



UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENERGIA DA
BIOMASSA



FRANCIS SOUZA PEREIRA DA SILVA

QUALIDADE DE PELETES DE RESÍDUOS DE JAQUEIRA (*Artocarpus heterophyllus* Lam.) MEDIANTE TORREFAÇÃO E ADIÇÃO DE ÓLEO

MACEIÓ - AL

2019

FRANCIS SOUZA PEREIRA DA SILVA

QUALIDADE DE PELETES DE RESÍDUOS DE JAQUEIRA (*Artocarpus heterophyllus* Lam.) MEDIANTE TORREFAÇÃO E ADIÇÃO DE ÓLEO

Dissertação de Mestrado apresentada à coordenação do Programa de Pós-Graduação em energia da Biomassa da Universidade Federal de Alagoas, como requisito final para a obtenção do grau de Mestre em Energia da Biomassa.

Orientadora: Prof^a Dr^a Vânia Aparecida de Sá

MACEIÓ - AL

2019

Catálogo na fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Campus de Engenharias e Ciências Agrárias
Bibliotecária Responsável: Myrtes Vieira do Nascimento

S586q Silva, Francis Souza Pereira da
Qualidade de peletes de resíduos de jaqueira (*Antocapus heterophyllus* Lam.) / Francis Souza Pereira da Silva – 2019.
38 f.; il.

Dissertação (Mestrado Profissional em Energia da Biomassa) -
Universidade Federal de Alagoas, Campus de Engenharias e
Ciências Agrárias. Rio Largo, 2019.

Orientação: Prof^a. Dr^a. Vânia Aparecida de Sá

Inclui bibliografia

1. Biomassa florestal. 2. Energia renovável. 3. Preservação
ambiental. I. Título.

CDU: 620.92

FRANCIS SOUZA PEREIRA DA SILVA

TERMO DE APROVAÇÃO

**QUALIDADE DE PELLETES DE RESÍDUOS DE JAQUEIRA MEDIANTE
TORREFAÇÃO E ADIÇÃO DE ÓLEO RESIDUAL.**

Esta dissertação foi submetida a julgamento como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre Profissional em Energia da Biomassa, outorgado pela Universidade Federal de Alagoas.

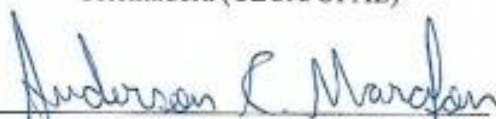
A citação de qualquer trecho desta dissertação é permitida, desde que seja feita de conformidade com as normas da ética científica.

Aprovado em 17/12/2019



Prof.ª Dr.ª Vânia Aparecida de Sá

Orientadora (CECA/UFAL)



Prof. Dr. Anderson Carlos Marafon

Membro Externo (UFAL)



Prof. Dr. José Edmundo Accioly de Souza

Membro Interno (UFAL)

OFERECIMENTO

OFEREÇO A minha mãe, Leda Souza Pereira da Silva e ao meu pai, Valdir Pereira da Silva que durante minha jornada educacional e na minha formação como pessoa, não mediram esforços e sempre me confortaram e me incentivaram. O homem que hoje sou, devo a vocês que nunca deixaram faltar o essencial: amor, respeito, companheirismo e a essência de família.

DEDICO a minha mãe, Leda Souza Pereira da Silva por ter se dedicado inteiramente a educação dos filhos, e por ser minha melhor amiga. Este novo patamar educacional que hoje alcanço com certeza foi alicerçado em vossa dedicação e incentivo na minha vida.

HOMENAGEM POSTUMAS.

Pai e avô, Valdir Pereira da Silva e Sebastião Cardoso de Oliveira respectivamente, obrigado por estarem sempre ao meu lado. Sei que se hoje eu sou: um bom filho, um bom pai, um bom aluno e um mestre, com certeza devo a vossas presenças em minha vida.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus em primeiro lugar, por me permitir a realização de mais um sonho, que está sendo concretizado nesse momento;

A Profa. Dra. Vânia Aparecida de Sá, minha orientadora;

A todos professores e doutores que fizeram parte de minha banca examinadora;

A todos os professores que contribuíram para minha formação;

A minha mãe Leda Souza Pereira da Silva;

A todos os meus colegas de turma, por todos os momentos compartilhados.

Aos tios e tias da limpeza e cozinha, por todas as conversas e descontrações nas horas vagas;

Aos meus amigos Marcos e Gustavo da secretaria do CECA/UFAL.

