

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ - UFPR
PROGRAMA DE EDUCAÇÃO CONTINUADA EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS - PECCA
PÓS-GRADUAÇÃO EM GESTÃO FLORESTAL

PAULO HENRIQUE COSTA E SILVA

**ANÁLISE DO POTENCIAL ENERGÉTICO (CARVÃO VEGETAL) DE
ESPÉCIES NATIVAS, *EUCALYPTUS SP* E BAMBU.**

Curitiba - PR
2017

PAULO HENRIQUE COSTA E SILVA

**ANALYSIS OF ENERGY POTENTIAL (VEGETABLE CHARCOAL) OF
NATIVE SPECIES, *EUCALYPTUS SP* AND BAMBU.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Programa de Educação Continuada em Ciências Agrárias do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná como requisito parcial à obtenção do título de MBA em Gestão Florestal.

Orientador: Prof. Dr. Nelson Yoshihiro Nakajima

Curitiba- PR
2017

SUMÁRIO

RESUMO.....	5
ABSTRACT.....	5
1. INTRODUÇÃO	6
1.1 Contextualização.....	6
1.2 Objetivos.....	7
1.3 Fundamentação teórica	7
1.3.1 Espécies nativas do Brasil	7
1.2.2 <i>Eucalyptus</i>	9
1.2.3 Bambu	9
1.4 Justificativa.....	10
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	11
2.1 Espécies Nativas do Brasil	12
2.2 Espécies de <i>Eucalyptus</i>	13
2.3 Espécies de Bambu	13
3. RESULTADO E DISCUSSÃO	14
3.1 Teor de Carbono Fixo.....	14
3.2 Teor de Material Volátil	15
3.3 Teor de Cinzas	16
3.4 Poder Calorífico Superior.....	17
4. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	18
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	19

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Lista das espécies florestais nativas de acordo com o bioma	12
Tabela 2: Classificação das espécies florestais quanto ao Teor de Carbono Fixo....	15
Tabela 3: Classificação das espécies florestais quanto ao Material Volátil	16
Tabela 4: Classificação das espécies florestais quanto ao Teor de Cinzas	17
Tabela 5: Classificação das espécies florestais quanto ao Poder Calorífico Superior	18

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi realizar uma comparação através de uma pesquisa bibliográfica, onde, extraindo informações sobre o potencial energético de espécies florestais, indicaram-se aquelas com as melhores características para carbonização. Ao todo foram analisadas 22 espécies, divididas em três grupos: Nativas do Brasil (12 espécies), *Eucalyptus sp* (7) e Bambu (3). Após a comparação das 22 espécies, pode-se observar o grande potencial de algumas espécies Nativas do Brasil e de Bambu, equiparadas ao potencial conhecido das espécies de *Eucalyptus sp*. Pelo maior estudo e melhoramento genético, as espécies de *Eucalyptus sp* foram as que apresentaram o melhor resultado quanto às características desejáveis para carbonização, com destaque às *Eucalyptus pellita* e *Eucalyptus grandis*. Muito importante informar que os destaques pelas espécies Nativas do Brasil foram: o Angico-Branco e o Tamboril, e pela espécie de Bambu foi: *Bambusa tuldoides* Munro, assim estas merecem um estudo mais aprofundado sobre seus potenciais energéticos através da carbonização.

Palavras-chave: Comparação. Potencial Energético. Espécies florestais.

ABSTRACT

The objective of this work was to perform a comparison through a bibliographical research, where, extracting information about the energetic potential of forest species, those with the best characteristics for carbonization were indicated. A total of 22 species were analyzed, divided into three groups: Brazilian natives (12 species), *Eucalyptus sp* (7) and Bambu (3). After comparing the 22 species, it is possible to observe the great potential of some native species of Brazil and Bambu, similar to the known potential of the species of *Eucalyptus sp*. Due to the greater study and genetic improvement, *Eucalyptus sp* species were the ones that presented the best results regarding the characteristics, especially *Eucalyptus pellita* and *Eucalyptus grandis*. It is very important to inform that the highlights of the native species of Brazil were: Angico-Branco and Tamboril, and for the Bambu species: *Bambusa tuldoides* Munro, so they deserve a more in-depth study of their energetic potentials through carbonization.

Keywords: Comparison. Energy Potential. Forest species.

1. INTRODUÇÃO

1.1 Contextualização

Existe uma preocupação sobre o futuro do carvão vegetal, onde sua produção em larga escala se limita basicamente às espécies de *Eucalyptus sp* e *Pinus sp*. Mesmo que estes dois grupos possuam diversas espécies e que o nível de estudo e melhoramento genético seja alto, não podemos descartar qualquer adversidade no futuro pela falta de diversificação de espécies florestais de outros gêneros, famílias, voltados à produção de carvão. Pouquíssimos estudos e pesquisas são realizados com o propósito de criar alternativas com as demais espécies florestais, onde há muita diversidade, especificamente no Brasil.

O carvão vegetal é proveniente da queima parcial da madeira. Na era primitiva, o homem utilizava pedaços de madeira em chamas para iluminar as cavernas ou aquecer-se (JUVILLAR, 1980). Com o passar do tempo, percebeu-se que a madeira parcialmente queimada (carvão), gerava calor de forma mais controlável e não produzia chamas se comparado à queima direta da madeira.

