquadram neste perfil também apresentam valores de massa específica na faixa entre 0,47 e 0,58 g cm⁻³ (BRITO et al., 1983).

A espécie *C. mimosa*, com 0,20 g cm⁻³, apresentou massa específica menor em relação às espécies do gênero *Eucalyptus*. Entretanto, Sette et al. (2016) relataram valores de massa específica para a espécie de bambu *D. asper*, de 0,25 g cm⁻³, valor também abaixo das espécies mais comuns utilizadas para a produção de carvão, e este valor tem relação com a quantidade de energia contida na massa.

Em relação aos valores de massa específica determinados para o carvão, como esperado, seguiram a mesma tendência da massa específica dos bambus *in natura*. A espécie *C. gracilis*, apresentou valor de massa específica de 0,26 g cm⁻³, semelhante à massa específica do carvão de *Eucalyptus urophylla* (0,25 g cm⁻³) (BRITO; TOMAZELLO FILHO; SALGADO, 1987). A massa específica de carvão das espécies de bambu *M. multiramea* e *P. aurea* ficaram acima deste valor.

A massa específica 0,41 g cm⁻³ do carvão da espécie *P. aurea*, ficou próxima da encontrada para massa específica do carvão das espécies de bambus *B. vulgaris* e *D. giganteus*, 0,42 g cm⁻³ (BRITO; TOMAZELLO FILHO; SALGADO, 1987). A massa específica de 0,32 g cm⁻³ da espécie *M. multiramea* se aproxima do trabalho realizado para o *E. pellita*, que foi submetido a diferentes faixas de tempo e

temperatura de carbonização, variando entre 0,35 e 0,38 g cm⁻³ (OLIVEIRA et al., 2010).

Essas massas específicas também se enquadram na faixa entre 0,27 – 0,34 g cm⁻³, valores relatados para clones híbridos de *Eucalyptus* spp. (SANTOS, 2010; CASTRO et al., 2013).

O valor da massa específica do carvão menos favorável é proveniente da espécie *C. mimosa*.

4.3 Determinação de teor de material volátil, de carbono fixo e de cinzas

A determinação do teor de carbono fixo, material volátil e cinzas é conhecida como análise química imediata. Foram realizadas as análises químicas imediatas do bambu *in natura* e do carvão (Tabela 11).

Tabela 11 – Análise química imediata dos bambus *in natura* e do carvão

Espécies		TCF (%)	Desvio padrão	TMV (%)	Desvio padrão	TCZ (%)	Desvio padrão
<i>M. multiramea</i>	<i>In natura</i>	21,18(0,74)*	0,16	74,87(0,44)*	0,33	3,95(4,32)*	0,17
	Carvão	58,40(1,70)*	0,99	36,18(2,74)*	0,99	5,42(0,57)*	0,03
<i>C. gracilis</i>	<i>In natura</i>	19,59(0,36)*	0,07	77,64(0,06)*	0,05	2,76(0,91)*	0,03
	Carvão	62,14(2,20)*	1,37	31,43(4,27)*	1,34	6,43(1,12)*	0,07
<i>P. aurea</i>	<i>In natura</i>	19,34(2,81)*	0,54	80,17(1,07)*	0,86	0,49(15,92)*	0,08
	Carvão	64,12(1,61)*	1,03	34,64(3,16)*	1,10	1,24(10,65)*	0,13
<i>C. mimosa</i>	<i>In natura</i>	23,68(1,79)*	0,42	71,42(0,26)*	0,19	4,90(4,84)*	0,24
	Carvão	62,74(0,74)*	0,46	29,33(1,06)*	0,31	7,93(5,91)*	0,47

* Os valores entre parênteses correspondem aos coeficientes de variação, em %.

Observa-se na Tabela 11 que os valores para teores de cinzas das espécies de bambu *in natura* se encontram próximas da faixa de 1,6–10% relatadas na literatura (Tabela 2), sendo que a única espécie de bambu que se aproxima do teor de cinzas de *Eucalyptus* spp. utilizado comercialmente é o *P. aurea*, com 0,49%.

A espécie *C. gracilis*, *in natura*, com 2,76%, ficou próximo da espécie de bambu *B. vulgaris*, 2,5% (SETTE JR et al., 2016). O maior teor de cinzas encontrado

neste trabalho ficou por conta de *C. mimosa*, 4,90%, ainda abaixo do maior valor encontrado na literatura, para a espécie, *B. vulgaris*, 10% (COSTA, 2014).

Os valores dos teores de cinzas estão relacionados com a presença de minerais provenientes do solo, sendo que na madeira um terço das cinzas é constituído por cálcio, seguido de potássio e por fim, em menores quantidades, fósforo, magnésio, ferro, sódio, entre outros minerais (KRAMER; KOZLOWSKI, 1960).

A espécie *in natura*, *P. aurea*, com 19,34%, apresentou o menor teor de carbono fixo entre as espécies. Valor esse, acima da espécie de árvore híbrida *E. urograndis*, de 17,5% (SETTE JR et al., 2016). A espécie *C. mimosa* apresentou maior teor de carbono fixo, 23,68%, valor próximo ao da espécie de bambu *D. asper*, 23% (SETTE JR et al., 2016).

O valor de carbono fixo é inversamente proporcional ao teor de materiais voláteis (SETTE et al., 2016).

Os bambus *in natura* são mais fáceis de inflamar, devido ao maior teor de material volátil, como ocorreu com a espécie *P. aurea*, que contém 80,17%, ficando próximo, do híbrido *Eucalyptus urograndis*, com 82,2% (SETTE et al., 2016). Todos os valores de teor de material volátil da biomassa *in natura* ficaram próximos aos da literatura.

Em relação ao carvão, os bambus estudados apresentaram teor de cinzas acima do valor dos carvões provenientes do *Eucalyptus* spp., com exceção da espécie *P. aurea* que apresentou menor teor de cinzas de 1,24%, que ficou próximo do *Eucalyptus pellita* (1,86%) (OLIVEIRA et al., 2010). O maior teor de cinzas foi apresentado pela espécie *C. mimosa* com 7,93%, próximo aos valores encontrados na literatura para a espécie de bambu *B. vulgaris*, também carbonizado a 400°C (COSTA, 2004).

Os valores de carbono fixo ficaram próximos, mas abaixo da maioria relatada para *Eucalyptus* spp. e outras espécies de bambus, na faixa de 57,4–90,8% (Tabela 4), a espécie *P. aurea* têm maior teor de carbono fixo, 64,12%. Este valor ficou acima do encontrado na literatura para a mesma espécie, carbonizada a 450 °C e 550 °C (MAIA et al., 2013) e bem próxima a espécie *E. saligna*, carbonizada a 400 °C (COSTA, 2004).

A espécie que apresentou menor teor de carbono fixo foi a *M. multiramea*, 58,40%, próximo da espécie nativa de bambu do *Guadua* sp. Carbonizada a 450°C, apresentou valor de 59,1% (MAIA et al., 2013).

Os valores do teor de material volátil do carvão proveniente das espécies de bambus ficaram bem próximos aos apresentados na literatura, o carvão da espécie *C. mimosa* apresentou o menor teor de material volátil, com 29,33%, mesmo valor apresentado para a espécie *B. vulgaris*, carbonizada a 400°C (COSTA, 2004).

