



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

THARLES PEREIRA E SILVA

PRODUÇÃO DE BRIQUETES DE RESÍDUOS AGROFLORESTAIS.

Prof. Dr. AZARIAS MACHADO DE ANDRADE
Orientador

SEROPÉDICA, RJ
JUNHO – 2016



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

THARLES PEREIRA E SILVA

PRODUÇÃO DE BRIQUETES DE RESÍDUOS AGROFLORESTAIS.

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

Prof. Dr. AZARIAS MACHADO DE ANDRADE
Orientador

SEROPÉDICA, RJ
JUNHO – 2016

PRODUÇÃO DE BRIQUETES DE RESÍDUOS AGROFLORESTAIS.

THARLES PEREIRA E SILVA

Monografia aprovada em 10 de Junho de 2016.

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Azarias Machado de Andrade – UFRRJ
Orientador

Prof. Dr. Acacio Geraldo de Carvalho – UFRRJ
Membro

Prof. Dr. Edv Oliveira Brito. – UFRRJ
Membro

DEDICATÓRIA

A minha Mãe Lourdes Solange, a meu Pai Aílton e aos meus irmãos Adriano e Leandro que foram minha fonte de inspiração e motivação, dedico.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço a Minha mãe Lourdes Solange Pereira e Silva e a Meu Pai Aílton da Rosa e Silva pois sem eles eu não estaria aqui. Foram minha motivação e me deram sustentação emocional e financeira. Com todo seu esforço, dedicação, anos de luta e muito trabalho me proporcionaram esse momento tão importante. A defesa e confecção desse trabalho é um troféu fruto de anos de estudos e dedicação e é com muito orgulho que digo ele é muito mais de vocês, meus pais, do que meu. Minha eterna gratidão. Eu amo vocês.

Agradeço aos meus irmãos Adriano Pereira e Leandro Pereira por tudo que fizeram por mim e pelo tanto que me incentivaram ao longo dessa graduação. Vocês são tão importantes quanto nossos pais. Nossa família foi base de sustentação para tantos percalços vividos aqui. Minhas sobrinhas Rafaela e Maria Fernanda são também fontes de inspiração para tudo.

Agradeço ao meu Orientador Azarias Machado de Andrade pelos ensinamentos, paciência e compreensão. Exemplo de caráter. Meu muito obrigado por fazer parte desse trabalho e da minha vida acadêmica.

Agradeço a Deus por me iluminar, me dar conhecimento e forças para concluir esse árduo trabalho

Agradeço a Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro por me proporcionar os anos mais incríveis da minha vida até aqui.

Agradeço a Engenharia Florestal e a todos os “floresteiros” que cruzaram meu caminho durante a graduação e de alguma forma me ajudaram.

Agradeço a Medicina Veterinária da UFRRJ por me proporcionar umas das experiências mais incríveis que vivi nessa Universidade, a COPAVET. Luiz Silva (Xup), Paloma Silvestre (Palominha) Magna Lux, Douglas Porto, Leticia Cavalcanti, Marina Mendes, Thiago Santos (Thiagão), Paula Andriotti, Renan Couto, Kleiton Ivanchuk (KLAYTON), Luiz Leoni (Girino), Raphael Comissário (Rapha), Samantha Oliveira, Fabianne Quinta (Fabi), Thayse Lima, Camila Bertassoni, Joe (*In memorian*) e tantos outros amigos feitos aqui na Rural e outras universidades deixo aqui o meu muito obrigado. Valeu muito a pena!

A Turma 2008-2 por todos os anos de convivência. Cada um de vocês foi muito importante nessa caminhada.

Agradecimento especial a você Ananias Francisco Dias Junior, o “Paraíba fanfa” que mesmo depois de formado não deixou de ser um grande amigo e continuou me ajudando. Você é parte importante nessa vitória.

A Luiza von Glehn por ter me ajudado e muito nesse trabalho com incentivo e seu inglês afiado. Você foi muito importante nesse final de caminhada aqui na Rural. Obrigado.

Agradeço aos meus amigos de Passa Três Fernando Marques, Patrícia Valle, Lorryne Almeida, Isabela Valle, Emilena Arcanjo, Evandro Almeida dentre tantos outros que compreenderam a minha ausência nesses anos todos e nunca se afastaram de mim. Sempre me

deram total apoio e torceram por mim mesmo estando fora desse universo paralelo chamado Rural. Minha amizade com vocês é eterna.

Agradeço a todos os moradores que passaram pela República Maracanã desde 2008. Estevão Rezende, Daniel Borges, Rodrigo Müller, Yargos Machado, Vitor Simões, Jéssika Sarcinelle, Gabriela Alves, Beatriz, Larissa Guimarães, Claudia Lima, Marta, Rodrigo Gomes, Romulo Roly, Thiago Oliveira, Thiago Santos, Michael Gregio, Evelyn Motta e Gabriel Costa agradeço de coração pois cada um de vocês me fez crescer um pouco de alguma forma e me fizeram ser o que sou hoje.

Agradeço a FAMÍLIA Maracanã e agregados que me ajudaram e muito a entender o universo ruralino e com vocês passei os melhores momentos de minha vida. Eduardo da Costa Nogueira, Raphael da Costa Miranda, Kaique Miranda da Silva, Jessé Pereira, Vitor Werneck Soares, Allan Castro da Silva, Marcello Souza, Mariana Oliveira Pinheiro, Ana Carolina Ardito e Mariela Markies amo vocês e sou grato por cada palavra, cada minuto de atenção que deram a mim, seja pra ouvir minhas besteiras ou cobranças como bom chefe de família que sou. Cada um de vocês deixou sua marca na minha trajetória pela RURAL. Allan com sua sinceridade e organização, Eduardo com seu companheirismo e as horas na cozinha, Kaique com seu jeito avoadado de ser me dando sempre os melhores conselhos, me fazendo refletir sobre a vida e meu modo de viver e as vezes tentando me fazer jogar LOL e Smite ou me mostrando a “TEORIA”, Marcello que caiu de paraquedas na república e ganhou meu respeito e admiração por toda sua determinação “Mad Max” vai fazer falta na vida lá fora, Mariana e suas dormidas nas festas, o agora Papai Vitor que no espírito de Monstrinho me fez rir até não poder mais dentro de casa e nas nossas milhões conversas empreendedoras uma deu certo e foi concretizada a construção de uma bela amizade.