Após vários séculos, mesmo com a competição dos combustíveis fósseis no mercado, o carvão vegetal continuou sendo utilizado como fonte energética em diversas atividades, principalmente em regiões menos desenvolvidas, como os países subdesenvolvidos, por ser uma fonte de energia com matéria-prima em grande abundância e com um procedimento simples e barato (GUARDABASSI, 2006).

Segundo Cintra (2009), uma série de questionamentos em relação ao abastecimento energético e ao equilíbrio ambiental e econômico começam a surgir pelo excesso de consumo de energia, através dos combustíveis fósseis. Há uma busca mundial por novas fontes energéticas alternativas, que minimizem esses problemas, intensificando o uso de fontes renováveis. Mesmo não sendo uma fonte de energia inovadora, o carvão vegetal retorna ao cenário energético como fonte de energia limpa e renovável, mas com novas tecnologias, que consegue aproveitar um maior percentual da matéria-prima, diminuindo as perdas e aproveitando os gases formados no processo como fonte de energia extra.

Mesmo para alguns países que possuem outras fontes energéticas renováveis, como é o caso do Brasil, o carvão vegetal é muito importante

tecnologicamente. No setor industrial, o ferro-gusa, o aço e ferro-ligas são os principais consumidores do carvão vegetal, que funciona como redutor do minério e energético ao mesmo tempo.

1.2 Objetivos

O objetivo do trabalho é realizar uma comparação entre espécies florestais, apresentando dados comprovados através da literatura científica, àquelas em destaque com as características desejáveis para produção de carvão. Assim, de posse dos resultados, verificar se algumas das espécies Nativas do Brasil e de Bambu têm potencial desejável para carbonização. Com isso, podem-se listar aquelas em destaque para um eventual estudo e melhoramento genético no futuro.

1.3 Fundamentação teórica

1.3.1 Espécies nativas do Brasil

De acordo com Brito (1990), a disponibilidade de material lenhoso proveniente de florestas nativas permitiu o desenvolvimento da siderurgia a carvão vegetal. Isso aconteceu, porque houve grande desmatamento para abertura das fronteiras agrícolas, pois nas décadas de 70 e 80, o Brasil começou a exportar maior quantidade de *Commodities*. Por meio desses desmatamentos, o material lenhoso gerado que seria queimado, foi transformado em carvão vegetal.

A madeira de espécies nativas é muito utilizada no Brasil para fins energéticos, grande parte de forma predatória e sem orientação técnica. Os últimos dados da Embrapa encontrados na literatura sobre a carbonização de espécies florestais nativas do Brasil informam que no ano de 2007 cerca de 50% da matéria-prima destinada à produção de carvão vegetal eram oriundos de matas nativas. Poucos estudos descrevem as características importantes das espécies nativas para a carbonização, até mesmo pela grande diversidade da flora presente no país. Estes estudos proporcionariam um maior conhecimento das espécies nativas com potencial de carbonização e, através de plantios ordenados e do manejo florestal, um maior rendimento volumétrico final.

Maraboto et al. (1989) estudou o poder calorífico e teor de cinzas e sílica de dez espécies da Amazônia brasileira e peruana, das quais três espécies se destacaram pelos altos rendimentos de carvão, foram: *Aspidosperma obscurinervium* (Azambuja), *Apuleia mollaris* (Pau-Amarelo) e *Maquira coreaceae*

(Muiratinga). Andrade et al. (1998) relata sobre o potencial de produção de carvão de oito espécies e demonstrou que a *Astronium urundeuva* (Aroeira), a *Piptadenia gonocantha* (Pau-Jacaré) e a *Piptadenia peregrina* (Angico-branco) se destacaram pelas suas altas densidades básicas e baixo teor de cinzas. Vale (2002) destacou três espécies do cerrado que se sobressaíram quanto à densidade, poder calorífico superior, valores médios de carbono fixo e baixos valores de cinzas: *Sclerolobium paniculatum*, *Pterodon pubescens* e *Dalbergia miscolobium*.

No estudo de produção de biomassa para energia de 23 espécies com cinco anos de idade, realizado pela Companhia Paranaense de Energia – COPEL (SILVA; REICHMANN NETO; TOMASELLI, 1983), a espécie que apresentou maior poder calorífico foi a *Parapiptadenia rígida* (Angico-Vermelho) (5.324 kcal/kg), porém as espécies nativas que apresentaram bom potencial de desenvolvimento silvicultural quanto à produção de biomassa energética foram: a *Casuarina equisetifolia* (Casuarina), a *Mimosa scabrella* (Bracatinga), a *Gmelina arbórea* (Gamelina) e a *Centrolobium tomentosum* (Araribá).

Paula (2005), através da caracterização anatômica da madeira de espécies nativas do cerrado, selecionou as espécies *Lindackeria paraensis* (Farinha-seca), *Parkia platycephala* (Faveira), *Platonia insignis* (Bacuri), *Salvertia convallariodora* (Folha-Larga), *Swartzia flaemingii* (Jacarandá), *Vataifrea macrocarpa* (Amargoso) e *Zeyhera tuberculata* (Pau-d'arco-cabeludo), as quais apresentaram bom potencial para geração de energia segundo as características de fração parede das fibras, percentual de fibras, raios, parênquima axial, biomassa total por m³ de madeira seca e densidade básica da madeira.