O maior teor de material volátil foi de 36,18%, para a espécie *M. multiramea*, que se assemelha a espécie *P. aurea*, carbonizada a 450°C, com 36,5% (MAIA et al., 2013). A espécie *P. aurea* carbonizada a 550°C, apresentou valor de 31,3% (MAIA et al., 2013), ficou próximo da espécie *C. gracilis*, com 31,43%. Neste trabalho, esta espécie, carbonizada em 420°C ficou com valor, com 34,64%. Sendo assim, considerando o teor de cinzas, a espécie mais indicada tanto para utilização *in natura*, quanto transformada em carvão, é a *P. aurea*. A espécie menos indicada na forma *in natura* e carvão é a *C. mimosa*.

4.4 Determinação do poder calorífico superior

A Tabela 12 apresenta o poder calorífico superior (PCS) das espécies de bambu *in natura* e do carvão.

Tabela 12 – Determinação do poder calorífico superior da biomassa do bambu *in natura* e do carvão

Espécies	<i>In natura</i>		Carvão	
	PCS (MJ kg ⁻¹)	Desvio padrão	PCS (MJ kg ⁻¹)	Desvio padrão
<i>M. multiramea</i>	17,80 (1,31)*	0,24	22,36 (0,20)*	0,04
<i>C. gracilis</i>	18,07 (1,10)*	0,20	20,96 (3,35)*	0,70
<i>P. aurea</i>	18,91 (1,33)*	0,25	25,05 (1,19)*	0,30
<i>C. mimosa</i>	17,20 (0,22)*	0,04	25,55 (2,76)*	0,71

* Os valores entre parênteses correspondem aos coeficientes de variação, em %.

O poder calorífico superior de todas as espécies estudadas *in natura* é próximo dos resultados encontrados na literatura, tanto para espécies de bambus como para as espécies do gênero *Eucalyptus*.

A espécie *M. multiramea*, se aproxima das espécies de bambus relatadas, *B. vulgaris* e *B. multiplex*. A espécie *C. gracilis*, se aproxima das espécies *B. sinospinosa* e *G. angustifolia*. O maior PCS foi da espécie *P. aurea*, com o mesmo valor da espécie de bambu *B. tuldooides* e se aproxima da espécie *D. asper*, e de árvores da espécie *E. urophylla* e *E. saligna* (Tabela 7).

Com relação aos valores de PCS do carvão vegetal, observaram-se que os mesmos se encontram abaixo dos valores relatados na literatura, tanto para bambus quanto para *Eucalyptus* spp. Os maiores valores ficaram para carvão das espécies *C. mimosa*, 25,55 MJ kg⁻¹ e *P. aurea*, 25,05 MJ kg⁻¹. A espécie *M. multiramea*, com 22,36 MJ kg⁻¹, ficou próxima da encontrada na literatura para a espécie de bambu *B. multiplex*, 23,00 MJ kg⁻¹, que passou por tratamento térmico de torrefação. A espécie com menor PCS foi *C. gracilis*, 20,96 MJ kg⁻¹.

Os altos teores de cinzas contribuem para a redução do PCS da biomassa, já que o conteúdo de minerais, ou seja, os teores de cinzas não atuam no processo de combustão (BRAND, 2010). Isso condiz com os resultados deste trabalho, sendo que a biomassa *in natura* com maior PCS, *P. aurea*, foi a espécie com menor teor de cinzas, 0,49%, e a espécie com menor PCS, *C. mimosa*, teve maior teor de cinzas, 4,90%.

No caso dos carvões isso não ocorreu, para *C. mimosa* com maior PCS, apresentou o maior teor de cinzas, 7,93%, e a espécie com menor PCS, teve alto teor de cinzas, 6,43%. Mas o carvão proveniente da espécie com menor teor de cinzas, 1,24%, *P. aurea*, também teve um dos maiores PCS. O valor do PCS do carvão aumenta a medida que o teor de cinzas aumenta (PETROFF; DOAT, 1978) e o poder calorífico do carvão se encontra diretamente relacionado à composição química NUMAZAWA (1986),

Sendo assim a espécie mais indicada para uso energético, considerando o PCS, é a espécie *in natura*, *P. aurea* e transformada em carvão, a espécie *C. mimosa*.

As espécies *C. gracilis* e *M. multiramea* são as menos indicadas na forma de carvão para uso energético, já que a disponibilidade de biomassa é reduzida comparada as outras duas espécies.

4.5 Determinação do rendimento gravimétrico em carvão, rendimento em carbono fixo e rendimento energético

O rendimento gravimétrico em carvão das espécies bambu foi determinado com base na massa seca. Além disso, foi determinado o rendimento em carbono fixo e o rendimento energético (Tabela 13).

Tabela 13 – Rendimento gravimétrico em carvão (RGC), em carbono fixo (RCF) e energético (RE)

Espécies	RGC (%)	RCF (%)	RE (%)
<i>M. multiramea</i>	46,65	9,88	58,60
<i>C. gracilis</i>	40,34	7,90	46,81
<i>P. aurea</i>	38,77	7,50	51,35
<i>C. mimosa</i>	41,3	9,78	61,36

O rendimento e qualidade na produção de carvão dependem da constituição química da madeira, da massa específica, do poder calorífico e do teor de umidade (PALUDZYSYN FILHO, 2008).

O rendimento em carbono fixo é o produto do rendimento gravimétrico em carvão vegetal e do teor de carbono fixo (VALE et al., 2011). O rendimento gravimétrico e o rendimento em carbono fixo apresentam uma relação diretamente proporcional aos teores de lignina, devido ao fato deste componente ser mais resistente à degradação térmica (BRITO; BARRICHELO, 1977). Já o rendimento em carbono fixo apresenta uma relação diretamente proporcional aos teores de extrativos e massa específica da madeira (OLIVEIRA et al., 2010). Deste modo, quando associados os valores de massa específica e alto teor de lignina, resulta carvão com maior rendimento gravimétrico (OLIVEIRA, 1988; PASTORE et al., 1989), isso pode ser explicado pela alta composição de carbono nestes componentes (PETROFF; DOAT, 1978). Além disso, o comportamento da madeira frente à velocidade e temperatura de carbonização podem afetar o rendimento gravimétrico e a qualidade do carvão vegetal, com decréscimo no rendimento em carvão à medida em que se aumentou o tempo e a temperatura final de carbonização (OLIVEIRA, 2010).

O rendimento energético também depende da constituição química da madeira. Quanto maior o teor de cinzas menor será o rendimento energético e esses valores são compatíveis com o rendimento em carbono fixo (QUIRINO et al., 2005).

Os valores dos rendimentos gravimétricos em carvão (Tabela 13) ficaram acima da faixa dos relatados para bambus, porém dentro da faixa de 28-50% relatada para o gênero *Eucalyptus* (Tabela 5).

4.6 Análise de teor de extrativos totais e lignina

A Tabela 14 apresenta a análise de teor de extrativos totais (TET) e teor de lignina (TL) das espécies de bambu *in natura*.

Tabela 14 – Teor de extrativos totais e teor de lignina das espécies de bambu *in natura*

Espécies	TET (%)	Desvio padrão	TL (%)	Desvio padrão
<i>M. multiramea</i>	10,62 (2,12)*	0,23	24,84 (0,29)	0,08
<i>C. gracilis</i>	9,92 (1,27)	0,13	23,09 (0,11)	0,03
<i>P. aurea</i>	9,82 (3,02)	0,30	26,51 (1,78)	0,48
<i>C. mimosa</i>	16,10 (5,52)	0,89	17,41 (1,93)	0,43

Obs.: Os valores entre parênteses correspondem aos coeficientes de variação, em %.

