



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE FLORESTAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL

ANANIAS FRANCISCO DIAS JÚNIOR

**CARACTERIZAÇÃO DE BRIQUETES PRODUZIDOS COM
RESÍDUOS AGROFLORESTAIS**

Orientador: Prof. Dr. Azarias Machado de Andrade

SEROPÉDICA, RJ
Agosto de 2013



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE FLORESTAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL

ANANIAS FRANCISCO DIAS JÚNIOR

**CARACTERIZAÇÃO DE BRIQUETES PRODUZIDOS COM
RESÍDUOS AGROFLORESTAIS**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Florestal, como requisito parcial para obtenção do Título de Engenheiro Florestal, Instituto de Florestas da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

Orientador: Prof. Dr. Azarias Machado de Andrade

Seropédica, RJ
Agosto de 2013

**CARACTERIZAÇÃO DE BRIQUETES PRODUZIDOS COM
RESÍDUOS AGROFLORESTAIS**

ANANIAS FRANCISCO DIAS JÚNIOR

Monografia aprovada em: 14/08/2013.

Comissão examinadora:

Orientador: _____
Professor Dr. Azarias Machado de Andrade
UFRRJ/IF/DPF

Titular: _____
Professor Dr. Acacio Geraldo de Carvalho
UFRRJ/IF/DPF

Titular: _____
Professor Dr. Edvá Oliveira Brito
UFRRJ/IF/DPF

DEDICATÓRIA

*“... à memória do meu pai Ananias;
à minha mãe Elena, fonte de carinho, dedicação
e amor incondicional, com eterna gratidão, dedico...”*

AGRADECIMENTOS

É com todo carinho e gratidão que venho agradecer por tudo isso, foi tudo e todos de muito valor.

À Deus pela vida e por todo o momento presente, permitindo-me chegar até aqui e por me tornar orgulhosamente Engenheiro Florestal.

À minha mãe Elena, símbolo de amor, humildade e luta para que eu sempre tivesse o melhor ensino, pelo apoio que sempre posso contar, por entender a minha ausência, por ter sempre e incansavelmente incentivado-me à arte da música, da leitura, por ser a maior admiração da vida, enfim, por tudo perfeito que fez e faz por mim até hoje....

Ao meu pai Ananias (*in memorian*) pelo seu nome a mim repassado e cujo seu exemplo me ensinou a ser um sobrevivente.

À minha irmã Arlene e meu sobrinho Luiz, pelos alegres momentos de diversão e descontração que me proporcionam sempre que retorno em casa.

Aos meu avô Luiz Tomaz, minha avó, Senhoria Duarte (*in memorian*) e Valeriano Moreira (Zica) meu irmão de jornada, pelo acolhimento e cuidados dispensados e por terem incentivado ao primeiro passo na Escola Agrotécnica.

À Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro por me fornecer ensino superior, condições para o meu aperfeiçoamento social, profissional e ter sido o meu lar nesses anos e onde através dos Programas de Iniciação Científica PROIC/UFRRJ e FAPERJ concedeu bolsas de auxílio financeiro nesses anos.

Ao meu orientador, mestre, amigo e professor Dr. Azarias Machado de Andrade, pela orientação, pelas lições de vida, por sempre estar com as portas abertas (inclusive aos fins de semana), pelas agradáveis conversas aos finais do expediente. De todas essas conversas, amizade e trabalho, só poderia gerar algo que não termina com a apresentação da monografia, mas que fica para toda a vida: o carinho ao mestre.

Ao professor Dr. Alexandre Monteiro de Carvalho, pela orientação nos dois anos de Iniciação e que quando deveria ser apenas professor foi mestre, quando deveria ser mestre foi amigo e nessa amizade sempre indicou o bom caminho com muita paciência e sabedoria.

Aos demais professores do Instituto de Florestas pelos conhecimentos, ética e esforços repassados com muita dedicação.

À banca examinadora, professores Dr. Acacio Geraldo de Carvalho e Dr. Edvá Oliveira Brito, verdadeiros paizões da vida que aceitaram o desafio e cujas sugestões farão enriquecer este trabalho.

À Universidade Federal de Campina Grande e à Fábrica de espetos Dona Maria Ltda. por ter cedido e enviado o material que possibilitou a execução deste trabalho.

À Turma 2008-II que fizeram destes anos tempos inesquecíveis para mim.

À Flora Jr, Empresa Júnior de Engenharia Florestal e companheiros pelas experiências e desafios vivenciados.

À todo pessoal do alojamento da UFRRJ, pela união consolidada, em especial ao quarto 423 do M4 que comigo residem Igor Brandão, Júlio Sacramento, Jairo Silva e Denilson Costa, Igor Juliano e Guilherme Rocha que nos momentos mais difíceis estiveram sempre presentes e nas horas vagas fizeram o ambiente muito divertido.

Aos meus muitos amigos, aos mais antigos e aos que aqui conheci, Sóstenes Moreira, Raymisson Mendes, Cléssio Gomes, Ernane Gomes, Graciane Siqueira, Jander Almeida, Hermes Soares, Ricardo Bixo, Pablo Vieira, Elias Mendes, Pedro Boi, Rodrigo Braga, Thales, Henos Knupler, Uelison Mateus, José Pace, Carla Figueroa, Carlos Pai, Weverton Fiona, Alan Verner entre muitos outros, que se fosse citar aqui não caberiam, foram muitos os momentos especiais vividos.

Ao amigo Erick Bitencourt (*in memoriam*) grande motivador para que optasse pela UFRRJ.

Aos meus bons amigos Vitor Werneck (Monster) e Djailson Jr e aos estagiários Rafael Eloy, Aline Fonseca e Marcela Pitarello, do Laboratório de Energia da Madeira, que relevaram parte do tempo para auxiliar e discutir a execução deste trabalho.

E finalmente a "Ela", Tamíres Partélli (Tatá), pela presença constante, mesmo quando distante, pela sensação que causa com sua paciência e serenidade, pelo carinho, por se tornar a melhor companhia, pelo exemplo de vida e de luta e, finalmente, por ser a pessoa com quem sempre desejo estar.

Agradeço a todos que fazem e fizeram parte da minha vida, de alguma forma vocês me ajudaram e incentivaram a minha jornada, obrigando-me a concluir que, por todos vocês, valeu a pena o sentimento do dever cumprido !!

Muito Obrigado!

RESUMO

O presente trabalho procurou caracterizar, sob os pontos de vista físico, mecânico, químico e térmico, briquetes produzidos com moinha de carvão vegetal e resíduos de bambu, sob diferentes formulações. A moinha de carvão foi obtida junto ao Departamento de Produtos Florestais, do Instituto de Florestas da UFRRJ. Os resíduos de bambu foram fornecidos por uma empresa produtora de espetos para churrasco, instalada no município de Nazaré da Mata, no Estado de Pernambuco. A produção dos briquetes e os ensaios físicos, químicos, e mecânicos foram realizados nos Laboratório de Energia da Madeira e no Laboratório de Propriedades Físico-Mecânicos do DPF/IF/UFRRJ. As formulações analisadas foram: 100% de moinha de carvão vegetal (T1), 80% de moinha de carvão vegetal e 20% de resíduos de bambu (T2), 60% de moinha de carvão vegetal e 40% de resíduos de bambu (T3), 50% de moinha de carvão vegetal e 50% de resíduos de bambu (T4), 40% de moinha de carvão vegetal e 60% de resíduos de bambu (T5), 20% de moinha de carvão vegetal e 80% de resíduos de bambu (T6) e 100% de resíduos de bambu (T7). Foram estimadas a densidade básica, massa específica aparente, umidade de equilíbrio e ritmo de degradação dos briquetes. A resistência mecânica dos briquetes foi avaliada com base em testes de compressão e de tamboramento. Os poderes caloríficos superior e inferior dos briquetes foram estimados a partir de equações ajustadas, utilizando-se como variáveis independentes os valores médios observados após a análise termogravimétrica dos mesmos. Foi possível concluir que os briquetes produzidos com as maiores porcentagens de moinha de carvão vegetal apresentaram maiores valores de densidade básica e aparente, resistência à queda e abrasão, teores de cinza e de carbono fixo. Em contrapartida, os briquetes com as maiores porcentagens de resíduos de bambu na composição, apresentaram degradação térmica mais rápida, maior resistência à compressão, além, de teor de matérias voláteis e poder calorífico mais elevados.

Palavras-chave: bambu, moinha de carvão, qualidade de briquetes.

ABSTRACT

The present research tried to characterize, under the point of view physicist, mechanic, chemical and energy, briquettes produced with fines of vegetable coal and bamboo residues, under different formulations. The fines of coal was obtained in Department of Forest Products close to, of the Forests Institute of UFRRJ. The bamboo residues were supplied by a company producing of spits for barbecue, installed in the municipal district of Nazareth of Mata, in the Pernambuco State. The production of the briquettes and the rehearsals physical, chemical, energy and mechanics were accomplished at the Laboratory of Energy of the Wood and in the Laboratory of Properties Physical-mechanical of DPF/IF/UFRRJ. The analyzed formulations were: 100% of fines of vegetable coal (T1), 80% of fines of vegetable coal and 20% of bamboo residues (T2), 60% of fines of vegetable coal and 40% of bamboo residues (T3), 50% of fines of vegetable coal and 50% of bamboo residues (T4), 40% of fines of vegetable coal and 60% of bamboo residues (T5), 20% of fines of vegetable coal and 80% of bamboo residues (T6) and 100% of bamboo residues (T7). They were dear the basic density, apparent specific mass, balance humidity and rhythm of degradation of the briquettes. The mechanical resistance of the briquettes was evaluated with base in compression tests and of compression and rotation test. The powers calorific superior and inferior of the briquettes were dear starting from adjusted equations, being used as independent variables the medium values observed after the analysis term gravimetric of the same ones. It was possible to conclude that the briquettes produced with the largest percentages of fines of vegetable coal present larger values of basic and apparent density, resistance to the fall and abrasion, ash tenors and of fixed carbon. In compensation, the briquettes with the largest percentages of bamboo residues in the composition present degradation faster, larger thermal resistance to the compression, beyond, of tenor of volatile matters and to can calorific higher.