Agradeço a você Hugo Leonardo Domingues de Paula meu parceiro de quarto, de copavet, de festas, de estudos, mas agora também da vida. Quando te chamei para entrar para Família Maracanã não sabia que seria tão gratificante ter você do meu lado. Amigo para todas as horas, disposto a tudo para poder ajudar. Tantas matérias feitas juntos, tantas aprovações, algumas reprovações também como a de Manejo de Fauna HAHHAHA. Te agradeço por cada instante de risos e reflexões, dos papos cabeça até a piadas infames. Você me fez um ruralino mais feliz!

Agradeço a você Sabrina Alvarenga Soares por ser minha parceira de estudos, por me levar para o bom caminho das aprovações, por ter feito a minha vida de estudos muito mais tranquila. Mas agradeço principalmente por ter se tornado uma irmã que eu nunca tive. Uma das coisas que eu mais tenho prazer de ter ganhado da rural foi sua amizade. É difícil definir em palavras essa gratidão mas pode ter certeza essa vitória é um pouco sua também.

Sou eternamente grato a você Maria Isabel C. C da Rocha por ser desde o primeiro período minha melhor amiga dentro da floresta. Desde ser “seu artilheiro” no primeiro inter período até agora como irmão de república. Uma coisa eu tenho certeza que fiz certo dentro da faculdade, foi o convite que fiz para você vir morar comigo e graças a Deus você aceitou, fez minha vida mais feliz. Você tornou essa difícil tarefa de ser Engenheiro Florestal muito mais alegre e mais leve. Levo nossa amizade pra vida toda. Te amo e te agradeço sempre por fazer parte da minha graduação e da minha vida.

Muito obrigado!

RESUMO

O presente trabalho teve por objetivo avaliar briquetes produzidos com resíduos de cana-de-açúcar e de eucalipto, sob diferentes formulações. Os resíduos de cana-de-açúcar foram doados pela empresa T Pereira e Silva ME situada no município de Rio Claro, RJ. Os resíduos de eucalipto foram obtidos junto ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais do Instituto de Florestas da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. A produção dos briquetes e os ensaios físicos e químicos foram realizados no Laboratório de Energia da Madeira do DPF/IF/UFRRJ. As formulações analisadas foram: 100% de resíduo de eucalipto (T01), 80% de resíduo de eucalipto e 20% de resíduos de cana-de-açúcar (T02), 60% de resíduo de eucalipto e 40% de resíduos de cana-de-açúcar (T03), 50% de resíduo de eucalipto e 50% de resíduos de cana-de-açúcar (T04). As formulações com teores de resíduos de cana-de-açúcar superiores a 50% foram descartadas pois não adquiriram estabilidade física. Foram estimadas a densidade básica, umidade de equilíbrio e ritmo de degradação dos briquetes. Os poderes caloríficos superior e inferior dos briquetes foram estimados a partir de equações ajustadas, utilizando-se como variáveis independentes os valores médios de teor de materiais voláteis (TMV), teor de cinza (TCZ) e teor de carbono fixo (TCF). Foi possível concluir que os resultados dos parâmetros testados não sofreram influência das diferentes proporções de resíduos adotados nos quatro tratamentos. Serão necessários outros estudos para identificar uma relação entre os parâmetros analisados e as interações entre as partículas do eucalipto e da cana-de-açúcar, bem como a utilização de outros aglutinantes.

Palavras-chave: briquete, poder calorífico, eucalipto, cana-de-açúcar.

ABSTRACT

The presente work have the objective to avalue briquette producted with wast of sugar cane and wast of eucalyptus, under diferent formulaton. The wast of sugar cane were donated by the companie T Pereira e Silva ME, located in the city of Rio Claro, RJ. The wast of eucalyptus were obtained by the “Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais do Instituto de Florestas da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro”. The production of briquete and the physical and chemical tests were performed in the “Laboratório de Energia da Madeira DPF/IF/UFRRJ”. The analyzed formulation were: 100% of eucalyputs waste (T01), 80% of eucalyputs waste and 20% of sugar cane waste (T02), 60% of eucalyputs waste and 40% of sugar cane waste (T03), 50% of eucalyputs waste and 50% of sugar cane waste T04), the formulation with levels of waste of sugar cane that were higher than 50% were discarded because they didn't acquired stability. Were estimated the basic density, humidity of balance and rhythm of degradation of briquette. The upper lower calorific powers were estimated equations from adjusted equations, using as independent variables the average values of volatile (TMV), materials content, ash content (TCZ), fixed carbon (TCF. It was possible to conclude that the results of the parameters tested didn't suffer influence of different proportion of adopted waste in the 4 treatment. Or else if needed other studies to identify a relation between the parameters analyzed and the interactions of the particle of eucalyptus and sugar cane as such the use of others different binders

Keywords: briquette, calorific power, sugar cane , eucalyptus

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	ix
LISTA DE FIGURAS	x
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	2
2.1 Resíduos agrofloretais.....	2
2.2 <i>Eucalyptus pellita</i> F. Muell.....	3
2.3 <i>Saccharum sp.</i>	4
2.4 Processo de briquetagem	5
3. MATERIAL E MÉTODOS	7
3.1 Matéria-prima.....	7
3.2 Produção dos briquetes.....	9
3.3 Ensaios químicos dos briquetes.....	11
3.4 Ensaios físicos dos briquetes.....	12
3.5 Análise de dados.....	13
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	14
4.1 Estabilização da umidade higroscópica dos briquetes.....	14
4.2 Ensaios Físicos dos briquetes.....	15
4.3 Ensaios químicos dos briquetes.....	17
5. CONCLUSÃO	20
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	21

LISTA DE TABELAS

	Pag.
Tabela 1. Malhas utilizadas para homogeneização do material	8
Tabela 2. Composição dos briquetes dentro dos respectivos tratamentos.....	9
Tabela 3. Valores médios (%) das umidades de equilíbrio higroscópico dos briquetes	14
Tabela 4. Valores médios das densidades básicas (g/cm^3) e dos ritmos de queima (g/min) dos briquetes.....	16
Tabela 5. Valores médios dos teores de materiais voláteis (TMV), de cinza (TCZ) e de carbono fixo (TCF), obtidos após análise química imediata dos briquetes.....	18
Tabela 6. Valores médios estimados dos poderes caloríficos superior (PCS) e inferior (PCI) dos briquetes de resíduos agroflorestais.....	19