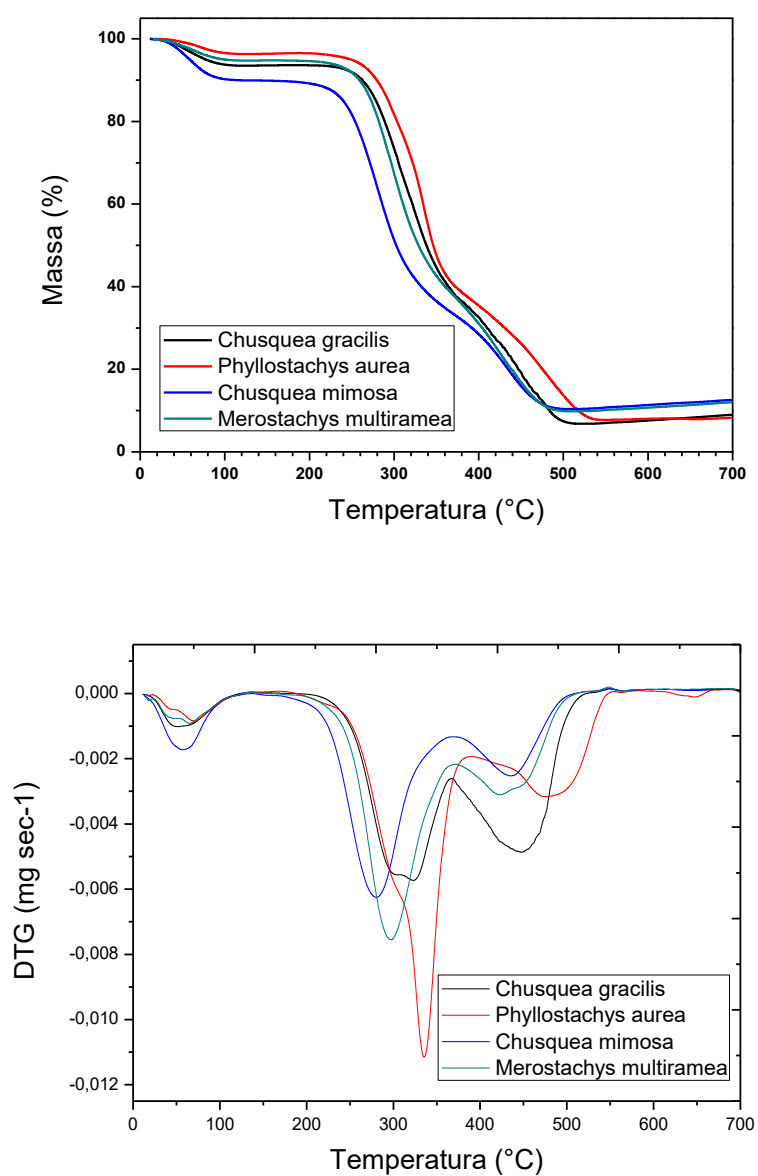
Dentre os valores obtidos para os teores de lignina observou-se que a espécie *P. aurea* apresentou 26,51%, sendo que foi a espécie com maior massa específica de biomassa *in natura*, 0,63 g cm⁻³ e do carvão 0,41 g cm⁻³. As espécies que ficaram numa faixa intermediária de lignina e massa específica foram *M. multiramea* e *C. gracilis*. Por fim a espécie *C. mimosa* que teve o menor teor de lignina, 17,41%, também teve as menores massas específicas, sendo da biomassa *in natura*, 0,20 g cm⁻³ e do carvão, 0,10 g cm⁻³.

No geral, estes valores corroboram com Santos (2010), onde o teor de lignina não teve correlação com o rendimento gravimétrico, mas sim com a massa específica da biomassa *in natura* e massa específica do carvão vegetal. O teor de extrativo não foi correlacionado significativamente à massa específica da biomassa *in natura*, massa específica do carvão e o rendimento gravimétrico em carvão.

4.7 Termogravimetria

A termogravimetria gerou informações de perda de massa, em função da temperatura e mudanças no tempo de reação para a biomassa (Figura 7).

Figura 7 – (a) Perda de massa e (b) a curva derivada da perda de massa (DTG) em função da temperatura das quatro espécies analisadas



As perdas de massa das espécies de bambu ficam evidenciadas em três etapas, sendo que a primeira etapa pode ser considerada a perda de água presente na amostra, na segunda etapa pode ser considerada a perda de celulose, hemicelulose e parte da lignina (LIU et al., 2013), e na terceira fase ocorreu a degradação da lignina (YANG et al., 2007) (Figura 7a). A decomposição térmica é visível na curva DTG (derivada da perda de massa) mostrando o pico máximo dessa perda (Figura 7b).

Analisando a DTG, a espécie *P. aurea* apresentou um maior pico (390 °C) no primeiro evento, que se refere à queima de material volátil, e a espécie *C. gracilis* no segundo evento, que se refere à queima de carbono fixo (SCREMIN, 2012). Isto se encontra relacionado com os valores de poder calorífico superior refletindo no poder de combustão (SCREMIN, 2012). Neste trabalho, o padrão deste comportamento pode ser confirmado pelo maior PCS dessas espécies, sendo 18,91 MJ kg⁻¹ para *P. aurea*, seguido da espécie *C. gracilis* com valor de 18,07 MJ kg⁻¹ (Tabela 12).

Na tabela 15, são apresentados os valores de perda de massa das diferentes espécies de bambu em função das faixas de temperaturas.

Tabela 15 – Perda de massa (%) das diferentes espécies em função das faixas de temperaturas

Espécies de bambu	Primeira etapa			Segunda etapa			Terceira etapa		
	Início (°C)	Fim (°C)	Perda em massa (%)	Início (°C)	Fim (°C)	Perda em massa (%)	Início (°C)	Fim (°C)	Perda em massa (%)
<i>M. multiramea</i>	15	151	5,22	151	372	57,25	372	511	9,82
<i>C. gracilis</i>	11	149	6,43	149	366	54,16	366	522	6,8
<i>P. aurea</i>	17	150	3,60	150	390	62,52	390	547	7,74
<i>C. mimosa</i>	12	154	10,12	154	368	56,15	368	509	10,37
<i>P. heterocycla</i> *	25	157	2,08	157	347	64,63	347	657	8,11
<i>P. pubescens</i> *	25	157	1,56	157	377	68,70	377	657	9,59

*(LIU et al., 2013)

As espécies *Phyllostachys pubescens* e *Phyllostachys heterocycla* (Carrière) S. Matsum se comportam termicamente de forma similar a espécie *P. aurea*, se tratando de mesmo gênero. Na primeira etapa ocorre perda de umidade para as duas espécies estudadas por Liu et al. (2013), iniciam este processo em 25 °C, e

perda em massa de 1,56 a 2,06%, e a espécie *P. aurea* iniciou em 17 °C e teve 3,60% de perda em massa. As outras espécies apresentaram perda em massa superior, devido ao elevado teor de umidade.

Na segunda etapa ocorre perda de celulose, hemicelulose e parte da lignina, também mostra que a espécie *P. aurea*, a qual contém maior teor de lignina e maior perda em massa nesta etapa, com 62,52%, compatíveis com os valores encontrados para *P. heterocycla* com 64,63% e 68,70% para *P. pubescens* (LIU et al., 2013).

Na faixa de temperatura entre 149,68 – 390,52 °C ocorre a queima de material volátil, sendo as temperaturas bem próximas entre essas quatro espécies. A faixa *P. heterocycla* ocorre entre 157 – 347 °C e entre 157 – 377 °C para *P. pubescens* (LIU et al., 2013).