Key words: bamboo, fines of charcoal, quality of briquettes.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	ix
LISTA DE TABELAS	x
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	2
2.1. Resíduos Agroflorestais	2
2.2. Processo de Briquetagem.....	4
2.3. Propriedades dos Briquetes.....	6
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	7
3.1. Resíduos Agroflorestais	7
3.2. Produção dos Briquetes	7
3.3. Ensaios Físicos dos Briquetes.....	8
3.4. Ensaios Mecânicos dos Briquetes.....	10
3.5. Ensaios Químicos dos Briquetes.....	11
3.6. Análise dos Dados	12
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	12
4.1. Ensaios Físicos dos Briquetes.....	13
4.2. Ensaios Mecânicos dos Briquetes.....	15
4.3. Ensaios Químicos dos Briquetes.....	19
5. CONCLUSÕES	22
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	23

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Prensa hidráulica e molde de aço inoxidável, utilizados na produção dos briquetes de resíduos agroflorestais. 8
- Figura 2.** Sistema utilizado durante a determinação dos volumes dos corpos-de-prova..... 9
- Figura 3.** Sistema utilizado durante o processo de degradação térmica controlada dos briquetes. 9
- Figura 4.** Máquina universal e aplicação de carga ao briquete durante o ensaio de compressão. 10
- Figura 5.** Interior do tambor rotativo (A), tambor sendo rotacionado (B) e peneiramento dos briquetes depois de submetidos à ação do tamboramento (C e D). 11
- Figura 6.** Briquetes sendo submetidos à secagem ao ar para a estabilização da umidade com o ambiente.. 13
- Figura 7.** Densidade básica (g/cm^3) e densidade aparente (g/cm^3) dos briquetes 13
- Figura 8.** Correlação entre o ritmo de degradação térmica (g/min) e a densidade aparente dos briquetes (g/cm^3)..... 15
- Figura 9.** Superfícies dos briquetes formados com 100% de moinha de carvão vegetal (T1) e 100% de resíduos de bambu (T7), visualizadas após um aumento de 800X em microscópio digital..... 16
- Figura 10.** Correlação entre a carga de ruptura (kgf/cm^2) e a densidade básica dos briquetes (g/cm^3). 17
- Figura 11.** Correlação entre a carga de ruptura (kgf/cm^2) e a densidade aparente dos briquetes (g/cm^3). 17

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Composição dos briquetes analisados	7
Tabela 2. Valores médios (%) das umidades de equilíbrio higroscópico dos briquetes analisados	12
Tabela 3. Valores médios das resistências dos briquetes à compressão, em kgf/cm ²	16
Tabela 4. Valores médios das variações granulométricas dos briquetes de resíduos agroflorestais (%), após o ensaio de tamboramento, com dois briquetes por tamborada	18
Tabela 5. Valores médios dos teores de matérias voláteis (TMV), de cinza (TCZ) e de carbono fixo (TCF) dos briquetes, observados após a análise química imediata.....	19
Tabela 6. Valores médios estimados do poder calorífico superior (PCS) e do poder calorífico inferior (PCI) dos briquetes de resíduos agroflorestais, em kcal/kg.....	21

1. INTRODUÇÃO

A necessidade de se reduzir as emissões dos gases poluentes agravadores do efeito estufa, assim como a escassez do petróleo, aumentou nesses últimos anos a demanda por fontes de energia alternativa limpa, barata e renovável. Para Gentil (2008) é preciso incrementar o uso das fontes renováveis de energia nos diversos seguimentos industriais, em virtude das dificuldades econômicas que tendem a se agravar ano após ano. Brand (2010) menciona que, a crise energética enfrentada pelo Brasil no ano de 2000, que ficou conhecida como “apagão”, coincidiu com a falta de madeira enfrentada pelo setor florestal. Além dos problemas relacionados à falta de energia elétrica, o país também enfrentou limitações quanto ao uso de madeira e de resíduos provenientes de florestas comerciais, utilizados como combustível.

O Brasil detém uma das matrizes energéticas mais limpas do mundo, e mesmo assim ocupa a 13ª posição no ranking de emissores de CO₂ da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE). Com a Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC), o país se comprometeu a reduzir os gases de efeito estufa (GEEs) aqui gerados em mais de 35% até 2020. Para isso, precisará incrementar o uso da biomassa e o uso de seus resíduos nos mais diversos seguimentos energéticos (EMBRAPA AGROENERGIA, 2010).

Além da lenha que já é comumente utilizada para fins energéticos, os descartes agroflorestais também possuem boas condições de uso como combustível pelas suas características químicas, conforme a análise elementar que apresenta valores médios de 50,8% de carbono, 6,4% de hidrogênio e 41,8% de oxigênio (BRITO, 2007; GENTIL, 2008). De acordo com o Balanço Energético Nacional de 2012 (BEN, 2012), em 2011, 27,2% da energia primária do Brasil era constituída de biomassa agroflorestal, com a cana-de-açúcar e derivados participando com 16,9% e a lenha utilizada como combustível primário (combustão) em fogões, fornalhas, caldeiras, ou secundário, no caso do carvão nas guseiras, com a participação de 10,3%. Tais valores denotam a importância da biomassa vegetal e dos seus derivados na matriz energética brasileira.

Existe no país uma grande geração de resíduos provenientes da biomassa agroflorestal que podem causar problemas ambientais, como o assoreamento e a contaminação dos cursos d'água, a ocupação de amplos espaços nas indústrias e a poluição do ar durante a sua queima a céu aberto (PROTÁSSIO et al., 2011). Tais resíduos podem ser submetidos a briquetagem, um processo que os tornam padronizados em relação à densidade, umidade, dimensão, forma e poder calorífico, convertendo-os em combustíveis mais eficientes. O meio agrícola disponibiliza diversos resíduos que podem ser briquetados, como aqueles que resultam da colheita do amendoim, arroz, cana-de-açúcar, coco-da-baía, feijão e milho. No Brasil, a cultura da cana-de-açúcar é a que mais gera biomassa (bagaço), que é utilizada na produção de energia térmica nas próprias destilarias e engenhos. Quanto às demais culturas agrícolas, ainda há uma grande quantidade de materiais residuais que podem ser utilizados como biomassa para a briquetagem (QUIRINO & BRITO, 1991; QUIRINO & VALE, 2003; BRAND, 2010).

As atividades que envolvem o uso de bambu, principalmente no nordeste brasileiro, onde o gênero *Bambusa* spp ocupa cerca de 40.000 ha só para a produção de celulose de fibra longa, também geram grandes volumes de resíduos que podem ser briquetados. Os colmos de bambu também são utilizados nas seguintes atribuições: controle da erosão; produção de amido, carvão e etanol; brotos comestíveis; construções rurais; construção civil (escoras e concreto leve); laminados e compensados; telhas (fibras de bambu, cimento e areia); dutos de água; móveis; artesanatos; e, paisagismo (TOMAZELLO FILHO & AZZINI, 1987; COSTA, 2004).

O Brasil é o maior produtor e consumidor mundial de carvão vegetal. Em 2011, consumiu cerca de 33 milhões de metros cúbicos deste insumo, sendo que mais de dois terços desse volume foram destinados às indústrias siderúrgica e metalúrgica, sobretudo no estado de Minas Gerais (BEN, 2012). O carvão vegetal também é utilizado para outros fins, tais como: cocção de alimentos; churrasqueiras e lareiras; termoelétricas; indústria cimenteira; purificação de água e bebidas; indústria farmacêutica; filtros e máscaras contra gases; dentre outros usos.

O carvão vegetal, em virtude da sua elevada friabilidade, gera, nas fases de produção, transporte, manuseio e peneiramento nas usinas, uma grande quantidade de finos, que pode chegar a 25% do total produzido. Estes resíduos (dois milhões de toneladas/ano), em decorrência da baixa granulometria média, não são aproveitados no alto-forno e, conseqüentemente, devem ser direcionados para outro uso. A briquetagem dos finos de carvão vegetal é uma forma de convertê-los num combustível de boa qualidade (QUIRINO et al., 1989; ANDRADE & CARVALHO, 1998; PEREIRA et al. 2009). De acordo com Benício (2011) a briquetagem faz uso da compactação de biomassas para a produção de combustíveis sólidos com boas qualidades física, química e calorífica, que poderão ser utilizados em vários processos que, tradicionalmente, são utilizados a lenha e o carvão como fonte de energia.

Dentro do contexto acima exposto, o presente trabalho de pesquisa objetivou a caracterização física, mecânica, química e térmica de briquetes produzidos com moinha de carvão vegetal e resíduos de bambu, sob várias formulações.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Resíduos Agroflorestais

Devido a crescente preocupação mundial de aumentar o uso de energia de fontes renováveis, resíduos das mais variadas origens despontam-se como interessantes alternativas energéticas. No Brasil há uma grande produção de resíduos provenientes da biomassa agroflorestal que pode provocar danos ambientais que vão do assoreamento de rios e lagoas à contaminação dos cursos d'água, ocupação de extensas áreas nas indústrias e poluição do ar pela queima a céu aberto (PROTÁSSIO et al., 2011).

A biomassa florestal é composta por elementos aéreos e subterrâneos das árvores (troncos, galhos, folhas e raízes), bem como pela serapilheira (biomassa morta), vegetação herbácea e arbustiva e pelos líquens (COUTO et al., 2004). Considera-se como biomassa florestal todo o material orgânico derivado de sistemas nativos ou implantados, resultante da manufatura de produtos florestais na indústria de base florestal, de resíduos urbanos oriundos da utilização dos produtos manufaturados ou mesmo do manejo de florestas urbanas (BRAND, 2010). A biomassa, que pode ser direcionada para o processo de briquetagem, é formada pela combinação de dióxido de carbono (CO₂) da atmosfera e água (H₂O), absorvida pelas raízes das plantas na fotossíntese clorofiliana, que produz os hidratos de carbono (CH₂O). Através da reação química básica: fóton + CO₂ + H₂O → (CH₂O) + O₂, a energia solar é armazenada nas ligações químicas dos componentes estruturais dessa biomassa (VASCONCELOS, 2002).

Ohana (2012) afirma que é preciso encontrar possibilidades de usos para a biomassa, otimizando a produção e gerando menores quantidades de resíduos, garantindo sua reciclagem industrial, reintegrando materiais residuais ao ciclo produtivo e evitando gastos com tratamento e disposição. Tais iniciativas incentivam o desenvolvimento de tecnologias limpas

e o uso racional de matéria-prima natural, que constitui atualmente o grande desafio mundial para este milênio.

Atualmente, a expectativa anual de geração de resíduos oriundos da biomassa vegetal é da ordem de 254,7 milhões de toneladas, conforme aponta Couto et al. (2004). O seguimento industrial de base florestal responde por aproximadamente 60 milhões de toneladas, ou seja, 23,6% do total gerado no país. Para Brand (2010), utilizar uma maior quantidade de energia de biomassa (lenha, carvão vegetal, resíduos florestais, cana-de-açúcar, etc.) não constitui um retrocesso tecnológico, mas sim, uma caminhada em direção à autossuficiência energética.

Os pontos mais importantes normalmente valorizados quando se trata de mencionar as vantagens do uso da biomassa como fonte de geração de energia são: apresenta baixos teores de cinza e enxofre; é um combustível renovável; contribui para o balanço neutro entre emissões e fixação de gases poluentes como o dióxido de carbono; tem altas produtividades em regiões tropicais e subtropicais como o Brasil; quando convertida pode ser utilizada como combustível sólido, líquido e gasoso; pode ser oriunda de plantios exclusivos para usos energéticos, ou de plantios de usos múltiplos e de resíduos florestais, industriais urbanos; no caso dos resíduos agroflorestais, o uso facilita as operações posteriores de plantio ou replantio e reduz os riscos de incêndios e doenças nas próximas rotações. Além disso, sob o ponto de vista econômico, social e ambiental o uso da biomassa apresenta vantagens como o decréscimo da dependência das importações de petróleo; o aumento do uso dos recursos naturais e renováveis (RNR); melhoria no gerenciamento florestal e decréscimo nos custos energéticos (BENICIO, 2011).