A todas as pessoas que direta ou indiretamente contribuíram com minha vida acadêmica e/ou com a realização deste trabalho.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
2. OBJETIVOS	16
2.1 Objetivo Geral	16
2.2 Objetivo Específicos	16
3.0. REVISÃO DE LITERATURA	16
3.1 Resíduos Florestais	16
3.2. Fontes de Energia e Matriz Energética	17
3.3. Energia da Biomassa	19
3.4. <i>Artocarpus heterophyllus</i> Lam.	20
3.5. Característica e importância de peletes	21
4. MATERIAL E MÉTODOS	24
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	25
6. CONCLUSÃO	31
7.0. REFERÊNCIAS	31

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Oferta interna de energia no Brasil, em 2012 (%).	18
Figura 2. Cinzas dos peletes de madeira da jaqueira associados com água e óleo in natura (A) e torrefados (B). Médias seguidas da mesma letra dentro do mesmo estudo não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade ($p < 0,05$)... 30	30
Figura 3. Teor de lignina e celulose da madeira de jaqueira.	26
Figura 4. Análise do poder calorífico superior da madeira de jaqueira.	30

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1.** Oferta mássica de biomassa por resíduo agrícola, agroindustrial e silvicultura (milhões de toneladas)..... 20
- Tabela 2.** Resumo da análise de variância das variáveis: largura (mm), altura (mm), peso (g), volume e densidade dos peletes da madeira de jaqueira associados com água e óleo..... 27
- Tabela 3.** Resumo da análise de variância das variáveis: largura (mm), altura (mm), peso (g), volume e densidade dos peletes de resíduos da jaqueira associados com água e óleo após a torrefação..... **Erro! Indicador não definido.**
- Tabela 4.** Resumo da análise de variância das variáveis: matéria seca inicial (MSI), matéria seca final (MSF) e percentual de matéria seca final (%MSF) dos peletes de resíduos da jaqueira associados com água e óleo após a torrefação.**Erro! Indicador não definido.**

RESUMO

A utilização de fontes renováveis para produção de energia está se disseminando cada vez mais pelo mundo, neste cenário a biomassa vem se tornando protagonista e se mostrando bastante eficiente como fonte de renovável, limpa e de qualidade. Nesse sentido, o objetivo com esta pesquisa foi determinar a qualidade energética de peletes produzidos a partir dos resíduos da jaqueira (*Artocarpus heterophyllus* Lam.), com tratamentos de torrefação e adição de óleo. O experimento foi conduzido em duas etapas durante o período de maio a Julho de 2019, no Laboratório Energia Florestal, no Centro Ciências Agrárias (CECA) da Universidade Federal de Alagoas (UFAL) e na Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA). Nesta pesquisa, foram utilizados como matéria-prima os resíduos da jaqueira, visando à identificação do seu potencial valor energético. Na primeira etapa, foram avaliados os tratamentos *in natura*, sendo dois tipos de peletes (T_1 = peletes da madeira de jaqueira + água e T_2 = peletes da madeira de jaqueira + óleo de cozinha residual. Na segunda, foram avaliados os tratamentos após a torrefação, sendo testado dois tipos de peletes (T_3 = peletes da madeira de jaqueira + água torrificada a 250 °C por 30 minutos e T_4 = peletes da madeira de jaqueira + óleo de cozinha residual torrificada a 250 °C por 30 minutos. Os resultados mostram que, de forma geral, os peletes produzidos a partir dos resíduos da madeira de jaqueira obtiveram resultados satisfatórios quanto à qualidade de peletes, sendo indicado para uso industrial e no setor de serviços. Recomendam-se novas pesquisas sobre torrefação de peletes com resíduos florestais, assim como determinar parâmetros que possam otimizar a densidade energética dos biocombustíveis sólidos granulados.

Palavras-chave: Biomassa florestal; Energia renovável; Preservação ambiental.