A decomposição térmica é visível na curva DTG (derivada da perda de massa) mostrando o máximo dessa perda que ocorre em 297,23°C (30,56%) para *M. multiramea*, 323,10 °C (40,72%) para *C. gracilis*, 334°C (40,49%) para *P. aurea* e 280,42°C (35,15%) para *C. mimosa* (Figura 7b). O máximo da perda de massa para *P. heterocycla* ocorre em 319°C (47,95%) e para *P. pubescens* 339°C (39,79%) (LIU et al., 2013).

Na terceira etapa, atribuída à degradação da lignina, para *M. multiramea* ocorre na faixa de 372,84 – 511 °C, para *C. gracilis* entre 367,56 – 522 °C, para *P. aurea* entre 390,52 – 547 °C e para *C. mimosa* entre 368,01 – 509 °C. Sendo assim, ocorre queima de carbono fixo na faixa de temperatura entre 368,01 e 547 °C.

Nas espécies *M. multiramea*, *C. gracilis* e *P. aurea*, a maior perda ocorre entre 300 e 400 °C, e se comportando de maneira semelhante nas demais faixas de temperatura, o que não ocorre na espécie *C. mimosa* que ocorre maior perda entre 200 e 300 °C, e a perda de umidade no início do processo é maior, quando comparada as outras espécies.

Comparando os valores de decomposição térmica com os teores de lignina (Tabela 14), observou-se que quanto maior o teor de lignina, maior é a perda de massa da espécie de bambu.

A curva de termogravimetria indicou que os processos de degradação para as espécies de bambu são similares, mas as temperaturas da degradação são

diferentes. A decomposição principal ocorreu na segunda etapa, onde foi verificada que entre 54,16% e 62,52% de massa foi degradada.

5 CONCLUSÕES

As espécies de bambu *in natura* e transformadas em carvão vegetal, possuem potencial para serem utilizadas com finalidade energética. Porém algumas espécies devido a sua estrutura podem ser direcionados para fins diferentes como utilização em carvão.

A biomassa da espécie exótica *P. aurea* mostrou características favoráveis como fonte de energia, pois apresentou maior semelhança com o *Eucalyptus* spp., utilizado comumente para fins energéticos.

O carvão da espécie *C. mimosa* teve alto poder calorífico superior, porém como possui menor massa específica, ou seja, maior número de espaços vazios, pode se tornar mais interessante na utilização como carvão ativado.

Pela análise imediata das espécies *in natura*, observou-se que o teor de cinzas das nativas se apresentaram relativamente altos comparados as espécies de *Eucalyptus*, o que não ocorreu para *P. aurea*. A mesma observação é válida para o carvão.

Pelos resultados obtidos do poder calorífico superior, observou-se que as biomassas *in natura* das espécies de bambu analisadas apresentaram valores semelhantes, inclusive aos relatados para espécies de *Eucalyptus*.

Com relação ao poder calorífico do carvão, observou-se que os valores ficaram abaixo dos relatados para as espécies de *Eucalyptus*.

6 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 14660**: Madeira – Amostragem e preparação. Rio de Janeiro, 2004.

AFONSO, D. G. **Bambu nativo (*Guadua spp*)**. Alternativa de desenvolvimento econômica e sustentável para o Estado do Acre. 2011. 49 f. Trabalho de conclusão de curso (Especialista em Agronegócio) - Programa de Pós-graduação em Gestão da Indústria Madeireira, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2011.

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; DE MORAES GONÇALVES, J. L.; SPAROVEK, G. Koppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v.22, n.6, p.711-728, 2013.

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. Atlas de energia elétrica do Brasil. 3. ed. Brasília: Aneel, 2008. 236 p.: il. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/arquivos/pdf/atlas_par2_cap4.pdf> Acesso em 19 jan. 2017.

ARMANDEI, M.; DARWISH, I. F.; GHAVAMI, K. Experimental study on variation of mechanical properties of a cantilever beam of bamboo. **Construction and Building Materials**, v.101, p.784-790, 2015.

ARAUJO, L. S.; RODRIGUES, R. R. Aspectos fisionômicos - estruturais das florestas com bambus da Mata Atlântica. In: CONGRESSO DE ECOLOGIA DO BRASIL, 10., 2011, São Lourenço. **Anais...** São Lourenço: EMBRAPA, 2011. p.1-2.

ASTM International. **D5865-13**: Standard Test Method for Gross Calorific Value of Coal and Coke, United States, 2013.

ASTM International. **D2395-14**: Standard Test Methods for Density and Specific Gravity (Relative Density) of Wood and Wood-Based Materials, United States, 2014.

AVELAR, F. F.; BIANCHI, M. L.; GONÇALVES, M. The use of piassava fibers (*Attalea funifera*) in the preparation of activated carbon. **Bioresource Technology**, v.101, n.12, p.4639-4645, 2010.

AZZINI, A.; CIARAMELLO, D. Celulose de bambu. In: CONGRESSO ANUAL DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CELULOSE E PAPEL, 1972, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ABCTP, 1972.

AZZINI, A.; SALGADO, A.L.B.; TEIXEIRA, J. P. F.; MORAES, R. M. Obtenção de amido a partir do colmo de bambu. **Bragantia**, v.40, p.211-216, 1981.

AZZINI, A.; BERALDO, A. L. **Métodos práticos de tratamento do bambu**. Campinas: Gráfica da Unicamp, São Paulo, 2001, 14p.

BADA, S. O.; FALCON, R. M. S.; FALCON, L. M. Investigation of combustion and co-combustion characteristics of raw and thermal treated bamboo with thermal gravimetric analysis. **Thermochimica Acta**, v.589, p.207-214, 2014.

BARRICHELO, L. E. G.; FOELKEL, C. E. B. **Produção de celulose sulfato a partir de misturas de madeira de *Eucalyptus saligna* com pequenas proporções de cavacos *Bambusa vulgaris* variedade *vittata***. USP/ ESALQ. – Documentos Florestais, IPEF - Série técnica: Piracicaba, v.10, p.93-99, 1975.

BATTISTELLE, R. A. G.; MARCILIO, C.; LAHR, F. A. R. Emprego do bagaço da cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*) e das folhas caulinares do bambu da espécie *Dendrocalamus giganteus* na produção de chapas de partículas. **Minerva**, v.5, n.3, p.297-305, 2006.

BENTON, A.; CRONIN, T.; JONKHART, J.; JUNQI, W. MARKET. **Potential of Bamboo and Rattan Products, Working Paper 63, International Network Bamboo and Rattan, 2011**. Disponível em: <<http://www.inbar.int/wp-content/uploads/downloads/2015/02/INBAR-Working-paper-63.pdf00.pdf>> Acesso em 23 jan. 2017.

BERALDO, A. L.; AZZINI, A.; GHAVAMI, K.; PEREIRA, M. A. R. **Bambu: Características e Aplicações**. UNESP, 2001.

BERNDSEN, R. S. **Caracterização anatômica, física e mecânica de lâminas de bambu (*Phyllostachys pubescens*)**. 2008. 98 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica e de Materiais, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2008.

BERNDSEN, R.S.; KLITZKE, R.J.; BATISTA, D. C.; NASCIMENTO, E. M.; OSTAPIV, F. Propriedades físicas do bambu mossô (*Phyllostachys pubescens* Mazelex H. de Lehaie) em diferentes idades e posições do colmo. **Floresta**, v.40, p.183-192, 2010.

BRAND, M. A. **Energia de biomassa florestal**. Rio de Janeiro: Interciência, 2010, 131p.

BRASIL. Lei Nacional nº 12.484, de 8 de setembro de 2011. Política Nacional de Incentivo ao Manejo Sustentado e ao Cultivo do Bambu (PNMCB). **Diário Oficial da União**. Brasília, DF, 8 set. 2011.