Para Valle (1995), um material deixa de ser considerado resíduo pela sua valorização como matéria-prima para a produção de novos produtos. Nesse caso, determinado resíduo passa a ser tratado como subproduto do processo produtivo. Em relação à produção agrícola, temos diversos resíduos agroindustriais que são capazes de produzir biomassa para briquetagem, destacando-se aqueles gerados na colheita do amendoim, arroz, cana-de-açúcar, coco-da-baía, feijão e milho. Mais recentemente, o capim-elefante e o próprio bambu vêm despertando o interesse para produção de energia, pois os mesmos apresentam boa produtividade/ano. Para Vargas (1979), os resíduos agrícolas constituem uma das mais expressivas fontes de carboidratos que ainda não são utilizadas para fins energéticos, uma vez que poderiam ser convertidas em combustíveis sólidos, líquidos e gasosos, além de outros processos de bioconversão para fins industriais.

A disponibilidade dos resíduos agrícolas no Brasil tem alcançado valores expressivos ao longo de décadas. Entretanto, a utilização do pleno potencial desta biomassa, principalmente para fins energéticos, tem sido incipiente em razão das dificuldades operacionais relacionadas com o transporte, armazenamento, densificação e, sobretudo, ao teor de umidade relativamente alto e muito variável na origem, podendo ultrapassar facilmente a cifra dos 50%, o que poderá afetar negativamente o poder calorífico, em kcal.kg⁻¹ (GAUTHIER, 1986).

Resíduos de baixo custo, como os provenientes das atividades agrícolas (esterco animal, casca de cereais, resíduos resultantes da colheita mecanizada do trigo, arroz, algodão, soja, etc.) ou das atividades florestais (cascas, folhas, restos da colheita e poda, cepas, lenha, resíduos do desdobro mecânico em serrarias e outros) representam uma alternativa energética viável (VALE et al., 2000; SANTIAGO & ANDRADE, 2005).

A quantidade de resíduos está relacionada a fatores como o nível tecnológico empregado no processo produtivo. A qualidade dos equipamentos, nível de capacitação dos colaboradores, qualidade da matéria-prima e características do processo podem interferir na geração de resíduos (BRAND, 2010).

2.2. Processo de Briquetagem

De acordo com Melo (2000) a aglomeração manual de finos teve início com o carvão mineral na China e na Inglaterra, com a utilização de ligantes de origem mineral, vegetal e animal. Prado (2001) menciona que o processo de briquetagem teve origem na Europa, ainda no início do século passado. A fabricação comercial mecanizada de briquetes de carvão mineral originou-se na França, em 1842. Até a segunda guerra mundial foram produzidas grandes quantidades de briquetes de carvão mineral, em diversos países da Europa. Tais briquetes eram utilizados em fornos e caldeiras. Em 1915 foi realizada a primeira briquetagem industrial de carvão vegetal em uma fábrica no Tennessee (EUA), que produzia metanol pela destilação destrutiva da madeira, em que os finos de carvão vegetal, subprodutos do processo, eram briquetados usando-se o alcatrão da madeira como aglutinante. Atualmente, praticamente todos os tipos de resíduos orgânicos (biomassa) podem ser utilizados para a produção de energia, através de tecnologias consideradas modernas.

Para Bezzon & Ivengo (1999) a briquetagem consiste na trituração da madeira (moagem) ou de materiais lignocelulósicos, com a posterior compactação a elevadas pressões e temperaturas na faixa dos 100 °C. O aumento da temperatura provoca a "plastificação" da lignina, substância que atua como elemento aglomerante das partículas de madeira. Para que esta aglomeração tenha sucesso há necessidade de uma umidade de 8 a 15% e granulometria média das partículas de 5 a 10mm. O produto final deste processo, um combustível que apresenta formatos variáveis (cubos, almofadas, cilindros, etc.) e com um elevado grau de compactação, são conhecidos por "briquetes", uma excelente fonte de energia, que apresenta inúmeras vantagens em relação à lenha. Quirino & Brito (1991) mencionam que briquetagem consiste na aplicação de pressão a uma massa de partículas, com ou sem a adição de ligante, e com ou sem tratamento térmico posterior. O processo envolve forças de coesão entre sólidos, adesividade do ligante e comportamento do conjunto partícula-ligante.

A briquetagem é uma das alternativas tecnológicas para o melhor aproveitamento dos resíduos de biomassa, consistindo num processo de trituração e compactação que utiliza elevadas pressões para transformar os referidos resíduos em blocos denominados briquetes, os quais possuem melhor potencial de geração de calor (energia) em relação aos resíduos in natura (BEZZON & IVENGO, 1999). A densificação dos resíduos através da briquetagem viabiliza a valorização de uma série de resíduos, uma vez que promove a sua homogeneização em termos de umidade, granulometria e densidade. Na verdade, a briquetagem (compactação ou prensagem) não é utilizada só para resíduos vegetais, sendo também empregada para compactar ou aglomerar minérios, restos de metais e produtos químicos variados (QUIRINO, 2000).

Paula et al. (2011) mencionam que a utilização de briquetes está intimamente relacionada à preservação ambiental, uma vez que dá um destino aos resíduos e evita o uso de lenha e de carvão vegetal. A utilização dos briquetes produzidos pelo aproveitamento de resíduos de biomassa pode reduzir significativamente a poluição ambiental, colaborando com a sustentabilidade energética (DIBLASI FILHO, 2007).

Os briquetes, normalmente, têm um poder calorífico maior que o da lenha e exigem um menor espaço para armazenamento, o que possibilita a manutenção de estoques

reguladores e de emergência. Como a briquetagem faz uso de resíduos moídos ou de baixa granulometria média, praticamente todos os tipos de resíduos orgânicos agrícolas, florestais, industriais e urbanos podem ser utilizados (BRIQUETES, 2012). O processo de briquetagem serve para concentrar a capacidade energética. Quando são comparados os poderes caloríficos, tem-se que 1m³ de briquete é cinco vezes mais energético do que 1 st de lenha (QUIRINO & BRITO, 1991; CAPOTE, 2012).

Saleme (1992) afirma que é importante que se leve em consideração alguns aspectos da produção de briquetes como a afinidade entre as partículas dos finos de carvão e o aglutinante. Um fator a ser observado é a composição química do aglutinante, que deve ser isenta de compostos que, durante a combustão, poderão gerar gases tóxicos. O briquete para fins siderúrgicos também deverá se comportar como um termorredutor.

Segundo Pietsch (1976), citado por Quirino & Brito (1991), os aglutinantes podem ser de três tipos: matriz, filme e químico. Os aglutinantes do tipo matriz envolvem completamente as partículas formando uma matriz contínua. São requeridas quantidades razoáveis do aglutinante porque, de modo geral, estas substâncias apresentam baixa resistência, que depende de uma fase contínua em volta das partículas individuais. Podem ser citados como exemplo: o alcatrão mineral, alcatrão de madeira e o asfalto ou piche de petróleo. Os aglutinantes do tipo filme, geralmente, são usados como soluções ou dispersões. A água é o solvente mais comum, usando-se, também, o álcool, a acetona, o tetracloreto de carbono, além de outros solventes. Como exemplo desses aglutinantes, dentre outros, tem-se o silicato de sódio, a água, o amido, o melaço e os lignosulfatos. Os aglutinantes químicos são aqueles em que o efeito de adesão depende de reações químicas efetivas dos componentes do aglomerado entre si, ou entre o aglomerante e o material que está sendo aglomerado. Estes aglutinantes também podem ser do tipo matriz ou filme, dependendo, principalmente, da resistência e das características dos produtos das reações. Nesta categoria encontram-se o Ca(OH)₂ + melaço, silicato de sódio + CO₂, dentre outros.

Atualmente, o Brasil produz 960 mil toneladas de briquetes por ano, sendo 620 mil toneladas de resíduos derivados da madeira e 340 mil toneladas de resíduos agrícolas (bagaço de cana-de-açúcar, casca de arroz, resíduos da colheita do algodão, entre outros). Esse insumo energético tem demonstrado um enorme potencial para substituir, com muitas vantagens, outras fontes de energia, como a hidrelétrica, o óleo diesel, o GLP e o óleo combustível. A substituição é mais vantajosa nas atividades ligadas à indústria alimentícia, onde é grande a geração de resíduos que podem ser briquetados. Apesar da produção de briquetes no Brasil se encontrar em plena expansão, tendo crescido a um ritmo de 4,4% ao ano, ainda é incipiente. Para exemplificação, a indústria da madeira produz cerca de 14 milhões de toneladas de resíduos por ano, sendo que a maior parte é descartada sem nenhum aproveitamento. Alguns trabalhos sobre a produção e o uso de briquetes já foram desenvolvidos por empresas siderúrgicas e instituições de ensino e pesquisa, mas a bibliografia sobre o assunto, para a orientação dos produtores e consumidores, ainda é escassa (GENTIL, 2008). Segundo Quirino (2003), ainda não existem normas bem definidas em relação à briquetagem de biomassa para fins energéticos. Atualmente, o que se tem são legislações referentes à exportação de briquetes, como no artigo 8º da Instrução Normativa nº 77, de 07 de dezembro de 2005 (QUIRINO, 2003).

2.3. Propriedades dos Briquetes

Os combustíveis derivados de resíduos orgânicos devem apresentar determinadas características que os tornem aptos para a geração de energia. O poder calorífico é a propriedade mais importante para se avaliar a viabilidade do uso de uma fonte de energia. Também devem ser consideradas as propriedades físicas e químicas do combustível que, muitas vezes, podem ser tão importantes quanto o poder calorífico, uma vez que podem comprometer a eficiência energética do material. Para se determinar a qualidade da biomassa agroflorestal para uso energético é fundamental a análise da sua composição química, teor de umidade, poder calorífico, granulometria, nível de degradação, entre outros aspectos (BRAND, 2007; BRAND, 2010).

No caso do teor de umidade, deve-se considerar que o mesmo pode ser influenciado por diversos fatores como, por exemplo, a parte do vegetal utilizada, a estação do ano, o local de coleta, dentre outros fatores (CAPOTE, 2012). O teor de umidade é uma variável muito importante para o aproveitamento energético da biomassa, pois mantém uma grande influência sobre o poder calorífico. Quanto maior o teor de umidade, menor será a quantidade de energia útil, além da umidade retardar a queima do combustível. A primeira etapa do processo de combustão consiste na evaporação da água, que demanda tempo e energia para a sua efetivação (BRAND, 2007).

A densidade do material também é uma importante propriedade à ser considerada no decorrer da produção de briquetes a partir da biomassa agroflorestal. No caso dos briquetes, a densidade energética pode ser definida como a quantidade de energia por volume. Quando são comparados com a lenha, percebe-se que a densidade energética dos briquetes é três vezes superior (QUIRINO, 2000). Segundo Brand (2007), a utilização de combustíveis mais densos resulta em economia no transporte, em virtude da redução do volume transportado.

O ritmo de queima expressa o tempo necessário para a degradação térmica total de uma massa de combustível. Para a sua determinação, acompanha-se a queima do combustível até a sua calcinação, sob condições controladas (QUIRINO & BRITO, 1991).

Segundo Protásio et al. (2011), a resistência à compressão dos briquetes deve ser considerada, principalmente quando os mesmos serão utilizados em equipamentos que exijam baixos teores de finos. Ohana (2012) cita que o teste de tamboramento simula a resistência dos briquetes à abrasão e quedas durante o manuseio e transporte. No entanto, os resultados devem ser interpretados com critério, porque são influenciados pela dimensão e forma dos briquetes, além das propriedades das matérias-primas a partir dos quais foram produzidos.