ABSTRACT

The use of renewable sources for energy production is spreading more and more around the world, in this scenario the biomass is becoming protagonist and proving to be very efficient as a source of renewable, clean and quality. In this sense, the objective of this research was to study the quality of peletes produced from jackfruit residues (*Artocarpus heterophyllus* Lam.). The experiment was conducted in two stages from May to July 2019, at the Forest Energy Laboratory, at the Agrarian Sciences Center (CECA) of the Federal University of Alagoas (UFAL) and at the Brazilian Agricultural Research Corporation (EMBRAPA). In this research, jackfruit residues were used as raw material, aiming to identify its energy or residual value, which will be obtained in the state of Alagoas. In the first stage, in natura treatments were evaluated, being two types of peletes (T_1 = jackfruit peletes + water and T_2 = jackfruit peletes + residual cooking oil. In the second stage, treatments after roasting were evaluated. , being tested two types of peletes (T_3 = jackfruit peletes + 250 ° C roast water for 30 minutes and T_4 = jackfruit peletes + 250 ° C roast residual cooking oil for 30 minutes. The results show that, in general, the peletes produced from jackfruit residues obtained satisfactory results regarding the quality of peletes, being indicated for industrial use and in the service sector. Further research on roasting peletes with forest residues is recommended, as well as determining parameters that can optimize the energy density of granulated solid biofuels.

Keywords: Forest biomass; Renewable energy; Environmental preservation.

1. INTRODUÇÃO

Atualmente, é notória a preocupação em relação ao abastecimento energético e ao equilíbrio ambiental e econômico no mundo. Muitos países vêm buscando alternativas que minimizem esses problemas, sobretudo diante da intensificação do uso de fontes renováveis. As mudanças climáticas são atribuídas em grande parte a alta concentração de gases do efeito estufa (GEE) na atmosfera provocado pelas ações antrópicas. Estima-se que a queima de combustíveis fósseis e a mudança de uso da terra, seja pelo desmatamento, queima de florestas, degradação dos solos ou pelas práticas de manejos inadequadas, são as maiores fontes de emissões globais de GEE (LAL, 2018). No Brasil, devido à grande fronteira agrícola existente no país, as principais fontes de emissões de GEE são provenientes da mudança de uso da terra e da queima de combustíveis fósseis (LAPOLA et al., 2014).

A produção energética por meio de fontes não renováveis, como por exemplo, o petróleo, além de emitir grandes quantidades de GEE e contribuir com as mudanças climáticas, compromete a segurança energética global (SILVA; GERÔNIMO, 2012). Dessa forma, surge à necessidade eminente da produção de energia e combustíveis oriundos de fontes renováveis (CABRAL, 2015). Nesse sentido, tem aumentado o interesse pela produção energética através da biomassa vegetal (CORTEZ et al., 2009; ROCHA et al., 2015; ANDRADE et al., 2017; PAZ et al., 2017).

No Brasil, as indústrias madeireiras, principalmente as serrarias, geram um volume expressivo de resíduos, pois fornecem matéria prima para a construção civil, produção de móveis, entre outras atividades (ROCHA et al., 2015). Esses resíduos tornam-se um problema na medida em que apenas uma parcela desse volume tem algum aproveitamento econômico, social e/ou ambiental. Desse modo, o excesso de resíduos produzidos somado ao seu baixo reaproveitamento, conseqüentemente, causa danos ambientais, além da perda de matéria prima para a produção de energia sustentável (ANDRADE et al., 2017).

De acordo com dados da FAO (2010) estimam-se que, a cada seis pessoas, duas utilizam a madeira como principal fonte de energia, particularmente nos países em desenvolvimento, em processos de secagens, cocção, fermentação e produção de eletricidade, entre outras. A produção energética através da biomassa vegetal é ambientalmente e economicamente viável devido à abundância de material, baixo custo e facilidade de aquisição, além de ser renovável (FIGUEIREDO, 2011). Portanto, a

biomassa tem potencial para ser uma das principais fontes na matriz energética de países em desenvolvimento, como o Brasil.

Diante do potencial da biomassa florestal para produção bioenergética, destacam-se os mais diversos usos da madeira para este fim, por exemplo, a lenha in natura, a transformação em carvão vegetal e o processamento da madeira para produção de cavacos e/ou para produção de briquetes e peletes. Os peletes produzidos a partir da biomassa florestal correspondem a pequenos blocos ou esferas cilíndricas, compactadas e densas, originados da aglomeração de material lignocelulósico, os quais são utilizados na produção de energia, seja na forma de calor ou eletricidade (SPANHOL et al., 2015). A produção e consumo de peletes tem obtido importante destaque no mundo; em países do hemisfério norte, em especial no continente europeu, que participam fortemente da matriz energética, principalmente onde grande parte da energia produzida é oriunda de usinas termelétricas alimentadas por peletes, além do uso para o aquecimento doméstico, devido ao clima frio (KUMAR et al., 2016).