BRIANE, D.; DOAT, J. **Guide technique de la carbonisation: la fabrication du charbon de bois**. Aixen Provence: ÉDISUD, 180 p., 1985.

BRITO, J. O.; BARRICHELO, L. E. G. **Correlação entre as características físicas e químicas da madeira e a produção de carvão: massa específica e teor de**

lignina na madeira de eucalipto. USP/ ESALQ – Documentos Florestais, IPEF - Série técnica: Piracicaba, v.14, p.9-20, 1977.

_____. **Características do eucalipto como combustível:** análise química imediata da madeira e da casca. USP/ ESALQ – Documentos Florestais, IPEF - Série técnica: Piracicaba, v.16, p.63-78, 1978.

_____. **Considerações sobre a produção de carvão vegetal com madeiras da Amazônia.** USP/ ESALQ – Documentos Florestais, IPEF - Série técnica: Piracicaba, v.2, n.5, p.1-25, 1981.

_____. **Carvão vegetal de madeira de desbaste de Pinus.** USP/ ESALQ – Documentos Florestais, IPEF - Série técnica: Piracicaba, v.146, n.5, p.1-12, jun. 1982.

BRITO, J. O.; BARRICHELO, L. E. G.; SEIXAS, F.; MIGLIORINI, A. J.; MURAMOTO, M. C. **Análise da Produção Energética e de Carvão Vegetal de Espécies de Eucalipto.** USP/ ESALQ – Documentos Florestais, IPEF - Série técnica: Piracicaba, n.23, p.53-56, 1983.

BRITO, J. O.; TOMAZELLO FILHO, M.; SALGADO, A. L. B. **Produção e caracterização do carvão vegetal de espécies e variedades de bambu.** USP/ ESALQ – Documentos Florestais, IPEF - Série técnica: Piracicaba, v.36, p.13-17, 1987.

BRITO, J. O. **Reflexões sobre qualidade do carvão vegetal para uso siderúrgico.** USP/ ESALQ – Documentos Florestais, IPEF - Série técnica: Piracicaba, n.181, 1993.

BURHENNEA, L.; MESSMERA, J.; AICHERA T.; LABORIEB, M. P. The effect of the biomass components lignin, cellulose and hemicellulose on TGA and fixed bed pyrolysis. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**, v.101, p.177-184, 2013.

BYSTRIAKOVA N.; KAPOV V.; LYSENKO I. **Bamboo biodiversity:** Africa, Madagascar and the Americas. Cambridge: UNEP-WCMC/INBAR, 2004, 27p.

CALAIS, D. **Florestas Energéticas no Brasil:** demanda e disponibilidade. Belo Horizonte, 2009. 23p. Disponível em: <http://silviminas.com.br/wp-content/uploads/2012/12/publicacao_585.pdf>. Acesso em: 19 jun. 2017.

CASTRO, A. F. N. M.; CASTRO, R. V. O.; CARNEIRO, A. C. O.; LIMA, J. E.; SANTOS, R. C.; PEREIRA, B. L. C.; ALVES, I. C. N. Análise multivariada para seleção de clones de eucalipto destinados à produção de carvão vegetal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.48, n.6, p.627-635, 2013.

CAVIGLIONE, J. H.; KIIHL, L. R. B.; CARAMORI, P. H.; OLIVEIRA, D. **Cartas climáticas do Paraná.** Londrina: IAPAR, 2000. CD. Disponível em:

<<http://www.iapar.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=677>> Acesso em 24 jan. 2017.

CHEN, W.; LIU, S.; JUANG, T.; TSAI, C.; ZHUANG, Y. Characterization of solid and liquid products from bamboo torrefaction. **Applied Energy**, v.160, p.829-835, 2015.

CIARAMELLO, D.; AZZINI, A. Bambu como matéria-prima para papel. **Bragantia**, v.30, p.199-274, 1971.

CNBRC – China National Bamboo Research Center. **Cultivation & Integrated utilization on bamboo in China**. CBRC, China, 2001.

CORREA, A. A. Conversão química de madeiras da Amazônia - Carvão e briquetes de carvão vegetal. **Acta Amazônica**, v.18, n.1-2, p. 93-108, 1988.

COSTA, T. M. Z. **Estudo da viabilidade técnica do emprego do bambu da espécie *Bambusa vulgaris* Schard. como carvão vegetal**. 2004. 61 f. Dissertação (Mestrado em Ciências na Área de Tecnologia Nuclear – Materiais). Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares – Universidade de São Paulo, 2004.

DALLAGNOL, F. S. **Estimativa de teores de carbono em seis espécies de bambu por espectroscopia no infravermelho próximo (NIR)**. 2012. 112 f. Dissertação (Mestrado em Manejo Florestal) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Florestal, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

DALLASTRA, E. C. **Sistemas de produção de carvão vegetal existentes no Brasil: Uma análise de viabilidade econômica**. 2010. 70 f. Dissertação (Mestrado em Agroenergia). Fundação Getúlio Vargas. Escola de Economia de São Paulo, 2010.

DANTAS, A. B.; MILITO, C. M.; LUSTOSA, M. C. J.. **O uso do bambu na construção do desenvolvimento sustentável**. Maceió: Instituto do Bambu, p.22, 2005.

DFRS. **Review of Developed Western Markets for Bamboo and Rattan Commodities of Nepal**. Market Development of Bamboo and Rattan Products with Potential (MDBRPP). Project. Department of Forest Research and Survey, Kathmandu, Nepal. 2010.

DIVER, S. **Bamboo: a multipurpose agroforestry crop**, 2001. Disponível em: <<http://pt.slideshare.net/ElisaMendelsohn/bamboo-a-multipurpose-agroforestry-crop>>. Acesso em: 27 jan. 2017.

ESTEBAN, L. S.; CIRIA, P.; CARRASCO, J. E. An assessment of relevant methodological elements and criteria for surveying sustainable agricultural and forestry biomass byproducts for energy purposes. **BioResources**, v.3, n.3, p.910-928, 2008.

FAO. **World bamboo resources** - A thematic study prepared in the framework of the Global Forest Resources Assessment 2005. Rome: FAO, 2007. 73p.

FARIA, P. C. C.; ORFAO, J. J. M.; PEREIRA, M. F. R. Mineralisation of coloured aqueous solutions by ozonation in the presence of activated carbon. **Water Research**, v.39, n.8, p.1461-1470, 2005.

FARINHAQUE, R. **Influência da umidade no poder calorífico da madeira de bracatinga (*Mimosa scabrella*, Benth), e aspectos gerais de combustão**. Curitiba: FUPEF, Série técnica 06, 13p., 1981.

FILGUEIRAS, T. S.; GONÇALVES, A. P. S. A Checklist of the basal grasses and bamboos in Brazil. **Bamboo Science and Culture**, v.18, p.7-18, 2004.

_____. Tupi-guarani – Fonte de informações sobre bambus nativos do Brasil. **Heringeriana**, v.1, n.1, p. 35-41, 2007.

FLORES, C. A.; GARRASTAZU, M. C. Levantamento Detalhado dos Solos: Área Experimental 1 - Petrobras/SIX São Mateus do Sul, PR. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, Documentos, 314. 2010. 60 p.

FOELKEL, C. E. B. **Madeira de Eucalipto: da floresta ao digestor**. IPEF. Boletim Informativo, Piracicaba, v.6, n.20, E-1-25, 1978.

GALVÃO, A. P. M., JANKOWSKY, I. P. **Secagem Racional de Madeira**. São Paulo: Nobel, p.112, 1985.