A análise química imediata é adotada para a determinação dos teores de matérias voláteis, de cinza e de carbono nos briquetes. As matérias voláteis expressam a capacidade do combustível de gerar chamas (labaredas), apresentando uma correlação negativa com o teor de carbono (ANDRADE, 1989; BRAND, 2010).

O poder calorífico é o calor total (energia térmica) liberado durante a combustão completa de uma unidade de massa ou de volume de um combustível (kcal/kg ou kj/kg; kcal/m³). A determinação do Poder Calorífico Superior (PCS) é feita em recipientes hermeticamente fechados, dentro dos quais os combustíveis são submetidos à queima, sem levar em consideração a energia gasta para evaporar a umidade. O Poder Calorífico Inferior (PCI), por sua vez, deriva do Poder Calorífico Superior, subtraindo-se a energia gasta para evaporar a umidade do combustível (SALEME, 1992; NOGUEIRA & LORA, 2003; NETO et al., 2010; PROTÁSIO et al., 2011).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Resíduos Agroflorestais

Para a produção dos briquetes foram utilizados moimha de carvão vegetal (“finos de carvão”) e resíduos de bambu. A moimha de carvão foi coletada após a carbonização de lenha de *Eucalyptus* spp. num forno de alvenaria de superfície do Departamento de Produtos Florestais, no Instituto de Florestas da UFRRJ. Os resíduos de bambu foram fornecidos por uma empresa produtora de espetos para churrasco, instalada no município de Nazaré da Mata, no Estado de Pernambuco.

No Laboratório de Energia da Madeira do Departamento de Produtos Florestais ambos os resíduos foram homogeneizados através da passagem por uma peneira com a malha de 3mm. Em seguida, amostras simples foram retiradas do material homogeneizado, para a determinação dos respectivos percentuais de umidade, com base nos pesos úmidos das amostras ($U_{bu(\%)}$) e para as análises subseqüentes.

3.2. Produção dos Briquetes

Para a produção dos briquetes foram utilizadas diferentes misturas, constituídas por moimha de carvão vegetal e resíduos de bambu. A Tabela 1 apresenta os tratamentos que foram analisados, com as suas respectivas formulações.

Tabela 1. Composição dos briquetes analisados

Tratamento	Composição do Briquete	Relação MCV/RB
01	100% de moimha de carvão vegetal	1/0
02	80% de moimha de carvão vegetal e 20% de resíduos de bambu	4/1
03	60% de moimha de carvão vegetal e 40% de resíduos de bambu	3/2
04	50% de moimha de carvão vegetal e 50% de resíduos de bambu	1/1
05	40% de moimha de carvão vegetal e 60% de resíduos de bambu	2/3
06	20% de moimha de carvão vegetal e 80% de resíduos de bambu	1/4
07	100% de resíduos de bambu	0/1

Em que: MCV = Moimha de Carvão Vegetal e RB = Resíduos de Bambu.

A briquetagem (prensagem) dos resíduos agroflorestais foi efetuada no interior de um molde metálico cilíndrico, confeccionado em aço inoxidável, utilizando-se uma prensa hidráulica com a capacidade de 15 toneladas (Figura 1). Como agente aglutinante utilizou-se a carboximetilcelulose a 3% (CMC), ou seja, na concentração de 30g/litro. As misturas dos resíduos com a CMC a 3% foram realizadas sobre uma lona plástica, com o auxílio de espátulas para a homogeneização, o que resultou num material uniforme, com uma consistência que permitia a formação dos briquetes.

Durante a fabricação de cada briquete, o volume total do molde foi preenchido com o material homogeneizado, sendo que a massa deste volume de resíduos correspondeu à respectiva massa do briquete. Para a prensagem dos materiais adotou-se a carga de 567,75 kgf/cm², mantida por um período de três minutos. Após a prensagem, os briquetes foram secos ao ar, até atingirem a umidade de equilíbrio com o ambiente.

A Figura 1 apresenta a prensa hidráulica, com a capacidade de 15 toneladas e o molde de aço inoxidável, utilizados durante a produção dos briquetes de resíduos agroflorestais.

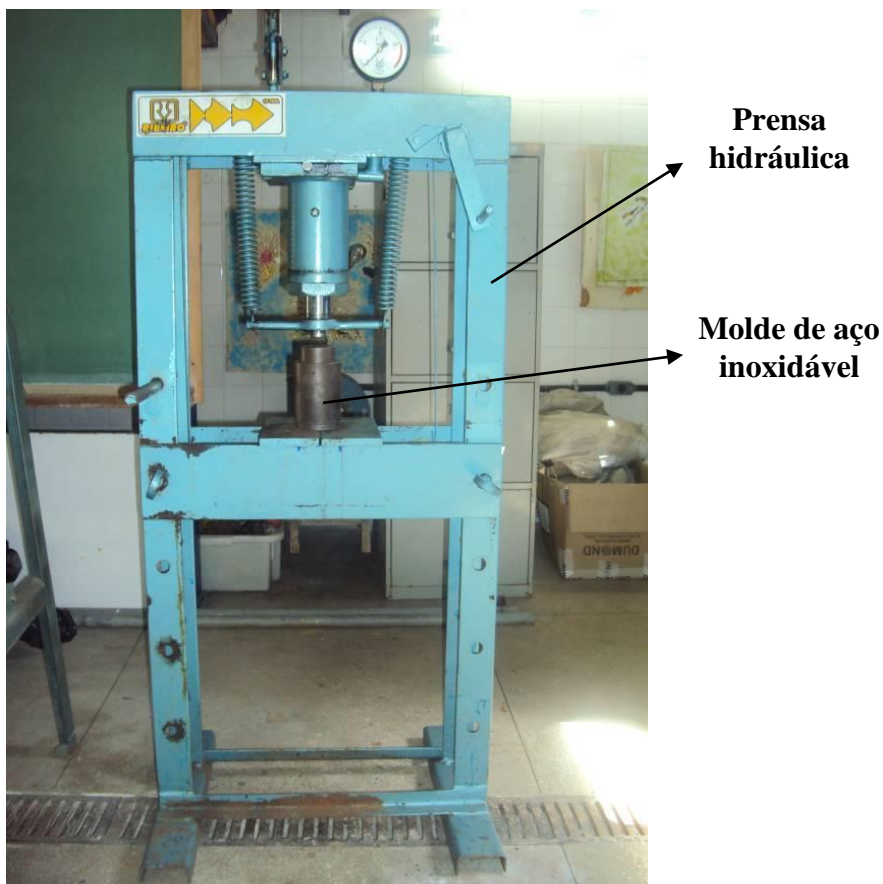


Figura 1. Prensa hidráulica e molde de aço inoxidável, utilizados na produção dos briquetes de resíduos agroflorestais.

3.3. Ensaios Físicos dos Briquetes

Foram determinadas a densidade básica (g/cm^3) e a massa específica aparente (g/cm^3) dos briquetes. Tais procedimentos foram realizados de acordo com a metodologia descrita na norma NBR 11941, adaptada por Trugilho et al. (1990). A impermeabilização dos briquetes, necessária para a determinação dos volumes dos mesmos, foi obtida a partir do envolvimento dos corpos-de-prova com um filme de polietileno.

A Figura 2 apresenta o sistema utilizado durante a determinação do volume dos briquetes, composto por uma balança digital, um recipiente com a água de imersão e uma garra com um alfinete na extremidade, para a adequada fixação dos corpos-de-prova.

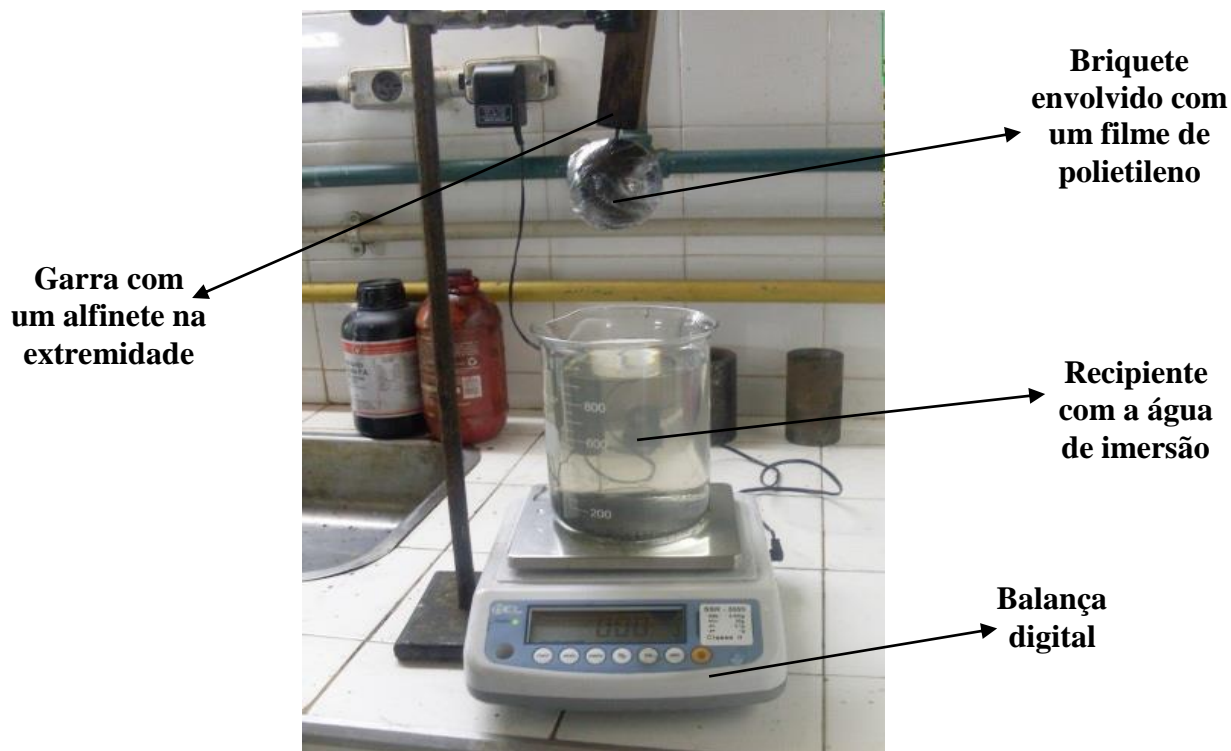


Figura 2. Sistema utilizado durante a determinação dos volumes dos corpos-de-prova.

Os ritmos de degradação térmica dos briquetes (g/min) foram determinados a partir da queima dos mesmos sob a ação de um maçarico de gás butano, por um período de três minutos. A perda de massa dos briquetes foi estimada a partir de pesagens efetuadas antes e depois do referido ensaio.

A Figura 3 apresenta o sistema idealizado para se proceder a combustão controlada dos briquetes, com vistas à degradação térmica dos mesmos.