A qualidade dos peletes e briquetes varia devido à diversidade e heterogeneidade da matéria-prima utilizada para sua produção, bem como, ao processo de compactação. No entanto, existem vários processos que caracterizam a qualidade desses produtos, nos quais cada um tem suas limitações e vantagens, devendo ser analisados pela sua caracterização. Esses fatores, de modo geral, são passíveis de controlar, principalmente, quando se utiliza biomassa proveniente de resíduos, o que pode ocasionar aumento de compostos inorgânicos indesejáveis. A utilização da madeira de jaqueira pode ser uma importante alternativa na produção de peletes, já que esta madeira apresenta boa durabilidade natural e resistência (GUNASENA, 1993). Para Gomes (2007) a jaqueira (*Artocarpus heterophyllus* Lam.) é uma madeira bastante interessante para construções mistas por não apresentar oxidação em contato com metais.

Portanto, embora existam pesquisas sobre fontes renováveis no Brasil para a produção de peletes e briquetes, são poucos os estudos sobre a utilização da madeira de jaqueira para estes fins. Sendo assim, e, considerando as limitações e vantagens no uso desses produtos, é de suma importância a análise dos mesmos por meio de sua caracterização.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Determinar a qualidade dos peletes produzidos a partir dos resíduos lenhosos da jaqueira (*Artocarpus heterophyllus* Lam.) no estado de Alagoas.

2.2 Objetivo Específicos

Caracterizar o resíduo da madeira de jaqueira para a produção de peletes.

Caracterizar os peletes fabricados a partir dos resíduos da jaqueira.

Avaliar a adição de óleo residual sobre a qualidade dos peletes produzidos de resíduos da jaqueira.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Resíduos Florestais

Os resíduos florestais podem gerar energia e outros produtos econômicos, dependendo do sistema de produção e das condições socioeconômicas locais. Na Austrália, Boutland et al. (1992) registraram os seguintes aproveitamentos em florestas implantadas: plantas medicinais, plantas ornamentais, lenha fina para usos domésticos e serapilheira para adubos orgânicos. Nos bracatingais, constatou-se a retirada eventual de lenha fina e estacas para olericultura, provenientes da roçada dos sub-bosques, sem mercado formal (BAGGIO; CARPANEZZI, 1986). O conhecimento da quantidade e qualidade dos resíduos florestais permite avaliar o potencial de aproveitamento.

A geração de resíduos é uma característica intrínseca da cadeia produtiva florestal, constituindo-se em um grande passivo ambiental necessitando de gestão adequada desses resíduos, controle de possíveis fontes de contaminação de águas e solos e das emissões atmosféricas (NASCIMENTO, 2008). Dentro do contexto atual, em face das emissões de poluentes das fontes de combustíveis fósseis, das resoluções do Protocolo de Kyoto, do aquecimento global, das pressões ambientais por parte de entidades ambientalistas, de instituições de pesquisa e da própria sociedade, torna-se de

fundamental importância o desenvolvimento de alternativas energéticas que atendam tanto ao suprimento de energia quanto ao desenvolvimento sustentável.

Os resíduos de biomassa florestal podem também ser valorizados numa perspectiva não energética. Estes resíduos compreendem diversas espécies e muitas delas contêm óleos essenciais constituídos por compostos terpênicos e com interesse comercial relevante. A extração de óleos essenciais a partir de resíduos de biomassa permite fazer a sua valorização material, podendo a mesma biomassa ser utilizada para fins energéticos, após a extração dos óleos, pois mantém inalterado o seu conteúdo linho-celulósico. Estes compostos terpênicos, constituintes de todos os óleos essenciais, são responsáveis por propriedades antimicrobianas e sensoriais, muito procuradas e que lhes conferem um elevado valor comercial. No contexto dos resíduos florestais, esta valorização pode representar uma atividade adicional ao nível da gestão florestal, e assim contribuir para o aumento da viabilidade económica das atividades silvícolas e das indústrias baseadas nos ecossistemas florestais.

A cadeia produtiva de base florestal, de acordo com Couto et al. (2004) é evidenciada pela geração de grande quantidade de resíduos, em todas as suas fases, o que acaba constituindo em um grande passivo ambiental. Por sua vez, estes resíduos podem ser convertidos em energia de diferentes formas, como por exemplo, a geração de calor pelo processo de combustão, produção de carvão, combustíveis líquidos, etc. No processo de combustão, a biomassa pode ser utilizada *in natura* ou compactada, pela densificação ou aglomeração da biomassa florestal, na forma de peletes ou briquetes.