GOMIDE, J. L.; OLIVEIRA, R. C. de; COLODETTE, J. L. Influencia da idade do *Bambusa vulgaris* nas suas características químicas e anatômicas visando a produção de polpa celulósica. In: CONGRESSO ANUAL DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CELULOSE E PAPEL, 1981, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ABCTP, 1981. p.5-29.

GUILHERME, F. A. G. **Efeitos do regime de inundação e de bambus na dinâmica da comunidade arbórea de um fragmento de Floresta Semidecídua no sul de Minas Gerais**. 1999. 73 f. Dissertação (Mestrado em Manejo Ambiental) - Universidade Federal de Lavras, 1999.

GUIMARÃES JUNIOR, M.; NOVACK, K. M.; BOTARO, V. R. Caracterização anatômica da fibra de bambu (*Bambusa vulgaris*) visando sua utilização em compostos poliméricos. **Revista Iberoamericana de Polímeros**, v. 11, n. 7, 442–456, 2010.

HERBÁRIO VIRTUAL AUSTRAL AMERICANO. Disponível em: <<https://herbariovaa.org/>>. Acesso em set. 2015.

HERBÁRIO VIRTUAL DA FLORA E DOS FUNGOS. Disponível em: <<http://inct.florabrasil.net/>>. Acesso em set. 2015.

HERBÁRIO VIRTUAL REFLORA. Disponível em <<http://reflora.jbrj.gov.br/>>. Acesso em ago. 2015.

HIDALGO-LÓPEZ, O. **Bamboo the gift of the Gods**. Oscar Hidalgo Lopez editor, 553 p., 2003

HOMRICH, P. O. B. **Determinação dos parâmetros cinéticos da pirólise convencional do bambu gigante**. Trabalho de conclusão de curso (Engenharia Química) - Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul, 77p., 2012.

HONGBO, L.; HONGBO, Z.; HUIHE, W.; MINGJUN, L.; JUNHNG, C. Study on fabrication of bamboo based high specific surface area activated carbon. **Chemistry and Industry of Forest Products**, v.21, p.11-15. 2001.

HSIUNG, W. **Prospects for bamboo development in the World**. In: IBC 88, Praface, 1998.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Informações estatísticas da cidade de São Mateus do Sul, PR**. Disponível em: <<http://www.cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?lang=&codmun=412560&search=in%20fogr%20E1ficos:-informa%20E7%2F5es-completas>>. Acesso em: 4 nov. 2016.

INBAR. International Network Bamboo and Rattan. **Annual Report 2014**. From research to development. Overview of new strategic approaches and results. Disponível em: <<http://www.inbar.int/sites/default/files/2014%20Annual%20report%20web%20version.pdf>> Acesso em 4 nov. 2016.

INBAR. International Network Bamboo and Rattan. **Annual Report 2015**. South-South Cooperation. Disponível em: <<http://www.inbar.int/sites/default/files/INBAR%20Annual%20Report%202015.pdf>> Acesso em 20 jan. 2017.

INBAR. International Network for Bamboo and Rattan. **News & Updates**. Disponível em: <<http://www.inbar.int/bamboo-added-ecuador-construction-code>> Acesso em 13 dez. 2016.

INBAR. International Network for Bamboo and Rattan. **News & Updates**. Disponível em: <<http://www.inbar.int/madagascar-gears-boost-its-bamboo-sector>> Acesso em 13 dez. 2016.

INBAR. International Network for Bamboo and Rattan. **Bamboo: A strategic resource for countries to reduce the effects of climate change**. Beijing. 2014. 20p. Disponível em: <http://www.inbar.int/sites/default/files/INBAR%20Policy%20Synthesis%20Report1_Bamboo%20%26%20Climate%20Change.pdf> Acesso em 19 jan. 2017.

IPARDES. Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social. **Leituras Regionais:** Messorregião Geográfica Sudeste Paranaense/ Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social. Curitiba: IPARDES: BRDE, 2004. Disponível em:

<http://www.ipardes.gov.br/biblioteca/docs/leituras_reg_meso_sudeste.pdf> Acesso em 4 nov. 2016.

ITOH, T.; SHIMAJI, K. Lignification of bamboo culm (*Phyllostachys pubescens*) during its growth and maturation. Bamboo Production and Utilization. In: Proc. XVII IUFRO Congress Group 5.3. Ed. T. Higuchi. Kyoto, Japan, p.104-110. 1981.

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

KAHLER, C. G. **Global Bamboo Thematic Study and Workshop.** 2005. Beijing. Report on Bamboo Thematic Study in Framework of FAO FRA 2005 for Latin América. Rome. Working Paper 123. 29p, 2006.

KLEIN, H. O potencial do bambu - Bambu para toda obra. **Revista O Papel.** Revista mensal de tecnologia em celulose e papel, ano LXXVI, n.4, 2015.

KLEIN, R.M. Gramíneas. In: Reitz, R. (ed.). **Flora Ilustrada Catarinense.** Herbário Barbosa Rodrigues, Itajaí, 1981.

KLEINN, C.; MORALES-HIDALGO, D. An inventory of Guadua (*Guadua angustifolia*) bamboo in the Coffee Region of Colombia. **European Journal of Forest Research.** v. 125, p. 361-368, 2006.

KLOCK, U.; MUÑIZ, G. I. B.; HERNANDEZ, J. A.; ANDRADE, A. S.; **Química da madeira**, 3º ed., Curitiba, 2005.

KLOP, A.; CARDENAS, E.; MARLIN, C. Bamboo production chain in Ecuador. **Journal of Bamboo and Rattan.** v.2, p.327-343, 2003.

KRAMER, P. J.; KOZLOWSKI, T. T. **Physiology of Trees.** McGraw-Hill Book Company. New York, U.S.A. 642 p., 1960.

KWONG, P. C. W.; CHAO, C. Y. H.; WANG, J. H.; CHEUNG, C. W.; KENDALL, G. Co-combustion performance of coal with rice husks and bamboo. **Atmospheric Environment**, v.41, p.7462-7472, 2007.

LI, S.; FU, S.; ZENG, Q. Y.; XIAO, Y. L.; FU, S. Y.; ZHOU, B. L. Biomimicry of bamboo bast fiber with engineering composite materials. **Materials Science and Engineering: C**, v.3, n. 2, p.125-130, 1995.

LIESE, W. **Bamboos – Biology, silvics, properties, utilization.** GTZ, Germany, p. 132, 1985.

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

LIESE, W.; GROVER, P.N. Untersuchungenuber den Wassergehalt vonindischen Bambushalmen.Ber. Deutsche Botanische Gesellschaft v. 74, p. 105- 117, 1961.

LOPES, W. J. **A cultura do bambu:** A formação de uma cadeia produtiva alternativa para o desenvolvimento sustentável. UFSC, Florianópolis, SC, 2008.

LORA, E. E. S.; VENTURINI, O. J. **Biocombustíveis**, 1ª ed., Ed. Interciência: Rio de Janeiro, cap. 6, 2010.

MAACK, R. **Geografia física do Estado do Paraná.** Curitiba: CODEPAR, 350p.,1968.

_____. **Geografia física do Estado do Paraná.** 4ª ed. Ponta Grossa: Editora UEPG, 2012. 526p.

MAIA, C. M. B. de F.; BARATTO, R. L.; GUIO-TOKU, M. G.; SIQUEIRA, F. C. de J.; MADARI, B. E.; LEAL, W. G. de O. Efeito da temperatura de carbonização sobre características físico-químicas dos carvões de duas espécies. In: ENCONTRO BRASILEIRO DE SUBSTÂNCIAS HÚMICAS. MATÉRIA ORGÂNICA E QUALIDADE AMBIENTAL, 2013, Brasília. **Anais...** Brasília: Embrapa, 2013. p.324-327.