LISTA DE FIGURAS

	Pag.
Figura 1: Moinho de martelo (A), Sarrafos de Eucalipto (B), Bagaço de cana-de-açúcar após processamento em moinho de martelo (C) e Eucalipto após processamento em moinho de martelo (D).....	7
Figura 2: Material exposto ao ar livre para secagem. Em (A) resíduos de eucalipto e (B) os de cana-de-açúcar.....	8
Figura 3: Tratamentos excluídos do experimento por não terem adquirido estabilidade.....	10
Figura 4: Prensa hidráulica e cadinho metálico utilizado como molde para os briquetes.....	10
Figura 5: Briquetes sendo levados à mufla para análise dos teores de materiais voláteis (TMV), de cinza (TCZ) e de carbono fixo (TCF).....	11
Figura 6: Sistema utilizado na determinação do volume dos corpos-de-prova, constituído por balança digital, pinça fixadora e Becker com a água de imersão.....	12
Figura 7: Briquete sendo submetido a oxidação para determinação do ritmo de degradação térmica (g/min).....	13
Figura 8: Briquetes expostos ao ar para o estabelecimento da umidade de equilíbrio com o ambiente.....	15
Figura 9: Correlação entre a densidade básica (g/cm^3) e o ritmo de degradação térmica (g/min) dos briquetes. A seta T1–T4 indica o sentido decrescente das densidades dos briquetes dentro dos respectivos tratamentos.....	17

1. INTRODUÇÃO

O planejamento em infraestrutura é uma das atividades mais importantes no que se diz respeito à economia de um país. A matriz energética nacional é uma ferramenta essencial para prever diferentes cenários de mercado e avaliar seus efeitos, como possíveis riscos ambientais, negócios futuros e impactos em políticas públicas. O Brasil depende basicamente do petróleo e de suas hidrelétricas como fontes de energia (BEN, 2014). O compromisso para redução da emissão de gases de efeito estufa e as condições ambientais, como a falta de chuva que levou o País a passar por dificuldades na produção de energia nos dois últimos anos, deixa clara a necessidade de se buscar fontes alternativas de energia. Essa necessidade orienta para produção de tecnologias sustentáveis para a geração de energia a partir do reaproveitamento de resíduos que podem causar algum prejuízo ambiental, além da possibilidade de se reaproveitar o poder energético contido nesses resíduos (LIMA et. al, 2014; BENÍCIO, 2011; GENTIL 2008).

O aumento significativo de fontes renováveis e uma modificação no uso de derivados de petróleo por biomassa como meio de obtenção e produção de energia podem ser o caminho para a questão energética nacional (BENÍCIO, 2011). O Brasil tem na biomassa uma opção de geração de energia alternativa importante e sustentável e entre os tipos de biomassa mais promissores e que tem maiores níveis de energia e baixo preço, estão os lignocelulósicos, oriundos de espécies nativas ou plantadas e bagaço de cana. (SILVA, 2012; GENTIL, 2008). Segundo Gentil, (2008) são claros e evidentes que os estudos sobre a biomassa na matriz energética nacional devem ser aprofundados já que possuímos uma vasta e pouco utilizada matéria prima que são os resíduos gerados a partir dos descartes madeireiros das serrarias, construção civil e indústria moveleira.

A geração de resíduos madeireiros no Brasil chega a 30 milhões de toneladas anualmente, com 30% de umidade em base úmida, ou seja, um potencial energético de aproximadamente 370 Picojoules valor estimado de US\$ 204 milhões (GENTIL, 2008; MMA, 2009). Os quais poderiam ser usados no processamento de briquetes, que neste contexto, pode-se definir como um processo no qual, partículas de tamanho diminuto provenientes de material sólido é prensado a fim de formar blocos maiores em um formato específico (ANTUNES, 1982), podendo ser aproveitado para gerar calor em fornos, fornalhas,

caldeiras em plantas de eletricidade, industriais, assim como em empresas de serviços como panificadoras, restaurantes e pizzarias. Isso atenderia uma parte do mercado interno e externo e seria o ativo econômico e ambiental gerador de empregos e renda (GENTIL, 2008). Um dos gargalos do setor no Brasil é a falta de informação sobre as tecnologias, economias, biomassa, do processo de produção de briquetes e principalmente sobre a geração de resíduos madeireiros.

Diante do exposto e dentro do contexto acima citado, tem-se como objetivo geral deste trabalho a realização da caracterização física e química de briquetes produzidos com resíduos de *Eucalyptus pellita* e *Saccharum* spp. sob diversas formulações.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Resíduos agrofloretais

Pode-se entender biomassa como toda a matéria vegetal sintetizada a partir de energia solar, CO₂ e água através de um processo essencial denominado fotossíntese (GOMES, 2011), para Protássio et al. (2011) devemos aumentar o uso de fontes renováveis de energia e para isso temos resíduos de diferentes origens. Uma das maiores fontes de resíduos é a proveniente da biomassa agroflorestral que se descartadas de forma incorreta podem causar sérios problemas ambientais.

Os resíduos agrofloretais têm potencial econômico para ser aproveitado e quando isso acontece existe uma vantagem em relação aos combustíveis produzidos a partir do petróleo por serem fruto de carbono neutro. A retirada desses descartes do ambiente para transformá-lo em uma fonte de energia gera renda e emprego para a população (ALMEIDA, 2010).

Ainda em relação às vantagens da utilização da biomassa podemos citar o baixo custo de aquisição, isenção da emissão de dióxido de enxofre, a baixa agressividade das cinzas ao ambiente em relação aos combustíveis fósseis (GRAUER & KAWANO, 2001).

Couto et al. (2004) estimou uma produção de aproximadamente 260 milhões de toneladas de resíduos de biomassa para os próximos anos. Brand, (2010) indica que será um

avanço tecnológico e uma passo importante rumo a autossuficiência energética utilizar essa biomassa como fonte de energia.

A produção de energia a partir da biomassa apresenta uma importância estratégica para o país, uma vez que o período de safra da biomassa normalmente coincide com períodos de baixa hidraulicidade na região sudeste, o que contribui para a uniformização da oferta de energia ao longo do ano (MME, 2011).

A exploração desse potencial pode ser disponibilizada em prazos relativamente curtos, com equipamentos fabricados no Brasil. A biomassa possui uma atratividade fundamentada, principalmente, nas suas características de menor volume de investimentos, prazo de maturação mais curto, e tratamento diferenciado por parte da regulamentação vigente (BRASIL, 2011).

Após análises das tecnologias para produção de energia renovável que já estão devidamente estabelecidas, a biomassa destaca-se por possuir alta eficiência, ser flexível em relação ao suprimento energético de energia elétrica e ser facilmente transportada (CORTEZ et al., 2008).