Oliveira et al. (2006) estudando a madeira da *Mimosa tenuiflora* (Willd.) Poir., uma espécie nativa que tem boa ocorrência no estado da Paraíba, observou que a espécie apresentou bom potencial para a produção de carvão vegetal, no qual o rendimento foi de quase 40%.

Brito e Barrichelo (1981) estudaram o comportamento na destilação seca da madeira de 67 espécies amazônicas e concluíram que, de um modo geral, as madeiras da Amazônia podem ser consideradas bastantes aptas à produção de carvão vegetal.

1.2.2 *Eucalyptus*

O *Eucalyptus* é um importante gênero fornecedor de matéria-prima para diversas finalidades industriais, o que está diretamente relacionado à grande variabilidade da qualidade da madeira das suas diversas espécies/clones. Várias dessas espécies se adaptaram muito bem às condições edafoclimáticas do Brasil e passaram a serem importantes fornecedoras de matérias-primas para a produção de lenha, carvão vegetal, celulose e papel (BRITO et al. 1983).

O Brasil é o maior produtor mundial de carvão vegetal da espécie *Eucalyptus*, abastecendo os setores de aço, ferro-gusa e ferro-ligas e, em menor escala, o comércio e o consumidor residencial. O Estado de Minas Gerais se destaca como maior produtor e consumidor, pois possui o maior parque siderúrgico a carvão vegetal e a maior área plantada com eucalipto no Brasil. O carvão vegetal apresenta ainda inúmeras vantagens em relação ao carvão mineral. É renovável, menos poluente (tem baixo teor de cinzas), praticamente isento de enxofre/fósforo e a tecnologia para a sua fabricação já está amplamente consolidada no Brasil (ABRAF, 2011).

A produção e qualidade do carvão são influenciadas pela madeira e pelo sistema adotado na transformação. Característica como o incremento volumétrico da árvore pode influenciar significativamente a produção, uma vez que afeta diretamente a quantidade de massa seca produzida pelo indivíduo. Além disso, a composição química, principalmente o alto teor de lignina, aliada à elevada densidade básica da madeira, contribuem de forma positiva para o rendimento em carvão vegetal (TRUGILHO et al., 1997).

Segundo Trugilho et al. (1997), as madeiras que apresentam alta densidade básica, baixo teor de cinzas, alto teor de lignina e que possuam fibras de parede celular mais espessa e de menor largura são responsáveis pela qualidade e rendimento do carvão vegetal. Essas características podem ser consideradas como índices de qualidade da madeira para a produção de carvão vegetal.

1.2.3 Bambu

Geograficamente, as espécies de bambu são encontradas nas áreas tropicais, subtropicais e temperadas, com exceção da Europa, onde não há espécies nativas. A área total ocupada por bambus (nativo e plantado) no mundo é de

aproximadamente 36 milhões de hectares, o que representa cerca de 3% da área total de florestas (CHAOWANA, 2013).

O Brasil conta com a maior diversidade e o mais alto índice de florestas com endemismo de bambu em toda América Latina, representando 32%, possuindo 137 espécies, sendo que os Estados de São Paulo, Minas Gerais, Santa Catarina, Bahia e Paraná possuem a maior diversidade (LONDOÑO, 1999).

O bambu possui um acelerado crescimento, onde algumas espécies se destacam por apresentarem as maiores taxas de crescimento dentre os vegetais de porte arbóreo. Além disso, possui elevada capacidade de ocupação dos solos marginais e erodidos, visto que por se tratar de uma gramínea, o bambu é pouco exigente em relação ao solo e clima, sendo também bastante resistente à altitude e temperatura, podendo ocupar terras marginais, não sustentáveis para a agricultura ou floresta (Oliveira, 2006).

No Brasil, em contrapartida aos países orientais, que há décadas produzem e conhecem as propriedades do carvão de bambu, ainda são poucas as iniciativas no país, apesar de muitas pesquisas já terem sido desenvolvidas para a produção de carvão como biomassa (PRESZNHUK, 2004). Deve-se investir mais em pesquisas aplicadas para incorporar o uso de carvão de bambu em nossa cultura, pois há muito potencial das espécies. (MANHÃES, 2008). Não há dados sólidos referentes aos seus recursos, produção e comércio, o que impede seu desenvolvimento e limita seu potencial de mercado.

No país, que ocupa posição de destaque no setor de energia a partir da biomassa, o bambu poderá ser uma importante alternativa como fonte de matéria-prima renovável. O bambu tem grande potencial de se tornar uma alternativa para produção de carvão vegetal devido a suas semelhanças com madeiras comumente utilizadas para esse fim (BRITO et al., 1987). As espécies de bambu se destacam pela possibilidade da utilização dos seus colmos para geração de energia neste cenário de utilização de biomassa na geração de energia.