MARINHO, N. P.; NISGOSKI, S.; KLOCK, H.; ANDRADE, A. S. de; MUÑIZ, G. I. B. de. Análise química do bambu-gigante (*Dendrocalamus giganteus* Wall. ex Munro) em diferentes idades. **Ciência Florestal**, v.22, n.2, p.417-422, 2012.

MAYER, A. **Carbon vegetal.** Organizacion de las naciones unidas para la agricultura y la alimentacion. Roma. 1975.

MEZERETTE, C.; VERGNET, L.F. La voie thermochimique. **Guide Biomasse Energie**, 1ª Ed., IEPP, Canadá, p.144-200, 1994.

MICHAELE, F. **Manual de normalização bibliográfica para trabalhos científicos.** 3ª ed. Versão atualizada. Ponta Grossa: UEPG, 141p., 2014.

MOGHTADERI, B.; SHENG, C.; WALL, T. F. An overview of the Australian biomass resources and utilization technologies. **BioResources**, v.1, n.1, p.93-115, 2006.

NOGUEIRA, L. A. H; LORA, E. E. S. **Dendroenergia:** Fundamentos e Aplicações. Rio de Janeiro: Interciência, 2.ed. 199p., 2003.

NUMAZAWA, S. **Aproveitamento de resíduos da exploração florestal em Curuá-Una/Pa, para Produção de Carvão Vegetal.** 1986. 126 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Madeiras) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1986.

OLIVEIRA, E. **Correlação Entre Parâmetros de Qualidade da Madeira e do Carvão de *Eucalyptus grandis* (W. Hill ex-Maiden)**. 1988. 47 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1988.

OLIVEIRA, J. T. S.; HELLMEISTER, J. C.; TOMAZELLO FILHO, M. Variação do teor de umidade e da massa específica básica na madeira de sete espécies de eucalipto. **Árvore**, v.29, n.1, p.115-127, 2005.

OLIVEIRA, T. F. C. S. **Sustentabilidade e arquitetura: uma reflexão sobre o uso do bambu na construção civil**. 2006. 136 f. Dissertação (Mestrado em Dinâmica do Espaço Habitado) - Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2006.

OLIVEIRA, D. A. de; BEZERRA NETO, E.; NASCIMENTO, C. W. A. do; FERNANDES, M. B.; SILVA, T. C. da; OLIVEIRA, R. A. de. Alocação de biomassa em plantas de bambu em resposta a adubação mineral. **Scientia Agraria**, v.9, n.2, p.139-146, 2008.

OLIVEIRA, R. L. M de. **Instrumentação e análise térmica do processo de produção de carvão vegetal**. 2009. 111 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia, Minas Gerais, 2009.

OLIVEIRA, R. L. M.; MULINA, B. H. O.; ALVES JÚNIOR, E.; PESSOA, J. S.; CARVALHO, S. R. Análise térmica e do rendimento gravimétrico em fornos de produção de carvão vegetal. In: CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA MECÂNICA, 2010, Campina Grande. **Anais...**Campina Grande: ABCM, 2010.

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

OLIVEIRA, A. C.; CARNEIRO, A. C. O.; PEREIRA, B. L. C.; VITAL, B. R.; CARVALHO, A. M. M. L.; TRUGILHO, P. F.; DAMÁSIO, R. A. P. Otimização da produção do carvão vegetal por meio do controle de temperaturas de carbonização. **Revista Árvore**, v.37, n.3, p.557-566, 2013.

OSTAPIV, F.; FAGUNDES, E. D. Perspectivas para o desenvolvimento da cultura e da cadeia produtiva do bambu no Paraná, tendo como referência a inovação, a educação tecnológica e o modelo produtivo chinês. **Athena Revista Científica de Educação**, v. 9, 2007.

PARK, S. W.; JANG, C. H. Effects of pyrolysis temperature on changes in fuel characteristics of biomass char, **Energy**, v. 39, p. 187–195, 2012.

PARK, S. W.; JANG, C. H.; BAEK, K. R.; YANG, J.K. Torrefaction and low-temperature carbonization of woody biomass: evaluation of fuel characteristics of the products, **Energy**, v. 45, p. 676–685, 2012.

PASTORE, T. C. M.; OKINO, E. Y. A.; PASTORE JÚNIOR, F. P. **Carbonização de madeiras da Amazônia. Parte I: Floresta Nacional do Tapajós**. Brasília: IBAMA, Laboratório de Produtos Florestais, Série Técnica 12, 1989.

PEREIRA, M. A. dos R. **Bambu: Espécies, Características e Aplicações**. Departamento de Engenharia Mecânica. Unesp. Apostila. Bauru, 56p., 2001.

_____. **Projeto Bambu: manejo e produção do bambu gigante (*Dendrocalamus giganteus*) cultivado na Unesp/Campus de Bauru e determinação de suas características físicas e de resistência mecânica**. Relatório Fapesp (2003/04323-7), 2006.

PEREIRA, M. A. dos R.; BERALDO, A. L. **Bambu de corpo e alma**. Bauru: Canal6, 240 p., 2008.

PEREIRA, B.; CARNEIRO, A. Estudo da degradação térmica da madeira de *eucalyptus* através de termogravimetria e calorimetria. **Revista Árvore**, v.37, n.3, p. 567–576, 2013.

PETROFF, G.; DOAT, J. “Pyrolise des bois tropicaux: influence de la composition chimique des bois sur les produits de distillation.” **Bois et forêts des tropiques**. Nogentsur-Marne, v.177, p. 51-64, jan/fev.1978.

PROTÁSIO, T. P.; BUFALINO, L.; TONOLI, G. H. D.; COUTO, A. M.; TRUGILHO, P. F.; GUIMARÃES JÚNIOR, M. Relação entre o poder calorífico superior e os componentes elementares e minerais da biomassa vegetal. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 31, n.66, p. 113–122, 2011.

PROTÁSIO, T. P.; BUFALINO, L.; TONOLI, G. H. D.; GUIMARÃES JUNIOR, M.; TRUGILHO, P. F., MENDES, L. M. Brazilian lignocellulosic wastes for bioenergy production: Characterization and comparison with fossil fuels. **BioResources**, v. 8, n.1, p. 1166–1185, 2013.

QUIRINO, W. F.; VALE, A. T. do; ANDRADE, A. P. A de; ABREU, V. L. S.; AZEVEDO, A. C. dos S. Poder calorífico da madeira e de materiais lignocelulósicos. **Revista da Madeira**, v. 89, pp. 100-106, 2005.

RIBEIRO, P. G.; VALE, A. T., Qualidade do carvão vegetal de resíduos de serraria para o uso doméstico. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA PARA O PROGRESSO DA CIÊNCIA, 2006, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: SBPC, 2006.

ROFFAEL, R; SCHALLER, K. Einfluss Thermischer Behandlung auf Cellulose. **Holz Roh-Werkst**, v. 29, p. 275-278, 1971.

SALGADO, A. L. B. **Bambu com sal: aqui e agora, lá e então**. Campinas: Amaro Comunicação, p. 352, 2014.

SANQUETTA, C.R.; DALLA CORTE, A.P.; VULCANIS, L.; BERNI, D.M. **Sobrevivência de mudas de Araucaria angustifolia Bert. O. Ktze. plantadas em um experimento de controle de taquaras (Bambusoideae) no sul do Paraná, Brasil.** Laboratório de Inventário Florestal, UFPR, Curitiba, 2005.