2.2. *Eucalyptus pellita* F. Muell

Um dos gêneros para cultivos tropicais mais populares é o *Eucalyptus* pertencente a família Myrtaceae possui mais de 700 espécies a grande maioria de origem australiana. As Plantações de eucalipto para fins energéticos são comercialmente bem-sucedidas por terem rápido crescimento sob condições silviculturais adequadas de alta densidade, não apresenta bifurcações nem ramificações e a qualidade da madeira é excelente para usos e produtos específicos (DOMBO, 2010). Muitas espécies do gênero *Eucalyptus* são plantadas hoje no Brasil, tendo como principal destino as indústrias de celulose, de carvão vegetal, de chapas de partículas/fibras e madeira serrada (LATORRACA, 2015). Esse gênero também é tolerante a variedade de solos e condições de localização, e é resistente a pragas e doenças. Uma espécie importante dentro do gênero é o *Eucalyptus pellita* F. Muell, ele atende a todos esses critérios, uma vez que já se revelou uma excelente escolha para reflorestamento em lugares com alta pluviosidade, estações secas distintas e as condições do solo pobres. (DOMBO, 2010)

Eucalyptus pellita apresenta árvores de tamanho médio de 40 m de altura, com excelente forma do fuste, casca dura e persistente. Apresenta bom crescimento e alta taxa de sobrevivência quando cultivada em plantações localizadas tanto dentro de sua distribuição natural ou quando exótico em regiões com precipitação média anual de 1080 a 3.550 milímetros e a temperatura média anual de 19 a 27 ° C (CLARKE et al., 2009). Desenvolve-se melhor em vales, na parte seca e quente próximo a ribeirões e solos que variam de rasos e arenosos a argilosos e profundos (IPEF, 2010). Trata-se de uma espécie de alto crescimento com valores que podem chegar de 25 a 40 m³/ha/ano (CHARRIA et al, 2014). A madeira dessa espécie é facilmente serrada e adequada para polos, pisos, painéis e construção em geral (HILLIS & BROWN 1978). *Eucalyptus pellita* tem uma densidade de 995 kg / m³ a 12% de teor de umidade, o que significa que há aproximadamente 1,0 metro cúbico de madeira serrada por tonelada. (DOMBO, 2010)

E. pellita é usado para uma variedade de produtos. A madeira serrada é usada para fazer móveis finos e na construção, assim como para muitas outras finalidades (CLARKE et al., 2009). Além disso é também uma das principais matérias-primas para a indústria de celulose e papel (DOMBRO, 2010); sua polpa Kraft tem propriedades aceitáveis para à fabricação do papel (CLARKE et al., 2009). Além dos usos tradicionais *Eucalyptus pellita* tem uma excelente reputação como uma fonte de carvão e lenha. Por exemplo, pode ser queimada para carvão sem cinzas. A madeira tem um alto poder calorífico chegando a 4800 kcal por kg. Isso faz com que a espécie seja uma excelente fonte de energia renovável, e uma fonte para a produção de briquetes de carvão e aglomerados de madeira. Várias organizações estão divulgando a árvore como uma fonte importante de energia para região tropical (IPEF; DOMBO, 2010).

2.3. Cana-de-açúcar

A cana-de-açúcar pertence à família Poaceae e ao gênero *Saccharum* é uma dentre as várias espécies desse gênero. Atualmente nos plantios comerciais do Brasil e do mundo somente genótipos híbridos são utilizados. (SCARPARI & BEAUCLAIR, 2008).

Essa hibridização é consequência da busca por cultivares que tenham rusticidade, resistência a pragas e doenças, maiores concentrações de açúcares, produtividade por área otimizada dentre outras características desejadas (DANIELS & ROACH, 1987).

O Brasil é uma potência no que diz respeito a produção de cana-de-açúcar e seus derivados e chama atenção do mundo já que a demanda por energias sustentáveis aumenta a cada dia e o bagaço da cana é cada vez mais utilizada para este fim (CHEAVEGATTI-GIANOTTO et al., 2011).

A produção brasileira de cana-de-açúcar destinada à indústria, é estimada para a safra 2015/16 em torno de 654,6 milhões de toneladas e continuam em expansão. As lavouras são encontradas em todas regiões do país, porém a região centro-sul é o carro chefe da produção (CONAB 2015).

No Brasil, o agronegócio da cana-de-açúcar é responsável por mais de US\$ 20 bilhões/ano e é um dos principais setores geradores de empregos diretos e indiretos. O país produz 39% da cana de açúcar mundial, sendo o maior produtor. O Estado de São Paulo é o mais importante produtor de açúcar e etanol a partir da cana-de-açúcar, com cerca de 56% produção nacional na safra 2014-2015 (CONAB, 2014).

A quantidade de estudos relacionados a cana-de-açúcar e seus derivados é relevante e crescente, porém não cresce como a demanda pede, visto que essa espécie tem importância mundial em termos de fonte de energia sustentável. (CHEAVEGATTI-GIANOTTO et al., 2011; LANDELL & BRESSIANI, 2008).

2.4. Processo de briquetagem

A briquetagem pode ser definida como o processo de densificação de pequenas partículas para facilitar o manuseio do material *in natura*, manipulação para transporte, estocagem e aumentar o poder calorífico da biomassa. O material para briquetagem inclui resíduos da indústria madeireira, biomassa e outros resíduos que podem ser inflamáveis. As tecnologias para briquetagem podem ser divididas em: compactação com alta pressão, compactação com média pressão aliado a alta temperatura e compactação com baixa pressão com a utilização de aglutinantes (WALAIPON, 2009). Existem ainda outras classificações como a que Walaipon, (2009) propõe dividindo o processo em três categorias principais: extrusão, rolo de briquetes e pistão. Uma das tecnologias mais otimistas para aliviar os problemas é a briquetagem a qual tem sido estudada por muitos pesquisadores. Essa tecnologia pode melhorar as características de manuseio do material *in natura* e aumentar o

poder calorífico da biomassa. Existem muitas pesquisas sobre a tecnologia da briquetagem. A umidade do conteúdo deve ser a mais baixa possível, geralmente entre 10% a 15%, a alta umidade do conteúdo irá causar problemas na moagem ou trituração para secagem e em consequência requerer muita energia.

O resíduo de biomassa normalmente tem menos teor de cinza, mas a sua cinza tem maior porcentagem de minerais alcalinos especialmente potássio. Esses constituintes têm a tendência de volatilizar durante a combustão.