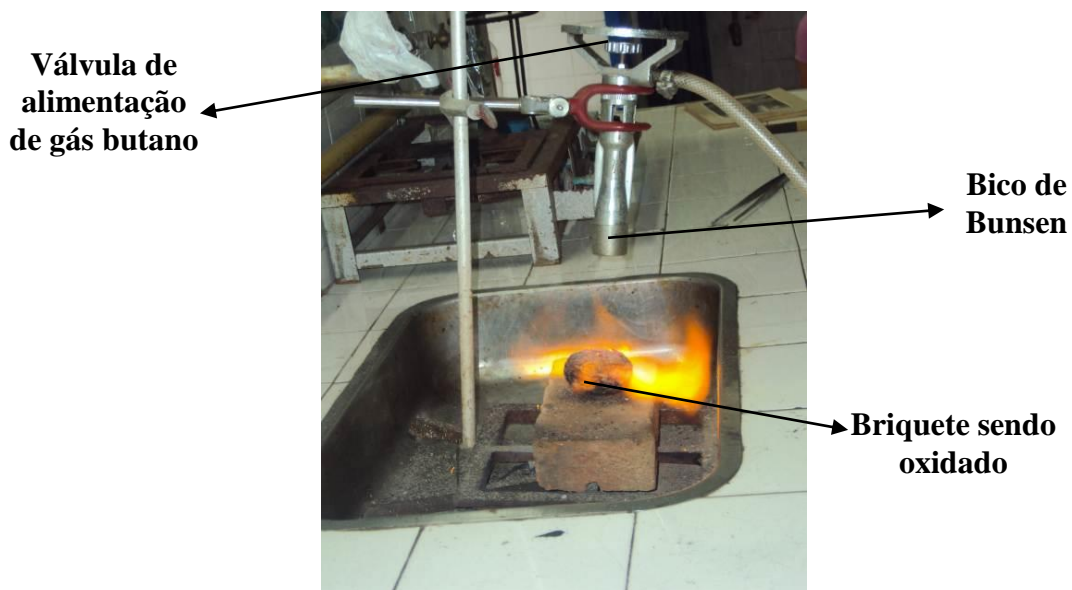


Figura 3. Sistema utilizado durante o processo de degradação térmica controlada dos briquetes.

3.4. Ensaios Mecânicos dos Briquetes

Os testes de resistência dos briquetes à compressão foram realizados no Laboratório de Propriedades Físico-Mecânicas da Madeira do Departamento de Produtos Florestais, utilizando-se uma Máquina Universal de Ensaios da marca Contenco-UMC 300, com a capacidade de 30 toneladas. Utilizou-se a célula de carga de 10 toneladas, com a força de compressão sendo aplicada na parte superior de um dos hemisférios do briquete, no sentido longitudinal, até a sua ruptura, conforme mostra a Figura 4.



Figura 4. Máquina universal e aplicação de carga ao briquete durante o ensaio de compressão.

Para a determinação da resistência dos briquetes quando submetidos a quedas e impactos utilizou-se o teste do tamboramento, de acordo com os procedimentos descritos por Oliveira et al. (1982). Após o tamboramento, os briquetes foram classificados em peneiras com quatro diferentes malhas (25mm, 15mm, 5mm e 1,5mm).

A Figura 5 apresenta algumas das etapas do tamboramento e do peneiramento dos briquetes, para a estimativa da resistência dos mesmos às quedas e impactos.



Figura 5. Interior do tambor rotativo (A), tambor sendo rotacionado (B) e peneiramento dos briquetes depois de submetidos à ação do tamboramento (C e D).

3.5. Ensaio Químico dos Briquetes

A análise química imediata dos briquetes foi efetuada com base na norma ASTM D-1764, adaptada por Oliveira et al. (1982). Foram determinados os teores de matérias voláteis (TMV), de cinza (TCZ) e de carbono fixo (TCF). Posteriormente, foram obtidas as respectivas umidades de equilíbrio dos briquetes.

A partir da utilização de equações devidamente ajustadas, foram estimados o poder calorífico superior (PCS) e o poder calorífico inferior (PCI) dos briquetes. As equações utilizadas foram as seguintes:

$$\text{Poder Calorífico Superior (PCS}_{\text{kcal/kg}}) = [(82 \times \text{TCF}) + (A \times \text{TMV})] \quad (\text{Equação 1})$$

$$\text{Poder Calorífico Inferior (PCI}_{\text{kcal/kg}}) = \{(\text{PCS} - 25,11 \times U) / [(100 + U) \times 100]\} \quad (\text{Equação 2})$$

Em que:

TCF = Teor de Carbono Fixo dos briquetes (%);

A= Coeficiente dependente, resultante da relação $[\text{TMV} / (\text{TMV} + \text{TCZ})]$;

TMV = Teor de Matérias Voláteis dos briquetes (%); e,

U = Média do teor de umidade dos briquetes, com base no peso úmido (%).

3.6. Análise dos Dados

A avaliação dos dados foi realizada com base num delineamento estatístico inteiramente casualizado, com sete tratamentos e doze repetições por tratamento. Efetuou-se a análise de variância, adotando-se o nível de 5% de significância e utilizou-se, para a comparação entre as médias dos tratamentos, o teste de Tukey a 95% de probabilidade.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 2 apresenta os valores médios das umidades de equilíbrio higroscópico dos briquetes, após a secagem ao ar e a estabilização com a umidade ambiental.

Tabela 2. Valores médios (%) das umidades de equilíbrio higroscópico dos briquetes analisados

Trat.	Composição do Briquete	Umidade de Equilíbrio (%)
01	100% de moinha de carvão vegetal	13,27 a
02	80% de moinha de carvão vegetal e 20% de resíduos de bambu	14,97 a
03	60% de moinha de carvão vegetal e 40% de resíduos de bambu	14,31 a
04	50% de moinha de carvão vegetal e 50% de resíduos de bambu	14,88 a
05	40% de moinha de carvão vegetal e 60% de resíduos de bambu	15,97 a
06	20% de moinha de carvão vegetal e 80% de resíduos de bambu	15,81 a
07	100% de resíduos de bambu	17,56 a

Médias seguidas por uma mesma letra, na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 95% de probabilidade.

A Figura 6 apresenta alguns dos briquetes produzidos, dentro dos respectivos tratamentos, sendo submetidos à secagem ao ar, para a estabilização das respectivas umidades com a umidade do ambiente.

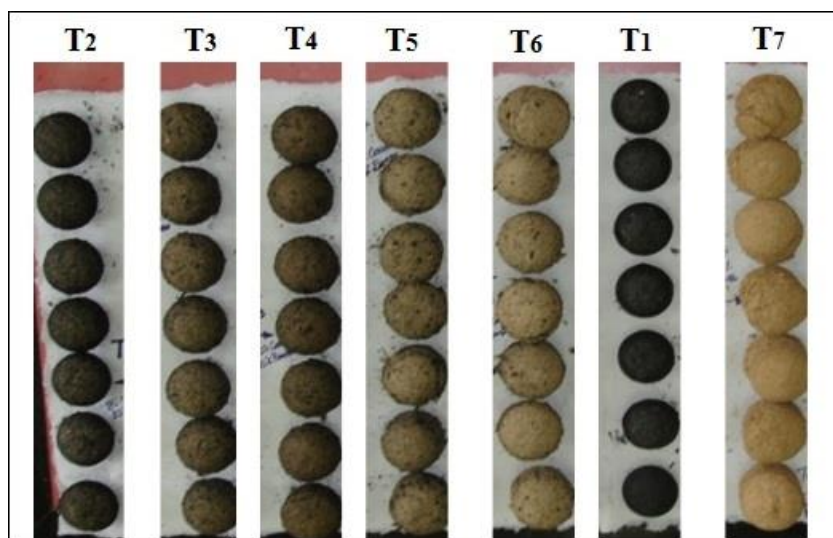


Figura 6. Briquetes sendo submetidos à secagem ao ar para a estabilização da umidade com o ambiente. Em que: relação moinha de carvão/resíduo de bambu = T₁: 1/0; T₂: 4/1; T₃: 3/2; T₄: 1/1; T₅: 2/3; T₆: 1/4; e, T₇: 0/1.

Conforme se observa na Tabela 2, nas condições ambientais em que foram produzidos, os briquetes dos resíduos agroflorestais apresentaram umidades de equilíbrio higroscópico que variaram de 13,27% a 17,56%. Apesar das diferenças absolutas entre os valores médios, do ponto de vista estatístico não foram detectadas diferenças significativas entre as umidades de equilíbrio higroscópico dos briquetes. Constata-se, portanto, que as composições dos briquetes não interferiram significativamente nas umidades de equilíbrio dos mesmos. Tal variável, possivelmente, esteja mais relacionada ao grau de compactação dos briquetes do que à sua composição propriamente dita.

4.1. Ensaios Físicos dos Briquetes

Os valores médios das densidades aparente e básica dos briquetes de resíduos agroflorestais, em g/cm³, encontram-se ilustrados na Figura 7.

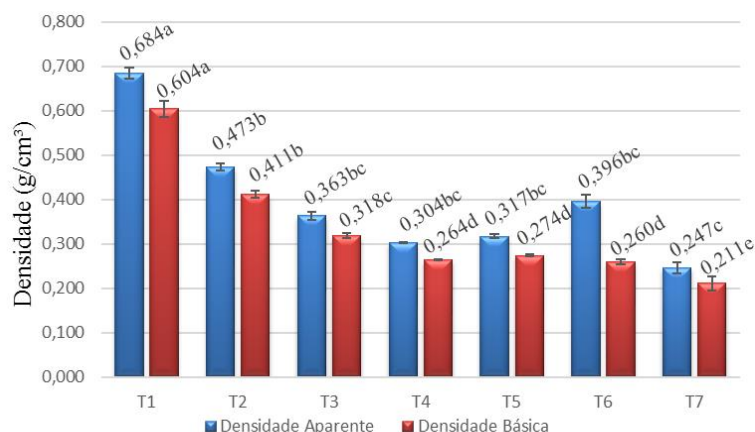


Figura 7. Densidade básica (g/cm³) e densidade aparente (g/cm³) dos briquetes. Em que: relação moinha de carvão/resíduo de bambu = T₁: 1/0; T₂: 4/1; T₃: 3/2; T₄: 1/1; T₅: 2/3; T₆: 1/4; e, T₇: 0/1.

Observa-se, na Figura 7, que valores estatisticamente superiores de densidades básica e aparente, em g/cm^3 , foram registrados pelos briquetes do tratamento 1 (100% moinha de carvão). As demais densidades básica e aparente dos briquetes, relacionadas aos outros seis tratamentos, apresentaram valores que oscilaram de 0,211 a 0,473 g/cm^3 . De uma forma geral, o que se pode perceber é que, as densidades dos briquetes aumentaram à medida que se aumentou a percentagem de moinha de carvão vegetal na composição dos mesmos.

Além da ocorrência de diferenças significativas entre os tratamentos com a superioridade de T1, também foram observadas diferenças estatísticas entre as densidades básica e aparente, em g/cm^3 , dentro dos respectivos tratamentos, exceto para os tratamentos 1 e 2, correspondentes àqueles com os maiores teores de moinha de carvão vegetal na composição. Portanto, no que se refere às diferenças observadas entre as densidades, dentro dos tratamentos 3 a 7, há evidências de que estejam mais relacionadas aos maiores teores de resíduo de bambu na composição dos briquetes, o que pode estar favorecendo a absorção de maiores teores de umidade do ambiente. Tal fato pode ser confirmado a partir da observação da Tabela 2, na qual se percebe a tendência dos briquetes com maiores teores de resíduo de bambu de alcançarem o equilíbrio higroscópico em patamares de umidade ligeiramente superiores, embora sem apresentar diferenças estatísticas nos níveis de significância ora consideradas.