1.4 Justificativa

O Brasil é o maior produtor de carvão vegetal do mundo, limitando-se, na grande maioria, ao plantio e à produção das espécies de *Eucalyptus sp* e de *Pinus sp*. Assim, idealizando um cenário futuro, onde a produção de carvão vegetal no Brasil em larga escala seja oriunda de florestas plantadas, o presente trabalho

abordará sobre algumas espécies florestais alternativas, avaliando-as quanto ao potencial energético do carvão vegetal e indicar aquelas de destaque para estudo e melhoramento genético futuro, sendo que para isso serão utilizadas pesquisas à literatura científica específica.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Para o início do trabalho foram realizadas pesquisas em sites como: Scielo, Periódicos Capes, Google, a fim de buscar embasamentos teóricos e definir os trabalhos base, onde seriam extraídos os dados quanto o potencial de produção de carvão de cada categoria de espécies florestais: Nativas do Brasil, *Eucalyptus sp* e Bambu.

Encontrou-se muito pouco sobre as informações da carbonização de espécies Nativas do Brasil e espécies de Bambu, mostrando escassez nas pesquisas e nos trabalhos sobre o assunto. Assim, ficou definido que:

- 1) “Avaliações energéticas de espécies florestais nativas plantadas na região do Médio Paranapanema, SP. Cintra, 2009” será a base de dados para espécies florestais Nativas do Brasil;
- 2) “Potencial energético de sete materiais genéticos de *Eucalyptus* cultivados no Estado do Rio de Janeiro. Júnior et al., 2015” será a base de dados para espécies de *Eucalyptus sp*;
- 3) “Propriedades energéticas da biomassa e do carvão vegetal de espécies de bambu e clones de eucalipto. Silva, 2016” será a base de dados para as espécies de Bambu.

Como critério de escolha dos trabalhos por tipo de espécie florestal, foi definido aqueles que apresentaram informações como: Teor de Carbono Fixo (CF), Teor de Material Volátil (MV), Teor de Cinza (CZ) e Poder Calorífico Superior (PCS) e, que definem se a espécie tem as características desejáveis para a produção de carvão vegetal. Os locais de plantio das espécies foram diferentes, mas se assemelham quanto às características edafoclimáticas.

As espécies serão classificadas da melhor para a pior através de tabelas indicativas. Posteriormente, serão avaliadas àquelas que se destacaram.

2.1 Espécies Nativas do Brasil

(Fonte: Avaliações energéticas de espécies florestais nativas plantadas na região do Médio Paranapanema, SP.Cintra, 2009.)

Para apresentar informações com um número maior de espécies florestais diferentes e representando os Biomas mais importantes, escolheu-se o trabalho de Cintra (2009). Houve a análise de 12 espécies florestais Nativas do Brasil quanto às suas capacidades energéticas. São elas: *Acacia polyphylla* (Monjoleiro), *Anadenanthera falcata* (Angico-branco), *Anadenanthera macrocarpa* (Angico-vermelho), *Croton floribundus* (Capixingui), *Cytherexylum myrianthum* (Pau-viola), *Enterolobium contortisiliquum* (Tamboril), *Heliocarpus popayanensis* (Algodoeiro), *Inga uruguensis* (Ingá), *Myracrodruon urundeuva* (Aroeira), *Peltophorum dubium* (Canafístula), *Terminalia glabrenses* (Mirindiba) e *Zanthoxylum rhoifolium* (Mamica-de-porca). As árvores possuíam entre 6 a 8 anos de idade, espaçamento de 3 m x 2 m e foram cultivadas em Assis, interior do Estado de São Paulo (altitude de 546 metros em relação ao nível do mar, temperatura média de 21,3 °C e precipitação média anual de 1.491,5 mm).

A tabela abaixo representa o Bioma que cada espécie analisada é encontrada no Brasil, mostrando que algumas estão presentes em todo território nacional.

Tabela 1: Lista das espécies florestais nativas de acordo com o bioma.

Espécies	BIOMA			
	Amazônia	Caatinga	Cerrado	Mata Atlântica
Monjoleiro	X		X	X
Angico-branco			X	
Angico-vermelho				X
Capixingui			X	X
Pau-viola				X
Tamboril	X		X	X
Algodoeiro				X
Ingá	X			X
Aroeira		X	X	
Canafístula			X	X
Mirindiba	X	X	X	X
Mamica-de-porca	X	X	X	X

Para obter os dados informativos sobre o potencial energético do carvão vegetal de cada espécie, Cintra (2009) coletou e enviou o material ao Laboratório de Química, Celulose e Energia (LQCE), do Departamento de Ciências Florestais - ESALQ/USP para efetuar as análises: Análise Imediata do carvão vegetal e Poder Calorífico Superior. Com o resultado da análise realizada pela ESALQ/USP, as espécies serão avaliadas e, através de comparação dos resultados, serão classificadas.

2.2 Espécies de *Eucalyptus*

(Fonte: Potencial energético de sete materiais genéticos de *Eucalyptus* cultivados no Estado do Rio de Janeiro. Júnior et al., 2015.)

Para análise do material genético de *Eucalyptus sp*, utilizou-se como base o trabalho de Junior et al. (2015), onde este selecionou 7 (sete) espécies diferentes para medição do potencial energético depois da carbonização da madeira. Foram elas: *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus pellita*, *Eucalyptus saligna*, *Eucalyptus urophylla*, *Eucalyptus urograndis*, Clone Amarelo – *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* e Clone Branco – *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*. Todas possuíam 7 anos de idade, o espaçamento adotado foi o 3 m x 2 m, o cultivo ocorreu na cidade de Paty dos Alferes, interior do Estado do Rio de Janeiro (altitude de 706 metros em relação ao nível do mar, temperatura média de 20 °C e precipitação média anual de 1.677 mm).