Os resíduos agroflorestais como o bagaço de cana-de-açúcar têm alto teor de umidade podendo chegar a 50% após a moagem, portanto é necessário haver secagem. Eles têm baixo teor de cinzas e poder calorífico na ordem de 4400 kcal / kg.

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).

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). Esses insumos 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 & Vale (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 & VALE, 2003).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Matéria-prima

Os briquetes foram produzidos a partir de resíduos agroflorestais. As espécies utilizadas foram *Eucalyptus pellita* e *Saccharum sp.* O eucalipto procede de um plantio da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro com 26 anos de idade, plantados a um espaçamento de 3m x 2m, sem nenhum tipo de adubação. O material foi doado como resíduo de um experimento do Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais e Florestais, realizado no Departamento de Produtos Florestais do Instituto de Florestas. O bagaço de cana-de-açúcar (*Saccharum sp.*) foi doado pela Microempresa T PEREIRA E SILVA ME situada no município de Rio Claro, Estado do Rio de Janeiro.

Os sarrafos de eucalipto e o bagaço da cana-de-açúcar foram picados em pedaços menores entre 5 cm e 20 cm de comprimento e levados para processamento em moinho de martelo.



Figura 1. Moinho de martelo (A), Sarrafos de Eucalipto (B), Bagaço de cana-de-açúcar após processamento em moinho de martelo (C) e Eucalipto após processamento em moinho de martelo (D).

Após o processamento em moinho de martelo, os materiais foram homogeneizados em peneiras de diferentes malhas, definidas na Tabela 1.

Tabela 1. Malhas utilizadas para homogeneização do material

Grãos	Malha (mm)	Diâmetro do arame (mm)
Arroz	2,08	0,46
Feijão	3,70	0,56
Café	5,50	0,89

O bagaço da cana-de-açúcar e os resíduos de Eucalipto foram peneirados para homogeneização. O material retido nas peneiras foi descartado e somente o que havia passado pelas 3 malhas foi aproveitado, ou seja, aquele que passou pela peneira de arroz. Após o acondicionamento em um recipiente adequado o material foi levado para secagem ao ar livre.



Figura 2. Material exposto ao ar livre para secagem. Em (A) resíduos de eucalipto e (B) os de cana-de-açúcar.

A umidade média (base úmida) foi estimada retirando-se 10 amostras aleatórias do material que seria utilizado na produção dos briquetes e pesando-as em balança analítica com duas casas decimais. Em seguida as amostras foram levadas para uma estufa regulada a 105 °C ± 3°C onde permaneceram por 48 horas. Para a determinação do teor de umidade das amostras utilizou-se a seguinte fórmula:

$$Ubu(\%) = \frac{\{\text{Peso úmido (g)} - \text{Peso seco (g)}\}}{\text{Peso úmido (g)}} \times 100$$

Onde: Ubu (%) = Umidade em base úmida.

3.2. Produção de briquetes

A produção dos briquetes se deu a partir da mistura, em diferentes proporções, dos resíduos de eucalipto e do bagaço de cana-de-açúcar. A Tabela 2 mostra a disposição dos tratamentos analisados.

Tabela 2. Composição dos briquetes dentro dos respectivos tratamentos

TRATAMENTO	COMPOSIÇÃO DO BRIQUETE	PROPORÇÃO E/BCA
1	100% resíduos de eucalipto	1/0
2	80% resíduos de eucalipto e 20% bagaço de cana de açúcar	4/1
3	60% resíduos de eucalipto e 40% bagaço de cana de açúcar	3/2
4	50% resíduos de eucalipto e 50 % bagaço de cana de açúcar	1/1

Em que: E = Eucalipto e BCA = Bagaço de Cana-de-açúcar.

A produção dos briquetes de resíduos agroflorestais foi feita no interior de um molde cilíndrico de metal, utilizando-se uma prensa hidráulica com a capacidade de 15 toneladas.

Como aglutinante foi utilizado PVA (Poliacetato de Vinila) a 1%. A homogeneização do material junto ao aglutinante foi feita em um Becker e sua consistência final permitiu a confecção dos briquetes exceto quando as proporções de bagaço de cana-de-açúcar excederam 50%. A partir dessa proporção os briquetes não adquiriram estabilidade e conseqüentemente foram excluídos do experimento.



Figura 3. Tratamentos excluídos do experimento por não terem adquirido estabilidade.

A figura 4 mostra a prensa sendo utilizada no momento da confecção de um briquete. A prensa exerce uma carga de 15 toneladas no molde metálico onde se encontra os resíduos agroflorestais.



Figura 4. Prensa hidráulica e cadinho metálico utilizado como molde para os briquetes.

3.3. Ensaios químicos 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:

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

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

Em que:

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

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

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

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



Figura 5. Briquetes sendo levados à mufla para análise dos teores de materiais voláteis (TMV), de cinza (TCZ) e de carbono fixo (TCF).

3.4. Ensaios físicos dos briquetes

Determinou-se a densidade básica (g/cm^3) dos briquetes 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 6 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 pinça, para a adequada fixação dos corpos-de-prova.

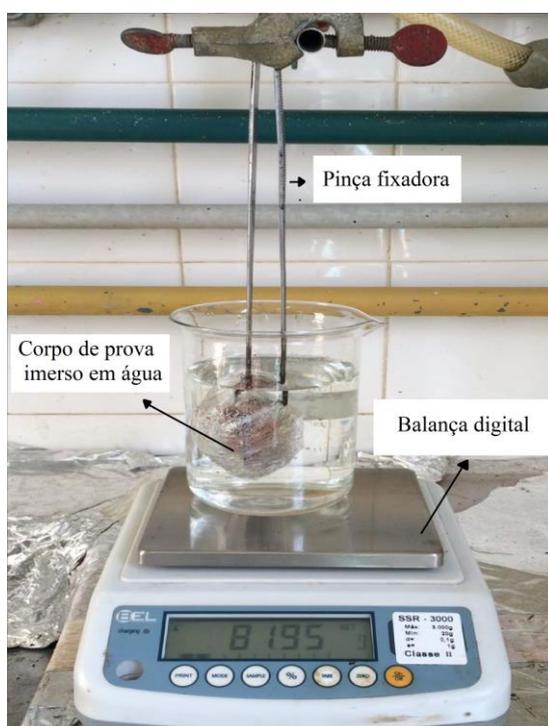


Figura 6. Sistema utilizado na determinação do volume dos corpos-de-prova, constituído por balança digital, pinça fixadora e Becker com a água de imersão.