Embora variando entre e dentro dos respectivos tratamentos, as densidades básica e aparente dos briquetes de resíduos agroflorestais, expressas em g/cm^3 , se apresentaram em níveis aceitáveis e compatíveis com a utilização deste insumo renovável para fins energéticos. Em outras pesquisas nesta mesma área, utilizando-se materiais semelhantes, os valores médios das densidades também variaram bastante. Brito et al. (1987), por exemplo, citam que a densidade básica média de *Bambusa* spp. in natura, é de 0,550 g/cm^3 , ou seja, um valor 160,66% superior (%) aquele observado no briquete produzido com 100% de resíduo de bambu, de 0,211 g/cm^3 . Considerando-se que, na presente pesquisa, o resíduo de bambu derivou de lascas de bambu in natura que foram raspadas para a confecção de espetos de churrasco e, posteriormente, as raspas foram reconstituídas para formar briquetes, o referido resultado é tecnicamente aceitável. Com a adoção de outros aglutinantes e de cargas de prensagem maiores, tais diferenças poderão ser reduzidas.

Para os briquetes com as maiores proporções de moinha de carvão vegetal na composição, sobretudo no caso daqueles produzidos sob as condições estabelecidas para o tratamento 1, os valores médios das densidades básica e aparente, em g/cm^3 , discreparam menos daqueles encontrados na literatura técnica vigente. Melo (2000), por exemplo, avaliando briquetes produzidos com moinha de carvão vegetal e alcatrão, encontrou um valor médio de densidade aparente de 0,620 g/cm^3 . Benício (2011), por sua vez, ao produzir briquetes com uma mistura de 60% de moinha de carvão e 40% de resíduos provenientes da fabricação de papel, obteve uma densidade básica média de 0,663 g/cm^3 .

A Figura 8 ilustra a associação de uma importante variável dos briquetes de resíduos agroflorestais para fins energéticos, qual seja o ritmo de queima ou de degradação térmica (g/min), com as respectivas densidades dos mesmos (g/cm^3).

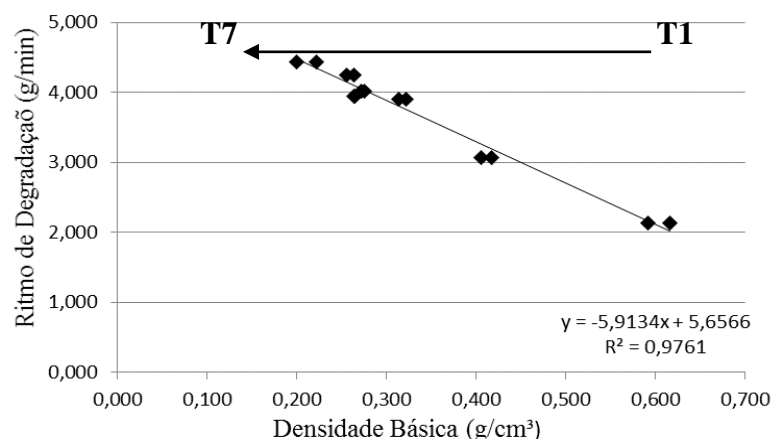


Figura 8. Correlação entre o ritmo de degradação térmica (g/min) e a densidade aparente dos briquetes (g/cm³).

A partir da utilização do sistema idealizado para a combustão controlada dos briquetes (Figura 3) tornou-se possível a percepção da existência de uma correlação negativa, bastante significativa, entre a densidade do briquete (g/cm³) e o seu ritmo de queima (g/min). Assim sendo, os briquetes que apresentaram as maiores densidades básica e aparente (g/cm³) como, por exemplo, aqueles do tratamento 1 (100% de moinha de carvão vegetal), corresponderam aos que queimaram mais lentamente (g/min).

De uma maneira bastante simples pode-se afirmar que, para apresentar uma alta eficiência energética, o briquete, além de demonstrar um alto poder calorífico, deverá manter o fornecimento desta energia térmica durante o maior período de tempo possível. Com base neste pressuposto, pode-se dizer que não será viável um combustível orgânico briquetado, mesmo que tenha condições de gerar altas temperaturas, porém, somente num curto espaço de tempo. Tal afirmativa é confirmada por Quirino e Brito (1991) que salientam que é muito importante se estimar a quantidade de calor que um briquete poderá fornecer num determinado período de tempo, e mencionam que a densidade influi diretamente nesta capacidade.

Portanto, os resultados expressaram que, durante a utilização de briquetes para fins energéticos, aqueles com as maiores densidades levarão mais tempo para se deteriorar termicamente, até a completa calcinação, do que aqueles com as menores densidades. Consequentemente, durante este maior período de oxidação, estarão gerando mais energia térmica para cozinhar alimentos, secar grãos, aquecer ambientes, assar churrascos, entre outras atribuições que exijam energia calorífica.

4.2. Ensaios Mecânicos dos Briquetes

A Tabela 3 apresenta os valores médios das resistências dos briquetes à compressão (kgf/cm²), dentro dos respectivos tratamentos.

Tabela 3. Valores médios das resistências dos briquetes à compressão, em kgf/cm²

Tratamento	Resistência à Compressão (kgf/cm ²)
01	42,01 e
02	50,90 cd
03	55,02 c
04	57,48 c
05	64,09 b
06	67,94 b
07	80,40 a

Médias seguidas por uma mesma letra, na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 95% de probabilidade. Em que: relação moinha de carvão/resíduo de bambu = T₁: 1/0; T₂: 4/1; T₃: 3/2; T₄: 1/1; T₅: 2/3; T₆: 1/4; e, T₇: 0/1.

A observação da Tabela 3 possibilita a constatação da ocorrência de significativos aumentos nos valores médios das resistências dos briquetes à compressão (kgf/cm²), à medida que se aumenta o teor de resíduo de bambu na composição dos mesmos. Tal fato, possivelmente, esteja relacionado à maior resistência do bambu às forças de compressão, quando comparado com a moinha de carvão vegetal. A própria morfologia destes materiais pode ajudar no esclarecimento deste comportamento, uma vez que os resíduos de bambu apresentam-se, quase sempre, na condição de fibras e resíduos fibrilares, ao passo que a moinha de carvão vegetal, devido à sua alta friabilidade, apresenta-se na forma de estruturas esféricas ou semi-esféricas, bastante degradadas. Assim sendo, durante a prensagem para a formação dos briquetes tais materiais se comportam de forma diferenciada, dando origem a briquetes com estruturas físicas bem diferentes entre si.

A Figura 9 apresenta as superfícies dos briquetes formados com 100% de moinha de carvão vegetal (tratamento 1) e 100% de resíduos de bambu (tratamento 7), após um aumento de 800X em microscópio digital.

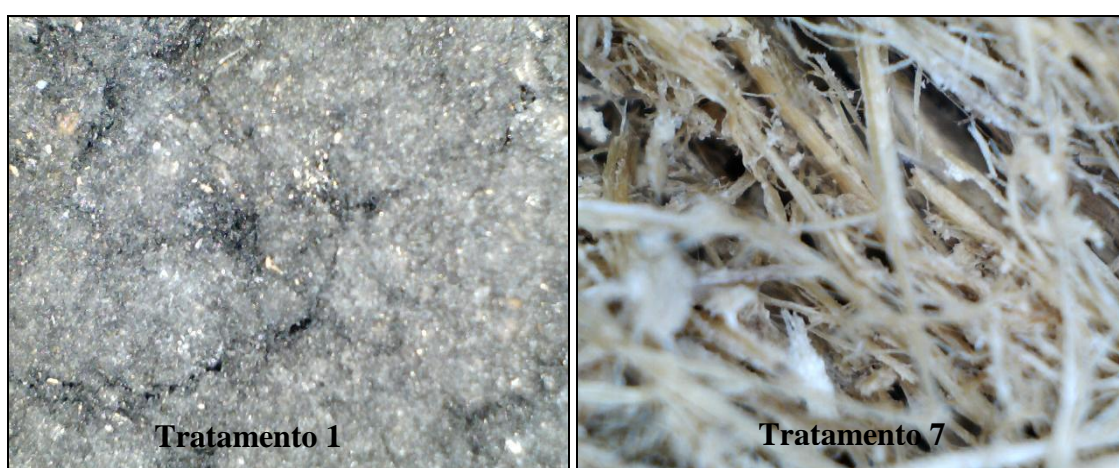


Figura 9. Superfícies dos briquetes formados com 100% de moinha de carvão vegetal (T1) e 100% de resíduos de bambu (T7), visualizadas após um aumento de 800X em microscópio digital.

Como as densidades básica e aparente dos briquetes (g/cm^3) aumentaram à medida que se aumentou a quantidade de moinha de carvão vegetal na composição dos mesmos (Figura 7) e, considerando-se as significativas reduções nas resistências dos briquetes à compressão (kgf/cm^2) nesta mesma direção, foram elaborados os gráficos apresentados nas Figuras 10 e 11, para ilustrarem as possíveis correlações existentes entre as densidades dos briquetes (g/cm^3) e as resistências dos mesmos à compressão (kgf/cm^2).

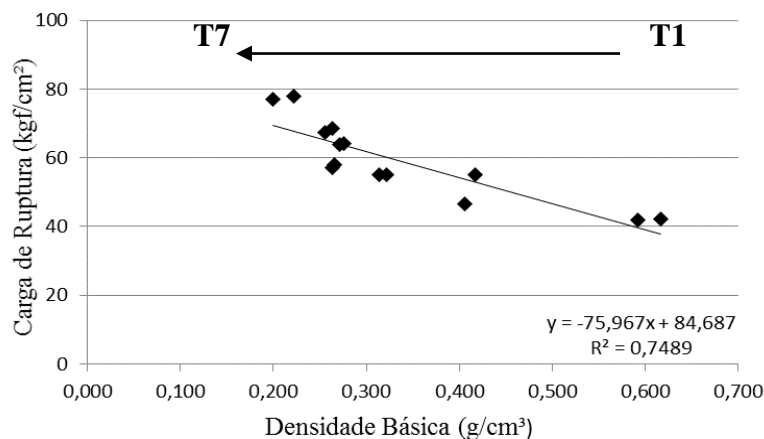


Figura 10. Correlação entre a carga de ruptura (kgf/cm^2) e a densidade básica dos briquetes (g/cm^3).

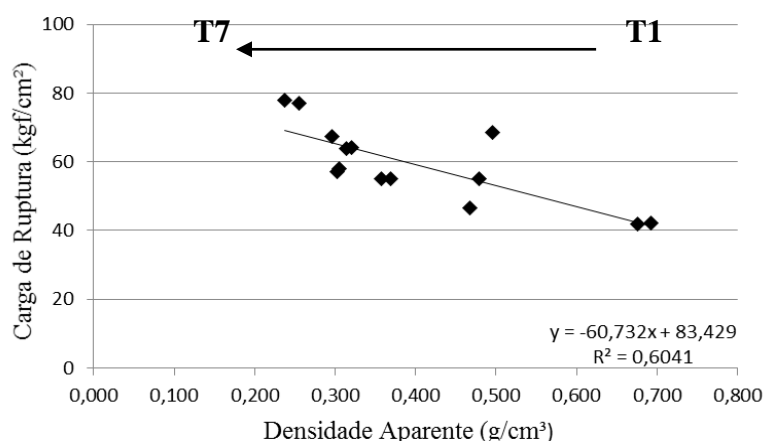


Figura 11. Correlação entre a carga de ruptura (kgf/cm^2) e a densidade aparente dos briquetes (g/cm^3).