Após o abate das árvores, o autor coletou e enviou o material ao Laboratório de Energia da Madeira do Departamento de Produtos Florestais, no Instituto de Florestas da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro para realizar as seguintes análises: Análise química imediata e determinação do poder calorífico do carvão vegetal. Com o resultado, as espécies serão classificadas quanto ao potencial de energético do carvão vegetal.

2.3 Espécies de Bambu

(Fonte: Propriedades energéticas da biomassa e do carvão vegetal de espécies de bambu e clones de eucalipto. Silva, 2016.)

Para análise das espécies de Bambu, foram retiradas as informações do trabalho “*Propriedades energéticas da biomassa e do carvão vegetal de espécies de*

bambu e clones de eucalipto”, cujo autor selecionou três espécies de dois gêneros: *Bambusa vulgaris* Schrad. ex J.C.Wendl, *Dencrocalamus asper* e *Bambusa tuldoides* Munro. O local de coleta foi o município de Goiânia, capital do Estado de Goiás. O local possui uma altitude de 749 metros em relação ao nível do mar, temperatura média de 23,2 °C e precipitação média anual de 1.570 mm.

O autor informou que foram selecionados e coletados colmos maduros das três espécies. Posteriormente, já em laboratório, o material passou por procedimentos de moagem até finalizar pela carbonização. Assim, pode-se determinar o Teor de Carbono Fixo e o Poder Calorífico Superior. Com o resultado, as espécies poderão ser classificadas quanto ao potencial energético.

3. RESULTADO E DISCUSSÃO

Os resultados, apresentados abaixo, foram retirados das análises presentes nos trabalhos base de cada grupo, como citado no item nº 2.

3.1 Teor de Carbono Fixo

Na tabela 2, encontra-se o resultado da comparação das 22 espécies quanto ao Teor de Carbono Fixo (CF) encontrado no carvão vegetal. Quanto maior o CF, melhor qualidade possui o carvão vegetal.

Tabela 2: Classificação das espécies florestais quanto ao Teor de Carbono Fixo.

Espécies	CF (%)
<i>Eucalyptus pellita</i>	89,0 ^a
<i>Eucalyptus urophylla</i>	88,5 ^a
<i>Eucalyptus urograndis</i>	88,0 ^a
Clone Amarelo – <i>Eucalyptus urophylla</i> x <i>Eucalyptus grandis</i>	87,0 ^a
<i>Eucalyptus saligna</i>	86,0 ^a
<i>Eucalyptus grandis</i>	86,0 ^a
Clone Branco – <i>Eucalyptus urophylla</i> x <i>Eucalyptus grandis</i>	85,0 ^b
<i>Bambusa tuldoides</i> Munro	23,0 ^a
<i>Dencrocalamus asper</i>	22,8 ^{ab}
<i>Bambusa vulgaris</i> Schrad.	21,8 ^b
Angico-branco	19,6 ^a
Pau-viola	17,5 ^{ab}
Tamboril	17,3 ^{ab}
Angico-vermelho	17,2 ^{ab}
Capixingui	16,7 ^{ab}
Ingá	16,7 ^{ab}
Algodoeiro	16,1 ^{ab}
Canafístula	16,0 ^{ab}
Monjoleiro	15,7 ^{ab}
Aroeira	15,3 ^{ab}
Mirindiba	14,6 ^b
Mamica-de-porca	14,4 ^b

Em que: Rosa: Nativas do Brasil; Cinza: *Eucalyptus*; Verde: Bambu. Médias seguidas pela mesma letra, com a mesma cor de marcação, não diferem entre si a 5% de significância pelo teste Tukey.

Nota-se pela tabela 2, que as espécies de *Eucalyptus* se destacam no CF e possuem resultados que não diferem entre si, exceto o “Clone Branco”. Comparadas com as espécies Nativas do Brasil e Bambu, o resultado mostra que as espécies de *Eucalyptus* são muito superiores às demais. Dentre as espécies de bambu, há destaque para *Bambusa tuldoides* Munro. As espécies Nativas do Brasil apresentaram o pior resultado e não se diferem em 9 espécies, tendo seu melhor resultado com a espécie “Angico-branco”.

3.2 Teor de Material Volátil

Na tabela 3, as 22 espécies florestais são comparadas e classificadas quanto ao Material Volátil (MV). Como característica de qualidade, quanto menor a porcentagem de MV, melhor o carvão vegetal.

Tabela 3: Classificação das espécies florestais quanto ao Material Volátil.