O ritmo de degradação térmica dos briquetes, em g/min , foi determinado a partir da queima do mesmo sob a ação de uma chama de gás butano por um período de 5 minutos. Após esse tempo os briquetes eram pesados e por diferença da massa inicial e da massa final de cada briquete, o ritmo de queima era definido por uma média simples através da equação apresentada a seguir:

$$\text{Ritmo de Queima (g/min)} = \frac{\text{massa inicial (g)} - \text{massa final (g)}}{\text{tempo (minutos)}}$$

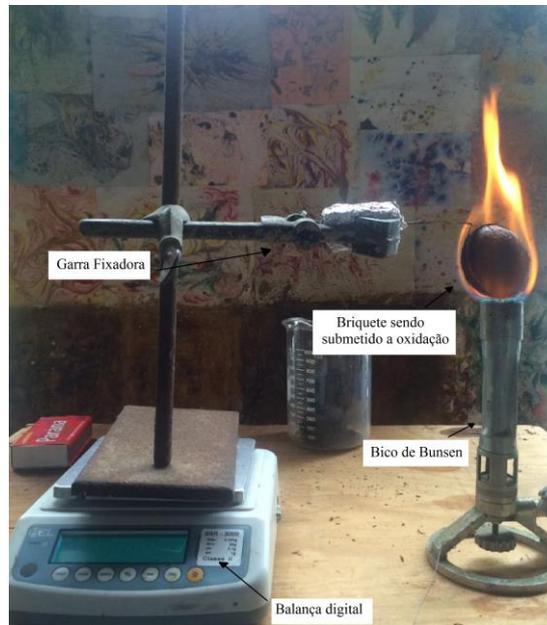


Figura 7. Briquete sendo submetido à oxidação para determinação do ritmo de degradação térmica (g/min).

3.5. Análise dos dados

A análise dos dados foi realizada com base num delineamento estatístico inteiramente casualizado, com 4 tratamentos e 5 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

4.1. Teor de Equilíbrio Higroscópico dos Briquetes

A Tabela 3 apresenta os valores médios de umidade de equilíbrio higroscópico dos briquetes após secagem ao ar.

Tabela 3. Valores médios (%) das umidades de equilíbrio higroscópico dos briquetes

TRATAMENTO	COMPOSIÇÃO DO BRIQUETE	Umidade de Equilíbrio (%)
1	100% resíduos de eucalipto	12,84 a
2	80% resíduos de eucalipto e 20% bagaço de cana de açúcar	13,31 a
3	60% resíduos de eucalipto e 40% bagaço de cana de açúcar	14,02 a
4	50% resíduos de eucalipto e 50 % bagaço de cana de açúcar	15,01 a

Médias seguidas por uma mesma letra na coluna indicam que não houve diferença estatística entre elas usando o teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

A Figura 8 apresenta os briquetes sendo submetidos à secagem ao ar até a estabilização das suas umidades com a umidade do ambiente.



Figura 8. Briquetes expostos ao ar para o estabelecimento da umidade de equilíbrio com o ambiente.

Foram observadas diferenças entre os valores absolutos dos teores de equilíbrio higroscópico dos briquetes, com uma tendência ao aumento à medida que se elevava o percentual de bagaço de cana-de-açúcar na composição dos mesmos. Porém, não foram detectadas diferenças estatísticas entre tais valores pelo teste de Tukey a 5% de significância. Portanto, a composição dos briquetes não interferiu significativamente nos teores de equilíbrio higroscópico dos mesmos.

4.2. Ensaio Físicos dos briquetes

A tabela 4 apresenta os valores médios da densidade básica (g/cm^3) e dos ritmos de degradação térmica (g/min) dos briquetes.

Tabela 4. Valores médios das densidades básicas (g/cm^3) e dos ritmos de queima (g/min) dos briquetes

Tratamento	Densidade Básica (g/cm^3)	Ritmo de Queima dos Briquetes (g/min)
01	0,65 a	2,99 a
02	0,45 b	2,33 a
03	0,41 c	3,17 a
04	0,36 d	2,79 a

Médias seguidas por uma mesma letra na coluna indicam que não houve diferença estatística entre elas usando o teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

Em relação aos valores de densidade básica pode-se observar que houve diferença estatística entre todos os tratamentos, com a tendência de diminuição da densidade conforme se aumentava a proporção de resíduos de cana-de-açúcar na composição dos briquetes. Tal comportamento corrobora com a afirmação de Silva & Morais (2008) de que a densidade básica da cana-de-açúcar é de cerca de $0,14 \text{ g/cm}^3$ e a do *Eucalyptus pellita* é de $0,65 \text{ g/cm}^3$. Isso explica a significativa queda na densidade básica dos briquetes à medida que se aumenta o teor de bagaço de cana-de-açúcar na composição dos mesmos.

Não houve diferença estatística, ao nível de 5% de significância, entre os valores médios dos ritmos de degradação térmica dos briquetes. Dias Júnior (2013) e Nunes (2014), trabalhando com briquetes de resíduos agroflorestais, encontraram valores médios de ritmos de queima próximos aos observados nesse estudo (variando entre 2,4 e $4,95 \text{ g/min}$). De acordo com os referidos autores, dentro do tempo previamente estipulado para a queima, os valores observados são plausíveis e indicam que os briquetes irão se degradar uniformemente, independentemente da sua composição.

A figura 9 mostra a correlação entre a densidade básica (g/cm^3) e o ritmo de degradação térmica (g/min) dos briquetes, ambas consideradas variáveis de elevada importância para os estudos termogravimétricos de briquetes.