As análises das Figuras 10 e 11 permitem afirmar que existe uma correlação negativa entre as densidades básica e aparente dos briquetes (g/cm^3) e a resistência dos mesmos à compressão (kgf/cm^2). Portanto, comprova-se, mais uma vez, que os briquetes com as menores densidades básica e aparente (g/cm^3) foram aqueles que suportaram as maiores forças de compressão (kgf/cm^2), até que ocorressem as suas respectivas rupturas.

Os valores médios das resistências à compressão dos briquetes (kgf/cm^2), para alguns dos tratamentos analisados confeccionados com moinha de carvão vegetal e resíduos de bambu, se apresentaram próximos, ou até mesmo superiores àqueles sugeridos por Quirino et al. (1989) para fins siderúrgicos, em torno de 70 kgf/cm^2 . Os mesmos autores salientam, também, que os briquetes devem apresentar uma elevada resistência à compressão devido ao

fato de serem constantemente submetidos aos impactos, quedas, abrasões e compressões, sobretudo durante o manuseio, transporte e armazenamento.

Na Tabela 4 são apresentados os valores médios das variações granulométricas dos briquetes de resíduos agroflorestais (%), após o ensaio de tamboramento, utilizando-se dois briquetes por tamborada.

Tabela 4. Valores médios das variações granulométricas dos briquetes de resíduos agroflorestais (%), após o ensaio de tamboramento, com dois briquetes por tamborada

Tratamento	Granulometria Média (mm)	Classificação Granulométrica (%)
01	25	15,90
	15	59,99
	05	4,17
	1,5	19,94
02	25	13,13
	15	41,24
	05	3,43
	1,5	42,20
03	25	50,63
	15	14,62
	05	6,18
	1,5	28,57
04	25	58,60
	15	16,32
	05	3,05
	1,5	22,03
05	25	67,38
	15	6,78
	05	4,93
	1,5	20,91
06	25	68,87
	15	7,95
	05	4,04
	1,5	19,14
07	25	79,71
	15	4,40
	05	2,51
	1,5	13,39

Em que: relação moinha de carvão/resíduo de bambu = T₁: 1/0; T₂: 4/1; T₃: 3/2; T₄: 1/1; T₅: 2/3; T₆: 1/4; e, T₇: 0/1.

Excetuando-se os resultados apresentados pelo tratamento 2, onde parece ter havido uma inconformidade entre os materiais misturados, a inclusão dos resíduos de bambu contribuiu positivamente para o aumento da resistência dos briquetes às quedas. Foram notados decréscimos na friabilidade dos briquetes, com uma sensível redução nos índices de quebra dos mesmos, à medida que se diminuiu a quantidade de moinha de carvão vegetal nas suas composições.

Uma alta resistência à queda, o que corresponde a uma baixa friabilidade, também foi observada para os briquetes do tratamento 1 (quando a moinha de carvão vegetal foi prensada pura), ou seja, sem a adição de resíduo de bambu. É provável que tal comportamento esteja relacionado à boa conformação das partículas de carvão vegetal, justapondo-se entre si de uma forma mais organizada, durante a formação do briquete. O mesmo pode ter ocorrido em relação ao tratamento 7, quando os briquetes também apresentaram um baixo grau de fragmentação.

Em termos quantitativos, os extremos de 13,39% e 42,20 % (incremento de 215,16%), correspondem ao menor e ao maior valor médio de geração de fragmentos com granulometria de 1,0 mm (“finos”), os quais foram apresentados pelos briquetes dos tratamentos 7 e 2, respectivamente. Para Benício (2011), é possível a diminuição da friabilidade de briquetes aumentando-se a umidade ou a pressão de compactação, uma vez que estes fatores exercem reais interferências nas interações moleculares observadas na estrutura dos mesmos.

4.3. Ensaio Químico dos Briquetes

A Tabela 5 apresenta os valores médios observados após a realização da análise química imediata, na qual foram determinados os teores de matérias voláteis (TMV), de cinza (TCZ) e de carbono fixo (TCF) dos briquetes.

Tabela 5. Valores médios dos teores de matérias voláteis (TMV), de cinza (TCZ) e de carbono fixo (TCF) dos briquetes, observados após a análise química imediata

Tratamento	TMV (%)	TCZ (%)	TCF (%)
01	21,00 e	27,00 a	52,00 a
02	32,00 d	22,00 ab	46,00 a
03	41,00 d	20,00 b	39,00 b
04	51,00 c	16,00 b	33,00 bc
05	63,00 b	8,00 c	29,00 c
06	73,00 a	6,00 cd	21,00 d
07	81,00 a	2,60 cd	16,40 d

Médias seguidas por uma mesma letra, em cada coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 95% de probabilidade. Em que: relação moinha de carvão/resíduo de bambu = T₁: 1/0; T₂: 4/1; T₃: 3/2; T₄: 1/1; T₅: 2/3; T₆: 1/4; e, T₇: 0/1.

A análise química imediata confirmou a existência de altos teores de matérias voláteis nos briquetes com as maiores quantidades de resíduos de bambu na composição. Também foi possível perceber que, do tratamento 1 ao tratamento 7, acompanhando o aumento gradativo do teor de resíduos de bambu na constituição dos briquetes, ocorreu, paralelamente, um incremento de 285,71% do menor (21,0%) para o maior (81,0%) teor de matérias voláteis (TMV). Isto se deve ao fato de que os resíduos de bambu, durante o período estabelecido para a análise dos matérias voláteis, ou seja, por 11 minutos à 950°C (Norma ASTM D-1764), iniciaram um processo de pirólise rápida, que se converteu à combustão frente a elevada temperatura de análise. Desta forma, houve um brusco decréscimo na massa original do material analítico, frente às drásticas condições térmicas a que estava sendo submetido. Em consequência deste processo, todo o material que foi queimado por combustão (oxidação), jogado para fora do recipiente de análise e as demais possíveis perdas, foi considerado como matérias voláteis que estavam saindo do briquete.

A liberação de compostos voláteis, no caso dos briquetes com os maiores teores de moinha de carvão vegetal na composição, foi muito menos intensa, uma vez que os finos de carvão vegetal já haviam sido submetidos à pirólise lenta no forno de carvoejamento. Durante o processo de carvoejamento, de uma forma muito menos intensa, os gases e vapores foram forçados a sair da lenha de eucalipto (da qual derivou a moinha de carvão) resultando, ao final, numa estrutura carbonosa com menores teores de compostos volatilizáveis na sua constituição química. Em síntese: a moinha de carvão vegetal já havia passado pelo processo de desvolatilização e os resíduos de bambu ainda não.

É comum a moinha de carvão vegetal apresentar teores um pouco maiores de cinza na sua composição, quando comparada com o carvão graúdo produzido na mesma fornada. Percentuais de 30% a 40% superiores podem ser considerados normais, uma vez que o referido material tende a sedimentar-se na região inferior dos fornos, juntamente com alguma cinza gerada de combustões indesejáveis nas outras regiões. Há de se considerar, também, que ao nível do solo encontram-se os tatus, que correspondem às últimas aberturas que serão fechadas antes da(s) chaminé(s) de um forno e, portanto, mais susceptíveis à combustão de parte do material submetido à carbonização. No presente trabalho de pesquisa, além das possibilidades anteriormente apresentadas, deve-se considerar que a moinha de carvão vegetal foi coletada junto ao piso de terra batida do forno de carvoejamento. Sendo assim, é provável que tenha ocorrido a contaminação da mesma com materiais inorgânicos. Mineraiis como a sílica, o cálcio, o sódio e os demais elementos encontrados na base do forno se incorporaram aos finos de carvão vegetal e resultaram em aumentos significativos nos teores de cinza dos briquetes em cujas composições estavam presentes. Também foi possível registrar que, do tratamento 7 ao tratamento 1, acompanhando o aumento gradativo do teor de moinha de carvão vegetal na constituição dos briquetes, ocorreu, paralelamente, um incremento de 938,46% do menor (2,6%) para o maior (27,0%) teor de cinza (TCZ).

O teor de carbono fixo resulta da subtração da massa total do combustível, no caso os briquetes, do somatório dos teores de matérias voláteis e de cinza [$TCF = 100\% - (TMV + TCZ)$]. Como os elevados teores de voláteis dos briquetes com as maiores percentagens de resíduo de bambu se mostraram mais significativos do que os teores de cinza nos briquetes com as maiores percentagens de moinha de carvão vegetal, os teores de carbono fixo nestes últimos foram significativamente maiores. Portanto, quanto maior o teor de moinha de carvão vegetal na composição dos briquetes, maiores foram os teores de carbono fixo dos mesmos. Também foi possível perceber que, do tratamento 7 ao tratamento 1, acompanhando o aumento gradativo do teor de moinha de carvão vegetal na constituição dos briquetes, ocorreu, paralelamente, um incremento de 217,07% do menor (16,4%) para o maior (52,0%) teor de carbono fixo (TCF).

Os teores de carbono fixo observados, embora estejam abaixo da média considerada ideal para fins siderúrgicos (74,0%), permitem a atribuição de inúmeros usos para os briquetes, tais como: queima direta em fogões, fornalhas de caldeiras, caieiras de olarias, fornos de cerâmicas e de cal, pizzarias, padarias, churrasarias, fornalhas de alambiques, secadores de grãos, churrasqueiras e lareiras, forjas, dentre outras aplicações. Vale salientar que, quanto maior o teor de matérias voláteis no combustível, maior será a capacidade do mesmo de gerar chamas. Assim sendo, no caso de usos que exijam a presença de chamas durante o aquecimento, como nas fornalhas de alambiques e de caldeiras, bem como nas caieiras de olarias, é recomendável o uso dos briquetes com os maiores teores de resíduo de bambu na composição. Por outro lado, nos usos onde não é recomendável a formação de chamas durante o aquecimento, como nas churrasqueiras, lareiras, pizzarias, padarias e forjas, os briquetes mais indicados são aqueles com os maiores teores de moinha de carvão vegetal

na composição. Em ambos os casos, devido aos baixos teores de carbono observados, os briquetes de resíduos agroflorestais não são indicados como termorreduzores, por exemplo, em aplicações siderúrgicas e metalúrgicas, bem como em fornos de cimento.

Na Tabela 6 encontram-se os valores médios dos poderes caloríficos superior e inferior dos briquetes de resíduos agroflorestais (kcal/kg), estimados com base nas Equações 1 e 2, apresentadas no item 3.5.