Espécies	MV (%)
Clone Branco – <i>Eucalyptus urophylla</i> x <i>Eucalyptus grandis</i>	19,23 ^b
<i>Eucalyptus urograndis</i>	20,52 ^{ab}
Clone Amarelo – <i>Eucalyptus urophylla</i> x <i>Eucalyptus grandis</i>	21,36 ^a
<i>Eucalyptus urophylla</i>	21,45 ^a
<i>Eucalyptus pellita</i>	21,51 ^a
<i>Eucalyptus grandis</i>	21,84 ^a
<i>Eucalyptus saligna</i>	22,23 ^a
<i>Dencrocalamus asper</i>	74,7 ^a
<i>Bambusa tuldoides</i> Munro	75,0 ^a
<i>Bambusa vulgaris</i> Schrad.	75,2 ^a
Angico-branco	79,5 ^a
Angico-vermelho	80,1 ^a
Algodoeiro	80,4 ^a
Pau-viola	80,5 ^a
Ingá	81,7 ^a
Tamboril	81,8 ^a
Capixingui	82,1 ^a
Canafístula	83,0 ^a
Aroeira	83,3 ^a
Mamica-de-porca	84,7 ^a
Mirindiba	84,9 ^a
Monjoleiro	87,2 ^a

Em que: Rosa: Nativas do Brasil; Cinza: *Eucalyptus*; Verde: Bambu. Médias seguidas pela mesma letra, com a mesma cor de marcação, não diferem entre si a 5% de significância pelo teste Tukey.

Observa-se, que na classificação quanto o MV, as espécies de cada grupo, não se diferem entre si, exceto nas espécies de *Eucalyptus*, pois o *Eucalyptus urograndis* e “Clone Branco” possuem as menores porcentagens de material volátil comparado às demais. Novamente, como ocorreu nos resultados da análise do Teor de Carbono Fixo, as espécies de Bambu foram superiores as espécies Nativas do Brasil.

3.3 Teor de Cinzas

A tabela 4 apresenta os resultados quanto ao Teor de Cinzas (CZ) das 22 espécies florestais analisadas. Quanto menor o CZ, melhor a qualidade do carvão.

Tabela 4: Classificação das espécies florestais quanto ao Teor de Cinzas.

Espécies	CZ (%)
Mirindiba	0,46 ^c
Tamboril	0,88 ^{bc}
Angico-branco	0,90 ^{bc}
Mamica-de-porca	0,91 ^{bc}
Canafístula	1,05 ^{bc}
Angico-vermelho	1,13 ^{bc}
Capixingui	1,26 ^{bc}
Aroeira	1,41 ^{bc}
Clone Branco – <i>Eucalyptus urophylla</i> x <i>Eucalyptus grandis</i>	1,45 ^c
<i>Eucalyptus grandis</i>	1,54 ^b
<i>Eucalyptus urophylla</i>	1,59 ^b
Monjoleiro	1,60 ^{bc}
Ingá	1,66 ^{bc}
<i>Eucalyptus urograndis</i>	1,73 ^{ab}
<i>Eucalyptus saligna</i>	1,77 ^{ab}
<i>Eucalyptus pellita</i>	1,95 ^{ab}
Pau-viola	2,04 ^{ab}
Clone Amarelo – <i>Eucalyptus urophylla</i> x <i>Eucalyptus grandis</i>	2,09 ^a
<i>Bambusa tuldoides</i> Munro	2,1 ^b
<i>Dencrocalamus asper</i>	2,5 ^{ab}
<i>Bambusa vulgaris</i> Schrad.	3,0 ^a
Algodoeiro	3,49 ^a

Em que: Rosa: Nativas do Brasil; Cinza: *Eucalyptus*; Verde: Bambu. Médias seguidas pela mesma letra, com a mesma cor de marcação, não diferem entre si a 5% de significância pelo teste Tukey.

Observa-se que a análise CZ mostra algumas variações entre os grupos. As espécies Nativas do Brasil apresentaram as menores porcentagens, mas também a maior com a *Heliocarpus popayanensis*, com 3,49%. As espécies de bambu apresentaram resultados distintos entre si e um percentual alto, se comparadas à maioria espécies.

3.4 Poder Calorífico Superior

A tabela 5 apresentará a classificação quanto ao Poder Calorífico Superior, que é um dos elementos mais importantes na qualidade do carvão. Quanto maior seu valor, melhor será o carvão vegetal.

Tabela 5: Classificação das espécies florestais quanto ao Poder Calorífico Superior

Espécies	PCS (Kcal*kg ⁻¹)
<i>Eucalyptus pellita</i>	7.554 ^a
<i>Eucalyptus grandis</i>	7.487 ^a
<i>Eucalyptus urophylla</i>	7.454 ^{ab}
Clone Amarelo	7.316 ^{abc}
<i>Eucalyptus urograndis</i>	7.252 ^{abc}
<i>Eucalyptus saligna</i>	7.014 ^{bc}
Clone Branco	6.917 ^c
Canafístula	4.769 ^a
Capixingui	4.765 ^a
Ingá	4.757 ^a
Tamboril	4.753 ^a
Angico-branco	4.744 ^a
Mamica-de-porca	4.702 ^{ab}
Mirindiba	4.686 ^{abc}
Angico-vermelho	4.665 ^{abc}
<i>Dencrocalamus asper</i>	4.662,9 ^a
Monjoleiro	4.612 ^{bcd}
Aroeira	4.590 ^{bcd}
Pau-viola	4.583 ^{cd}
<i>Bambusa tuldoides</i> Munro	4.526,2 ^a
<i>Bambusa vulgaris</i> Schrad.	4.515,1 ^a
Algodoeiro	4.511 ^d

Em que: Rosa: Nativas do Brasil; Cinza: *Eucalyptus*; Verde: Bambu. Médias seguidas pela mesma letra, com a mesma cor de marcação, não diferem entre si a 5% de significância pelo teste Tukey.