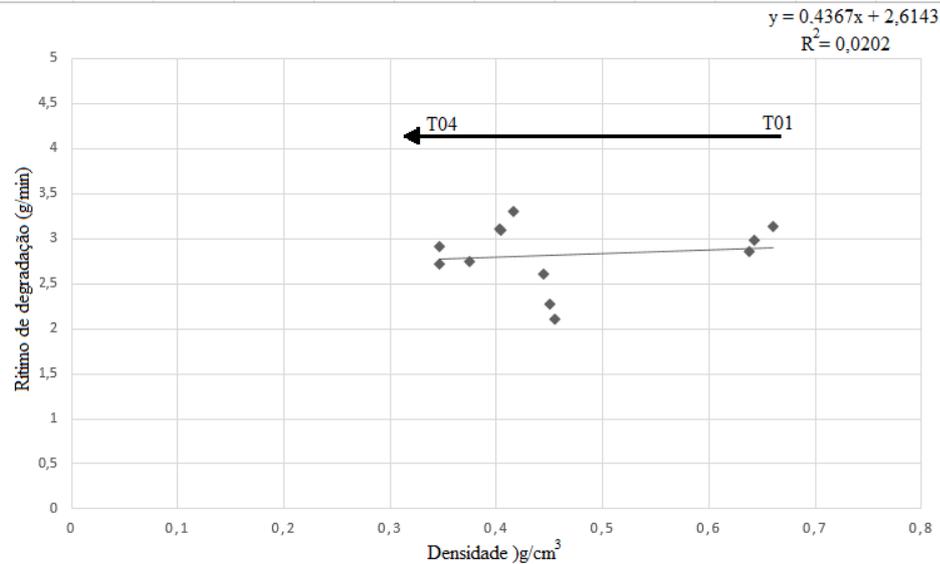


Figura 9. Correlação entre a densidade básica (g/cm^3) e o ritmo de degradação térmica (g/min) dos briquetes. A seta T1–T4 indica o sentido decrescente das densidades dos briquetes dentro dos respectivos tratamentos.

A Figura 9 mostra que não há correlação entre a densidade básica (g/cm^3) e o ritmo de degradação térmica (g/min) dos briquetes. Desta forma, os ritmos de queima não apresentaram uma tendência em função das alterações ocorridas nas densidades básicas dos briquetes. Portanto, os resultados expressam que, dentro das condições estabelecidas na presente pesquisa, a densidade básica não irá interferir significativamente no tempo de queima do briquete. Conseqüentemente, independentemente das suas composições e durante períodos de tempo semelhantes, os briquetes ora analisados gerarão energia térmica para cozinhar alimentos, secar grãos, aquecer ambientes, assar churrascos, entre outras atribuições que exijam energia calorífica.

4.3 Ensaio químicos dos briquetes

A Tabela 5 apresenta os valores médios obtidos após a análise química imediata dos briquetes, determinando-se os teores de materiais voláteis (TMV), de cinza (TCZ) e de carbono fixo (TCF).

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

TRATAMENTOS	TMV	TCZ	TCF (%)
01	78,33 a	0,85 a	21,82 a
02	78,33 a	1,30 b	21,37 a
03	80,00 a	1,53 c	18,47 b
04	78,33 a	1,50 d	21,83 a

Médias seguidas por uma mesma letra na coluna indicam que não houve diferença estatística entre elas usando o teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

A análise química imediata indicou a presença de altos teores de materiais voláteis em todos os tratamentos havendo uma pequena diferença nos valores absolutos, porém sem diferença estatística significativa, usando o teste de Tukey a 5% de significância.

A partir da análise dos valores médios apresentados na Tabela 5, resultantes da análise química imediata dos briquetes, somente é possível se afirmar com uma certa segurança que os mesmos apresentaram altos teores de materiais voláteis. Neste caso, os valores médios, que variaram de 78,33% a 80,00% (Carvão Vegetal = 18 a 25%), indicam a boa qualidade do combustível para a queima direta em fornalhas de caldeiras e de secadores de grãos, bem como em fornos de cerâmicas, de padarias e de pizzarias. Tal afirmação, além de estar lastreada na literatura técnica vigente (SANTIAGO & ANDRADE, 2005; DIAS JÚNIOR, 2013), está vinculada à liberação, durante a queima de combustíveis com esta característica, de grandes volumes de gases voláteis inflamáveis (CO, CH₄, C₂H₆, C₃H₈, C₄H₁₀, C₅H₁₂, C_nH_{2n+2}, H₂, etc.), resultando em grandes quantidades de labaredas.

Na Tabela 6 encontram-se os valores médios dos poderes caloríficos superior e inferior dos briquetes de resíduos agrofloretais (kcal/kg), estimados com base nas Equações 1 e 2, apresentadas no item 3.3.

Tabela 6. Valores médios estimados dos poderes caloríficos superior (PCS) e inferior (PCI) dos briquetes de resíduos agroflorestais

TRATAMENTOS	Poder Calorífico Superior (Kcal/Kg)	Poder Calorífico Inferior (Kcal/Kg)
01	7974,00 a	7670,00 a
02	7937,00 a	7633,00 a
03	7915,00 a	7611,00 a
04	7924,00 a	7620,00 a

Médias seguidas por uma mesma letra na coluna indicam que não houve diferença estatística entre elas usando o teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

Para a discussão de valores relacionados aos 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.

Em virtude das características físicas, químicas e térmicas adquiridas pelos briquetes, os valores médios relacionados aos seus poderes caloríficos superior e inferior (kcal/kg) se mostraram elevados e adequados para inúmeras aplicações energéticas. Porém, tais valores médios se comportaram de uma forma inconsistente, não permitindo as interpretações com certa segurança. Pesquisando alguns resíduos lignocelulósicos para fins energéticos, Paula (2010) encontrou valores médios de poder calorífico superior abaixo dos observados na presente pesquisa para a casca de arroz (3628,5 kcal/kg), caule de café (4334,5 kcal/kg) e bagaço de cana-de-açúcar (4065,0 kcal/kg).

5. CONCLUSÕES

Tendo por base as condições em que a presente pesquisa foi realizada e os resultados observados, conclui-se que:

1º) Briquetes com maiores densidades (g/cm^3) são produzidos a partir da utilização de maiores teores de resíduos de *Eucalyptus pellita*.

2º) Briquetes com maiores proporções de bagaço de cana-de-açúcar apresentaram uma tendência ao aumento dos níveis de umidade de equilíbrio (até 15,01%), porém as diferenças não se mostraram significativas.

3º) Os ritmos de degradação térmica (g/min) dos briquetes não são afetados significativamente pela composição e pela umidade de equilíbrio dos mesmos.

4º) Os briquetes produzidos sob as condições ora analisadas apresentam elevados teores de materiais voláteis e baixos teores de cinza e de carbono fixo.

5º) Briquetes com poderes caloríficos (kcal/kg) adequados para várias aplicações podem ser produzidos com os resíduos agroflorestais ora analisados.

6º) Os altos teores de materiais voláteis e a conseqüente liberação de gases inflamáveis pelos briquetes favorecem a geração de labaredas.

7º) Situações que exijam a presença de labaredas como em fornalhas de caldeiras e de alambiques, fogões, olarias, cerâmicas, secadores de grãos podem utilizar as diferentes composições de briquetes avaliadas nesse trabalho.