SANQUETTA, C. R.; CÔRTE, A. P. D.; SALZMANN, A. M.; VULCANIS, L. Dinâmica de um remanescente de Floresta Ombrófila Mista no sul do Paraná sob influência de taquaras Dynamics of a tract of Mixed Araucaria Forest in southern Paraná under influence of taquara bamboos, **Ambiência - Revista do Setor de Ciências Agrárias e Ambientais**, v. 3, n. 1, p. 65–78, Jan./Abr. 2007.

SANTANA, G. M. **Resíduos de bambu (*Bambusa vulgaris* Schard.) para a produção de carvão ativado.** 2014. 72 f. Dissertação (Mestrado em Madeira como Matéria-prima) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Florestal, Universidade Federal de Lavras, Minas Gerais, 2014.

SANTOS, R. C. **Parâmetros de qualidade da madeira e do carvão vegetal de clones de Eucalipto.** 2010. 159 f. Tese (Doutorado em Processamento e Utilização da Madeira) - Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia da Madeira, Universidade Federal de Lavras, Minas Gerais, 2010.

SANTOS, K. F. dos; FERREIRA, T. S.; HIGUCHI, P.; SILVA, A. C. da; VANDRESEN, P. B.; COSTA, A.; SPADA, G.; SCHIMITZ, V.; SOUZA, F. de. Regeneração natural do componente arbóreo após a mortalidade de um maciço de taquara em um fragmento de Floresta Ombrófila Mista em Lages - SC. **Ciência Florestal**, v. 25, n.1, p. 107-117, 2015.

SÃO PAULO. Resolução nº 10 SAA, de 11 de julho de 2003. Diário Oficial do Estado de São Paulo, São Paulo, SP, 11 jul. 2003. Disponível em: <http://www.codeagro.sp.gov.br/arquivos/selo/saa_1031a0ff69a85454e1cde89c327ac490f5.pdf> Acesso em: 17 jan. 2017.

SARTI, P. T.; SILVA, R. B.; VIEIRA, E. M. Padrões de atividade diária do rato-da-taquara (*Kannabateomys amblyonyx*) no sul do Brasil. **Neotropical Biology & Conservation**, v.7, n.2, p.108-113, 2012.

SCHWARZBACH, L. L. C.; NEGRELLE, R. R. B. *Merostachys multiramea* Hackel: Subsídios para Potencializar seu Uso e Sustentabilidade. **Revista Brasileira de Biociências**, v. 5, n. S1, p. 129–131, 2007.

SENDULSKY, T. *Merostachys multiramea* (Poaceae: Bambusoideae: Bambuseae) and similar species from Brazil. **NOVON**. v.5, p. 76-96, 1995.

SETTE JR, C. R.; FREITAS, P. C.; FEITAS, V. P.; YAMAJI, F. M.; ALMEIDA, R. A. Production and characterization of bamboo pellets. **Biosci. J.**, v. 32, n. 4, p. 922-930, 2016.

SEYE, O.; CORTEZ, L. A. B.; GOMEZ, E. O. Estudo cinético da biomassa a partir de resultados termogravimétricos.. In: ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL, 3., 2000, Campinas. Proceedings online... Disponível em: <http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=MSC0000000022000000200022&lng=en&nrm=abn>. Acesso em: 19 Jan. 2017.

SILVA, L. F. B. M. **Ecologia do Rato do Bambu, *Kannabatcomys Amblyonyx* (Wagner, 1845) na Reserva Biológica de Poço das Antas, Rio de Janeiro.** 1993. 74 f. Dissertação (Mestrado em Ecologia, Conservação e Manejo de Vida Silvestre) – Instituto de Ciências Biológicas, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 1993.

SILVA, D. A.; MULLER, B. V.; KUIASKI, E. C.; CUNHA, A. B. Caracterização Energética do *Eucalyptus benthamii* Maiden et Cambage. In: CONGRESSO FLORESTAL PARANAENSE, 2012, Curitiba. **Anais...** Curitiba: APRE, 2012.

SILVA, D. A.; ALMEIDA, V. C.; VIANA, L. C. KLOCK, U e MUÑIZ, G. I. B. de. Avaliação das propriedades energéticas de resíduos de madeiras tropicais com uso da espectroscopia NIR. **Floresta e Ambiente**, v. 21, n. 4, p. 561-568, 2014.

SMITH, A. D. Wood as fuel. Foster Wheeler Limited. **Mimeograph**, 32 p., 1976.

SOHI, S. P.; KRULL, E.; LOPEZ-CAPEL, E.; BOL, R. A. **Review of Biochar and Its Use and Function in Soil.** In DONALD L. SPARKS editor: *Advances in Agronomy*, v. 105, Burlington: Academic Press, 2010.

SYRED, C.; GRIFFITHS, A.J.; SYRED, N.; BEEDIE, D.; JAMES, D. A clean efficient system for producing charcoal, heat and power (CHaP). **Fuel**, v.85, p.1566-1578, 2006.

TAMOLANG, F. N.; LOPEZ, F. R.; SEMANA, J. A.; CASIN, R. F.; ESPILOY, Z. B. Properties and utilization of Philippine bamboos. *Bamboo Research in Asia*, G. Lessard, A. Chouinard. IDRC, p.189-200, 1980.

TAPPI - Technical Association of the Pulp and Paper Industry. **TAPPI test methods T 204 om-88: solvent extractives of wood and pulp.** Atlanta: Tappi Technology Park, v.1, 1996.

TIENNE, L.; DESCHAMPS, M. C.; ANDRADE, A. M. Produção de carvão e subprodutos da pirólise da casca e do bagaço da laranja (*Citrus sinensis*). **Biomassa & Energia**, v. 1, n. 2, p. 191-197, 2004.

VALE, A. T.; MENDES, R. M.; AMORIM, M. R. S.; DANTAS, V. F. S. Potencial Energético da biomassa e carvão vegetal do epicarpo e da torta de pinhão manso (*Jatropha curcas*). **Cerne**, v. 17, p. 267-273, 2011.

VALLE, G. R. R.; BARBOSA, K. O.; SOTO, R. V. Evaluación de los productos forestales no madereros en América Central FAO: Turrialba, 2000.

WOICIECHOWSKI, T. **Avaliação dos atributos de um cambissolo háplico e crescimento inicial de *Eucalyptus benthamii* após a aplicação de biocarvão na região de Irati-Pr.** 2011. 64 f. Dissertação (Mestrado em Manejo Sustentável dos Recursos Florestais) - Programa de Pós-graduação em Ciências Florestais, Universidade Estadual do Centro-Oeste, 2011.

WORLD ENERGY COUNCIL – WEC. World Energy Resources 2016. Disponível em: <https://www.worldenergy.org/wp-content/uploads/2016/10/World-Energy-Resources_FullReport_2016.pdf> Acesso em: 20 jan. 2017.

YANG, H.; YAN, R.; CHEN, H.; LEE, D. H.; ZHENG, C. Characteristics of hemicellulose, cellulose and lignin pyrolysis. **Fuel**, v. 86, n. 12, pp.1781-1788, 2007.

YE, L.; ZHANG, J.; ZHAO, J.; LUO, Z.; TU, S.; YIN, Y. Properties of biochar obtained from pyrolysis of bamboo shoot shell. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**, v. 114, p. 172–178, 2015.

ZHU, X.; LI, X.; YAO, Q.; CHEN, Y. Challenges and models in supporting logistics system design for dedicated-biomass-based bioenergy industry. **Bioresource Technology**, v.102, n. 2, pp.1344-1351, 2011.