O resultado aponta o domínio das espécies de *Eucalyptus*, onde apresentaram os melhores números e, conseqüentemente, a melhor qualidade do carvão neste quesito. As espécies Nativas do Brasil obtiveram um resultado, no geral, melhor que as espécies de Bambu, com destaque para Canafístula, Capixingui, Ingá, Tamboril, Angico-branco.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base nos resultados apresentados, pode-se concluir que:

- As espécies Nativas do Brasil se destacaram na classificação pelo baixo Teor de Cinzas e obtiveram o menor índice entre as avaliadas, destaque para a espécie Mirindiba (*Terminalia glabrenses*) com menor índice. Negativamente, as espécies Pau-Viola (*Cytharexylum myrianthum*) e Algodoeiro (*Heliocarpus popayanensis*) obtiveram o maior percentual;

- b) No comparativo entre as 22 espécies florestais, as espécies de *Eucalyptus* apresentaram as características desejáveis para a produção de carvão vegetal, pois se sobressaíram nas análises de Teor de Carbono Fixo e Poder Calorífico Superior, com destaque para as espécies *Eucalyptus pellita* e *Eucalyptus grandis*;
- c) As espécies de Bambu se destacaram na avaliação do Teor de Carbono Fixo, Teor de Material Volátil em relação às espécies Nativas do Brasil, obtendo valores superiores, indicando um potencial maior para a produção de carvão vegetal. Já na avaliação Poder Calorífico Superior, os valores apresentados pelas as espécies de Bambu não se diferem entre si e, numericamente, se equivalem aos resultados obtidos pelas espécies Nativas do Brasil.
- d) Objetivando realizar uma comparação entre espécies Nativas do Brasil, espécies de *Eucalyptus* e espécies de Bambu, a primeira e a última se encontram muito atrás das espécies de *Eucalyptus*, isso ao grande trabalho realizado há anos nos estudos e nos melhoramentos genéticos da espécie de origem australiana. Notou-se uma superioridade muito grande nos itens de avaliação da qualidade do carvão vegetal, que são o Teor de Carbono Fixo e Poder Calorífico Superior, a ponto de inviabilizar, pelos resultados apresentados, a carbonização das espécies Nativas do Brasil e espécies de Bambu, em se tratando dos valores apresentados no trabalho;
- e) Há potencial futuro para produção de carvão vegetal das espécies: Angico-branco (*Anadenanthera falcata*), Tamboril (*Enterolobium contortisiliquum*), por parte das espécies Nativas do Brasil, e *Bambusa tuldoides* Munro, por parte das espécies de Bambu. Recomenda-se a intensificação das pesquisas científicas para um estudo mais completo, visando um melhoramento genético das espécies. Assim, buscam-se alternativas de espécies florestais para a produção de carvão vegetal, dando opções aos produtores, além dos *Pinus sp* e *Eucalyptus sp*.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8112: carvão vegetal - análise imediata**. Rio de Janeiro, 1986. 5p.
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8633: carvão vegetal - determinação do poder calorífico**. Rio de Janeiro, 1984. 13 p.

- ABNT - ASSOCIAÇÃO brasileira de Normas Técnicas. **NBR 11941: madeira – Determinação da densidade básica**. Rio de Janeiro, 2003.
- ANDRADE, A. M.; CARVALHO, L.M. **Potencialidades energéticas de oito espécies florestais do estado do Rio de Janeiro**. Floresta e Ambiente, Rio de Janeiro, v. 5, n. 1, p. 24-42, jan./dez. 1998.
- ANDRADE, A. M. **Efeito da fertilização mineral e da calagem na produção e na qualidade da madeira e do carvão de eucalipto**. 1993. 105 p. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1993.
- ANUÁRIO estatístico da ABRAF 2011: ano base 2010**. Brasília, DF: ABRAF, 2011. 130 p.
- ARANTES, M. D. C; TRUGILHO, P. F.; DA SILVA, J. R. M.; ANDRADE, C. R. **Características do carvão de um clone de *Eucalyptus grandis* W. Hill exMaiden x *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake**. Cerne, Lavras, v. 19, n. 3, p. 423-431, jul/set. 2013.
- ASSIS, M. R.; PROTÁSIO, T. P.; ASSIS, C. O.; TRUGILHO, P.F.; SANTANA, W. M. S. **Qualidade e rendimento do carvão vegetal de um clone híbrido de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla***. Pesquisa Florestal Brasileira, Colombo, v.32, n. 71, p.291-302, jul/set. 2012.
- BRITO, J.O. **O Uso Energético da Madeira**, Estudos Avançados 21 (59), 2007.
- BRITO, J. O. **Carvão vegetal no Brasil: gestões econômicas e ambientais**. Publicado originalmente em São Paulo Energia, nº 64 maio/junho de 1990.
- BRITO, J. O.; TOMAZELLO FILHO, M.; SALGADO, A. L. B. **Produção e caracterização do carvão vegetal de espécies e variedades de bambu**. IPEF, Piracicaba, n. 36, p. 13-17, 1987.
- BRITO, J. O. et al. **Análise da produção energética e de carvão vegetal de espécies de eucalipto**. Boletim do Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais, Piracicaba, n. 23, p. 53-56, abr. 1983.
- BRITO, J.O; BARRCHELO, L.E.G. **Considerações sobre a produção de carvão vegetal com madeira da Amazônia**. Série Técnica IPEF, Piracicaba, v. 2, n. 5, p. 1-27, mar.1981.
- CINTRA¹, T. C. **Avaliações energéticas de espécies florestais nativas plantadas na região do Médio Paranapanema, SP**. 2009. 84 p. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba 2009.