Tabela 6. Valores médios estimados do poder calorífico superior (PCS) e do poder calorífico inferior (PCI) dos briquetes de resíduos agroflorestais, em kcal/kg

Tratamento	Poder Calorífico Superior (kcal/kg)	Poder Calorífico Inferior (kcal/kg)
01	6.427,01 b	5.379,88 c
02	6.620,12 b	5.431,07 c
03	6.478,32 b	5.352,70 c
04	6.786,05 b	5.581,79 bc
05	7.418,11 a	6.050,69 ab
06	7.562,04 a	6.186,86 a
07	7.824,18 a	6.280,93 a

Médias seguidas por uma mesma letra em cada coluna, não diferem estatisticamente entre si (teste de Tukey em nível de 95% de probabilidade de erro). Em que: relação moinha de carvão/resíduo de bambu = T₁: 1/0; T₂: 4/1; T₃: 3/2; T₄: 1/1; T₅: 2/3; T₆: 1/4; e, T₇: 0/1.

Para a discussão de valores relacionados à poderes caloríficos, Andrade (1993) comenta que são necessárias algumas considerações preliminares: 1^a) O poder calorífico de um combustível é incrementado a partir de um sensível aumento no seu teor de carbono fixo ou no seu teor de matérias voláteis; 2^a) Não há como se aumentar, simultaneamente, o teor de carbono e o teor de matérias voláteis, uma vez que existe um antagonismo entre o comportamento destas variáveis; 3^a) O poder calorífico de um combustível diminuirá se o seu teor de cinza aumentar; 4^a) Deve-se associar o aumento do teor de carbono ao aumento do poder de redução e de formação de brasas de um combustível; e, 5^a) O aumento do teor de matérias voláteis deve ser associado ao aumento do poder de combustão e de formação de chamas do combustível.

Neste trabalho de pesquisa, os poderes caloríficos superior e inferior dos briquetes (kcal/kg) se apresentaram em patamares que permitem vinculá-los à inúmeras aplicações. Valores significativamente maiores de poderes caloríficos foram apresentados pelos briquetes com os maiores teores de resíduo de bambu na composição, em decorrência dos seus maiores teores de matérias voláteis. Por outro lado, os poderes caloríficos dos briquetes com os maiores teores de moinha de carvão vegetal na composição, embora inferiores do ponto de vista estatístico, também se apresentaram em níveis satisfatórios para vários usos como combustível. Foi possível perceber que, do tratamento 1 ao tratamento 7, acompanhando o aumento gradativo do teor de resíduo de bambu na composição dos briquetes, ocorreu, paralelamente, um incremento de 21,74% do menor valor médio (6.427,01 kcal/kg) para o maior valor médio (7.824,18 kcal/kg) de poder calorífico superior. No caso do poder calorífico inferior ocorreu, na mesma direção, um incremento de 16,75% do menor valor médio (5.379,88 kcal/kg) para o maior valor médio (6.280,93 kcal/kg).

Valores médios de poder calorífico superior de 6.391 kcal/kg e 4.219 kcal/kg, foram encontrados por Costa (2004) e Brito et al. (1987), respectivamente, que avaliaram o carvão de colmos de *Bambusa vulgaris*. Tais resultados são inferiores aos encontrados na presente pesquisa, o que corrobora para a afirmação de que a briquetagem é um processo viável que melhora a qualidade energética de resíduos agroflorestais, sobretudo no caso daqueles com baixa densidade.

5. CONCLUSÕES

Tendo por base as condições de realização da presente pesquisa e os resultados observados, pode-se concluir que:

1º) Briquetes com maiores densidades (g/cm^3) são produzidos a partir da utilização de maiores teores de moinha de carvão vegetal.

2º) Briquetes mais resistentes à compressão (kgf/cm^2) são produzidos a partir da utilização de maiores teores de resíduo de bambu.

3º) Briquetes mais resistentes às quedas e impactos são produzidos a partir da utilização de maiores teores de resíduo de bambu ou de moinha de carvão vegetal pura.

4º) Briquetes com elevados teores de matérias voláteis são produzidos a partir da utilização de maiores teores de resíduo de bambu.

5º) Briquetes com maiores teores de carbono fixo são produzidos a partir da utilização de maiores teores de moinha de carvão vegetal.

6º) Briquetes com poder calorífico (kcal/kg) adequado para várias aplicações podem ser produzidos com os resíduos agroflorestais ora avaliados.

7º) Briquetes para serem queimados em fornalhas de caldeiras e de alambiques, fogões, olarias, cerâmicas, secadores de grãos, entre outros usos que exijam a presença de labaredas (chamas), podem ser produzidos a partir da utilização de maiores teores de resíduo de bambu.

8º) Briquetes para serem queimados em churrasqueiras, forjas, pizzarias, padarias, entre outros usos que exijam a presença de braseiro sem chamas, são produzidos a partir da utilização de maiores teores de moinha de carvão vegetal.

Recomendações:

1ª) Recomenda-se o uso de moinha de carvão vegetal com menores teores de cinza, para a produção de briquetes com maiores teores de carbono fixo.

2ª) Os resíduos agroflorestais ora analisados, principalmente o resíduo de bambu, carecem de estudos relacionados à produtividade, adequação de equipamentos, entre outros aspectos importantes (custo de produção, disponibilidade e acesso de matéria-prima, tecnologia e mão-de-obra disponíveis etc.).

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, A. M. & CARVALHO, L. M. Potencialidades energéticas de oito espécies florestais do estado do rio de janeiro. **Floresta e Ambiente**, vol. 5, nº 1, jan/dez, 1998, p. 24-42.

ANDRADE, A. M. **Efeito da fertilização mineral e da calagem na produção e na qualidade da madeira e do carvão de eucalipto**. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, 1993, 105p.

_____. **Influência da casca de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden no rendimento e qualidade de carvão vegetal**. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, 1989, 86p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11941/2002**. Madeira – Determinação da densidade básica. Rio de Janeiro, 2003.

BEN – **Balanco Energético Nacional**. Ministério de Minas e Energia. Brasília, 2012.

BENICIO, E.L. **Utilização de resíduo celulósico na composição de briquetes de finos de carvão vegetal**. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais e Ambientais) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Seropédica, 2011, 55p.

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

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

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

BRIQUETES (2012). **Qualidade de briquetes provenientes de resíduos madeireiros**. Disponível em: <http://www.briquetes.com.br>>. Acesso em: 03 dez. 2012.

BRITO, J. O. O uso energético da madeira. **Estudos Avançados**, Piracicaba, v. 21, n. 59, p.185-186, 2007.

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

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

COSTA, T.M.S. **Estudo da viabilidade técnica do emprego do bambu da espécie *Bambusa vulgaris* Schard como carvão vegetal.** Dissertação (Mestrado em Ciência em Tecnologia Nuclear-Materiais) – Instituto de Pesquisa Energéticas e Nucleares – USP. São Paulo, 2004, 62p.

COUTO, L. C.; COUTO, L.; WATZLAWICK, L. F.; CÂMARA, D. Vias de valorização energética da biomassa. **Biomassa e Energia**, vol. 1, n. 1, p. 71-92, 2004.

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

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Projeto Florestas Energéticas.** [S.l.:s.n], 2010.

GAUTHIER, T. G. **Revista O Papel.** n. 9, p. 62-64, 1986 p.

GENTIL, L. V. B. **Tecnologia e economia de briquete de madeira.** Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Nacional de Brasília - UnB. Brasília, 2008, 195p.

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

NETO, J. M.; BALBINOT, R.; MIRANDA, G. M.; SCHIRMER, W. N. Estudo da viabilidade de implantação de uma usina de briquetagem no município de Palmas, Paraná. **Revista da Madeira**, v. 20, n 122, p 64-72, 2010.

NOGUEIRA, L. A. H.; LORA, E. E. S. **Dendroenergia: fundamentos e aplicações.** 2º ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2003. 200 p.

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

OLIVEIRA, J.B.; GOMES, P. A.; ALMEIDA, M. R. **Estudos preliminares de normalização de testes de controle de qualidade do carvão vegetal.** Belo Horizonte, fundação CENTRO TECNOLÓGICO DE MINAS GERAIS, 1982.

PAULA, L. E. R.; TRUGILHO, P. F.; REZENDE, R. N.; ASSIS, C. O.; BALIZA, A. E. R. Produção e avaliação de briquetes de resíduos lignocelulósicos. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Minas Gerais, p. 103-112. 01 jun. 2011.

PEREIRA, F. A.; CARNEIRO, A. C.O.; VITAL, B. R.; DELLA LUCIA, R. M.; PATRÍCIO JÚNIOR, W.; BIANCHE, J. J. Propriedades físico-químicas de briquetes aglutinados com adesivo de silicato de sódio. **Floresta e Ambiente.** V. 16, n. 1, p. 23-29, 2009.

PIETSCH, W. **Roll Pressing**, U.S.A.: heiden, 1976, 137p.

PRADO, G., **Em busca da energia ecológica.** Disponível em <http://www2.correioweb.com.br/cw/2001-08-05/mat_48638.htm> Acesso em: 08 de maio de 2013.

PROTÁSSIO, T. P.; ALVES, I. C. N.; TRUGILHO, P. F.; SILVA, V. O.; BALIZA, A. E. R. Compactação da biomassa vegetal visando a produção de biocombustíveis sólidos. **Pesquisa Florestal Brasileira**, vol. 31, n.68, p.273-283, out/dez, 2011.

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

QUIRINO, W.F. & BRITO, J.O. **Características e índice de combustão de briquetes de carvão vegetal.** Brasília: LPF/IBAMA, 1991, 18p. (Série Técnica, 13).

QUIRINO, W.F.; FONTES, P.J.P.; OKINO, E.Y.A. **Aspectos técnicos da briquetagem de carvão no Brasil.** IBAMA/LPF série técnica nº1. Brasília 1989.

QUIRINO, W.F. & VALE, A.T. Poder calorífico da madeira e de materiais ligno-celulósicos. **Revista da Madeira**, nº 89, abril, 2003, p. 100-106.

SALEME, J. E. F. **Estudo básico para briquetagem do carvão vegetal.** Ouro Preto, Escola de Minas e Metalurgia, 1992, 19p.

SANTIAGO, A. R.; ANDRADE, A. M. Carbonização de resíduos do processamento mecânico da madeira de eucalipto. **Ciência Florestal**. v. 15, n. 1, p. 1-7, 2005.

TOMAZELLO FILHO, M. & AZZINI, A. Estrutura anatômica, dimensões das fibras e densidade básica de colmos de *Bambusa vulgaris* Schrad. **IPEF**, ago., p.43-50, 1987.

TRUGILHO, P.F.; SILVA, D.A.; FRAZÃO, F.J.L.; MATOS, J.L.M. Comparação de métodos de determinação de densidade básica em madeiras. **Acta Amazônica**, 20 (único): 307-319, 1990.

VALE, A. T.; BRASIL, M. A. M.; CARVALHO, C. M.; VEIGA, R.A.A. Produção de energia do fuste de *Eucalyptus grandis* HILL EX-MAIDEN e *Acacia mangium* WILLD em diferentes níveis de adubação. **Revista Cerne**, vol. 06, n.01, p.83-88, 2000.

VALLE, C.E. **Qualidade Ambiental: o desafio de ser competitivo protegendo o meio ambiente.** São Paulo. Pioneira.1995.

VARGAS I. J. Biomassa. In: **Simpósio Nacional sobre fontes convencionais e de energia.** Brasília: Câmara dos Deputados, 1979. p. 626-640.

VASCONCELLOS, G. F. **Biomassa: A eterna energia do futuro.** SENAC, São Paulo, 2002.