Recomendações Técnicas:

1º) São necessários estudos mais aprofundados sobre as interações químicas e físicas existentes entre os resíduos ora analisados.

2º) Os resíduos agroflorestais ora analisados, principalmente o resíduo de cana-de-açúcar, carece de algumas avaliações em relação ao custo, sazonalidade, tecnologia e mão-de-obra disponíveis, etc.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA A. N; ÂNGELO H; GENTIL L. B; SILVA J. C. G. L. Demanda de briquete de madeira. **FLORESTA**, Curitiba, v. 41, n. 1, p. 73-78, jan./mar. 2011.
- ANDRADE, A. M. **Efeito da fertilização mineral e da calagem na produção e na qualidade da madeira e do carvão de eucalipto**. 1993. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, 1993, 105p.
- ANTUNES, R.C. **Briquetagem de Carvão Vegetal**. Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais - CETEC. Produção e Utilização de Carvão Vegetal. Belo Horizonte – MG, Série de Publicações Técnicas n.8, p: 197 - 206, 1982.
- BEN – **Balanco Energético Nacional**. Ministério de Minas e Energia. Brasília, 2014.
- 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.
- BRAND, M. A. **Energia de Biomassa Florestal**. Rio de Janeiro: Interciência, 2010.
- BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Plano Decenal de Expansão de Energia**. Brasília. 2011.
- CHARRIA D.L.G *et al.* **Estimación indirecta de la densidad de la madera mediante el uso De pilodyn en la selección de clones de *Eucalyptus pellita* f. Muell.** Colombia Forestal Vol. 17(2) 181 - 192/ Dezembro, 2014
- CHEAVEGATTI-GIANOTTO et al. Sugarcane (*Saccharum X officinarum*): A Reference Study for the Regulation of Genetically Modified Cultivars in Brazil. **Tropical plant biology**, Berlin, v. 4, n. 1, p 62-89, 2011.
- CLARKE B, MCLEOD I & VERCOE T. Trees for farm forestry: 22 promising species. A report for the RIRDC/Land & Water Australia/ FWPRDC Joint Venture **Agroforestry Program**. 239 pages.2009.
- CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. Cana-de-açúcar, Safra 2014/2015. Primeiro levantamento, Abril de 2015. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>> Acesso em: 05 de Maio de 2016.
- CORTEZ L. A. B.; LORA E. E. S.; GÓMEZ E. O (Org.). **Biomassa para energia**. In: Campinas, São Paulo. Editora da UNICAMP, 2008.
- 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.
- DANIELS, J.; ROACH, B. T. **Taxonomy and evolution**. In. HEINZ, D. J. (Ed). Sugarcane improvement trough breeding. Amsterdam: Elsevier, 1987. p.7-84.

DIAS JÚNIOR, A.F. **Caracterização de briquetes produzidos com resíduos agroflorestais**. 2013. 25f. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica.

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

DOMBO D.B. *Eucalyptus pellita*: **Amazonia Reforestation's red mahogany—an e-book for tropical tree investors**. <[http://www. myreforestation.com](http://www.myreforestation.com)>. Acessado em 11 Novembro 2015.

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

GOMES, I. A. S. **Desenvolvimento de um reator de carbonização pressurizada para resíduos agroindustriais**. Dissertação (Mestrado em Ciências Mecânicas) – Universidade de Brasília, Distrito Federal, 2011, 126 p.

GRAUER, A. KAWANO, M. **Uso de Biomassa para Produção de Energia**. Disponível em <<http://www.ambientebrasil.com.br>>. Acesso em 08/11/2015.

HILLIS W.E & BROWN AG. **Eucalypts for wood production**. CSIRO, Canberra.1978.

IPEF. Chave de identificação de indivíduos florestais. Disponível em: <<http://www.ipef.br/identificacao/cief/especies/pellita.asp>>. Acessado em: 25 de abril de 2016.

LANDELL, M. G. A.; BRESSIANI, J. A. Melhoramento genético, caracterização e manejo varietal. In: DINARDO-MIRANDA, L. L.; VASCONCELOS, A. C. M.; LANDELL, M. G. A. **Cana-de-açúcar**. Campinas, SP: Instituto Agrônômico. p.101-155. 2008.

LATORRACA, J. V. F; DIAS JÚNIOR A. F.; SILVA G. C.; PACE J. H. C.; CARVALHO A. M. Anelamento e vaporização de toras visando otimização do processo de secagem da madeira eucalipto. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**. v.10, n.2, p.273-279, 2015.

LIMA M. T. S. L.; SOUZA M. C.; FLORES T. S.; CRUZ N. G. S.; DIAMANTINO H. D.; BARROSO L. A.; ROCHA B. A.; SOUZA R. L. M.; RAMOS P. C.; MACEDO M. H. M. Sobre a Situação Energética Brasileira: De 1970 a 2030. **Ciência e Natura**, Santa Maria, v. 37 Ed. Especial UFVJM, p. 06 - 16, 2014.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Levantamento sobre a geração de resíduos provenientes da atividade madeireira e proposição de diretrizes para políticas, normas e condutas técnicas para promover o seu uso adequado**. Brasília. 2009.

NUNES, E. Z. **Caracterização de briquetes produzidos com resíduos de eucalipto (*eucalyptus pellita*) e coco da baía (*cocos nucifera*)**. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica.

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. de R. **Produção e avaliação de briquetes de resíduos lignocelulósicos**. 2010. 35f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, Minas Gerais.

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.

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

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.

SCARPARI, M. S.; BEAUCLAIR, E. G. F. Anatomia e botânica. In: DINARDOMIRANDA, L. L.; VASCONCELOS, A. C. M.; LANDELL, M. G. A. **Cana-de-açúcar**. Campinas, SP: Instituto Agrônomo, p.47-56. 2008.

SILVA, M.B, MORAIS A.S. **Avaliação energética do bagaço de cana em diferentes níveis de umidade e graus de compactação**. XXVIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção. A integração de cadeias produtivas com a abordagem da manufatura sustentável. Rio de Janeiro, RJ, 2008.

SILVA R. I. **Avaliação de fontes alternativas para geração de energia elétrica a partir da biomassa de palha da cana: uma abordagem por opções reais**. Dissertação (Mestrado em Administração de Empresas) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012, 77 p.

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.

WALAIPON, P. The Effect of Briquetting Pressure on Banana-peel Briquette and the Banana Waste in Northern Thailand. **American Journal of Applied Sciences**. vol 6 (1), p 167-171, 2009.