- CHAOWANA, P. **Bamboo: An Alternative Raw Material for Wood and Wood-Based Composites**. Journal of Materials Science Research; v. 2, p. 90-102, 2013.
- EMBRAPA. **Panorama atual da produção de carvão vegetal no Brasil e no Cerrado** – Planaltina, DF : Embrapa Cerrados, 2007. 37 p.
- Ferraz, I. D.K.; Filho, N. L.; Imakawa. A. M.; Varela, V. P., Fátima. C. M. Piña-Rodrigues, F. C. M. **Características básicas para um agrupamento ecológico preliminar de espécies madeireiras da floresta de terra firme da Amazônia Central**. Acta Amaz. vol.34 nº.4, Manaus Oct./Dec. 2004.
- GUARDABASSI, P. M. **Sustentabilidade da biomassa como fonte de energia : perspectivas para países em desenvolvimento**. 2006. 132 f. Dissertação (Mestrado em Energia)-Universidade São Paulo, São Paulo, 2006.
- JÚNIOR², A. F. D.; ANDRADE, A. M.; SOARES, V. W.; JÚNIOR, D. S. C.; FERREIRA, D. H. A. A.; LELES, P. S. S. **Potencial energético de sete materiais genéticos de *Eucalyptus* cultivados no Estado do Rio de Janeiro**. p. 833-843. Piracicaba, dez. 2015.
- JUVILLAR, J. B. **Tecnologias da transformação da madeira em carvão vegetal**. In: PENEDO, W. R. (Comp.). **Uso da madeira para fins energéticos**. Belo Horizonte: CETEC, 1980. 158 p.
- LONDOÑO, X. **Evaluation of Bamboo Resources in Latin America**. A Summary of the Final Report of Project – International Network for Bamboo and Rattan, 1999. 29p.
- MANHÃES, A. P. **Caracterização da cadeia produtiva do bambu no Brasil: abordagem preliminar**. 2008. 39f. Monografia (Graduação em Agronomia) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2008.
- MARABOTO, M.T.; CUNHA, M.P.S.C.; PONTES, C.L.F.; CRUZ, I.A.; CUNHA,Z.B. **Poder calorífico e pirólise de dez espécies florestais da Amazônia brasileira - peruana**. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 3., São Carlos, 1989. Anais... São Carlos: EESC; LaMEN, 1989. v. 3, p. 7-28.
- NEVES, T. A.; PROTÁSIO, T. P.; COUTO, A. M.; TRUGILHO, P. F.; SILVA, V. O.; VIEIRA, C. M. M. **Avaliação de clones de *Eucalyptus* em diferentes locais visando à produção de carvão vegetal**. 12p. Lavras, 2011.
- OLIVEIRA, E.; VITAL, B.R.; PIMENTA, A.S.; DELLA LUCIA, R.M.; LADEIRA A.M.M.; CARNEIRO A.C.O. **Estrutura anatômica da madeira e qualidade do carvão de**

Mimosa tenuiflora (Willd.) Poir. Revista *Árvore*, Viçosa, v. 30, n. 2, p. 311-318, 2006.

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

PAULA, J.E. **Caracterização anatômica da madeira de espécies nativas do cerrado, visando sua utilização na produção de energia.** *Cerne*, Lavras, v. 11, n. 1, p. 90-100, jan./mar. 2005.

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

SILVA³, M. F. **Propriedades energéticas da biomassa e do carvão vegetal de espécies de bambu e clones de eucalipto** [manuscrito]. 2016. 69f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Goiás, Escola de Agronomia, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Goiânia, 2016.

SILVA, L.B.X.; REICHMANN, F.; TOMASELLI, I. **Estudo comparativo da produção de biomassa para energia entre 23 espécies florestais.** *Silvicultura*, São Paulo, v. 8, n. 28, p. 872-878, 1983.

SOARES, V. C.; BIANCHI, M. L.; TRUGILHO, P. F.; HÖFLER, J.; PEREIRA, A. J. **Análise das propriedades da madeira e do carvão vegetal de híbridos de eucalipto em três idades.** *Cerne*, v. 21, n. 2, p. 191-197, 2015.

TRUGILHO, P. F.; VITAL, B.R.; REGAZZI, A. J.; GOMIDE, J. L. **Aplicação da análise de correlação canônica na identificação de índices de qualidade da madeira de eucalipto para a produção de carvão vegetal.** *Revista Árvore*, Viçosa, MG, v. 21, n. 2, p. 259-267, 1997.

VALE, A.T.; BRASIL, M.A.M.; LEÃO, A.L. **Qualificação e caracterização energética da madeira e casca de espécies do cerrado.** *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 12, n. 1, p. 71-80, 2002.