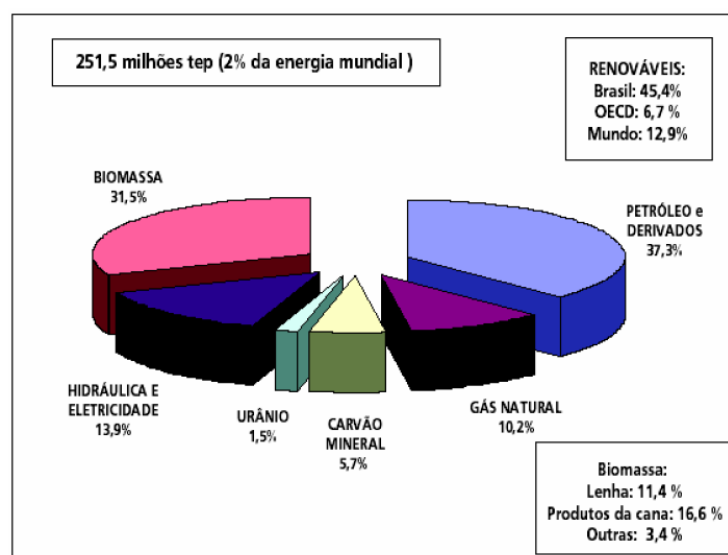
3.2 Fontes de Energia e Matriz Energética

Em nosso planeta existem várias fontes de energia, sendo elas divididas em dois grupos: As energias não renováveis, que compreendem os combustíveis fósseis (carvão, petróleo bruto e gás natural), são fontes limitadas, pois suas reservas se encontram na natureza e sua utilização de forma inadequada, leva ao esgotamento da mesma. A exploração destas reservas causa graves danos para o ambiente e para a sociedade, pois são consideradas energias sujas, devido à emissão de gases poluentes (GOLDEMBERG; LUCON, 2007). O outro grupo são as energias renováveis, que compreendem as energias (hídrica, eólica, solar, geotérmica, ondas e marés e biomassa), são fontes inesgotáveis, que podem ser respostas a curto ou médio prazo, espontaneamente ou por intervenção humana (SILVA, 2012).

A maior parte da energia consumida no mundo provém de fontes não renováveis, principalmente do petróleo, porém as energias renováveis estão hoje estabelecidas em todo o mundo como fontes importantes de energia. A adoção de fontes renováveis tem sido amplamente buscada desde a década de 1970, em razão das crises do petróleo, o que levou diversos países à procura pela segurança energética e menos dependência de importações de combustíveis (BARROS, 2007).

A matriz energética brasileira é considerada uma das mais limpas do mundo, em razão da forte presença de fontes renováveis de energia, como a geração de eletricidade a partir de fontes hidráulicas, lenha, eucaliptos, produtos da cana-de-açúcar e outras fontes renováveis (SCHUTZ et al., 2013). O balanço energético nacional (BEN) ano 2017 mostra que a geração hidráulica de energia correspondeu a 68,1% da oferta interna. As fontes renováveis representam 81,7% de toda a oferta interna de eletricidade no Brasil, que resulta da soma dos montantes referentes à produção nacional mais as importações, que são de origem renovável. Já, a geração elétrica a partir de fontes não renováveis representou na matriz interna de energia 19,6% do total nacional em 2012, contra 25,9% em 2016. Na Figura 1 observa-se a oferta interna de energia no Brasil em 2012. De modo geral, a biomassa representou a segunda fonte de energia que compõe a matriz nacional (BEN, 2013).

Figura 1. Oferta interna de energia no Brasil, em 2012 (%).



Fonte: BEN (2013).

Atualmente, o Brasil possui dois programas específicos para racionalização de energia e promoção da conservação de seu uso, programas estes que são voltados para dispersão de informações e conscientização da população para o uso mais eficiente de energia, são eles: O Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL), que é um programa coordenado pelo Ministério de Minas e Energia – MME e executado pela Eletrobrás. Foi criado para promover o uso eficiente da energia elétrica combatendo seu desperdício. O outro é o Programa Nacional de Racionalização do Uso dos Derivados do Petróleo e do Gás Natural (CONPET), coordenado pela Petrobras e que promove ações de etiquetagem de produtos em transporte (GOLDEMBERG; LUCON, 2007).

3.3 Energia da Biomassa

Durante décadas, diversas foram as fontes e as formas de energia utilizadas: força humana, tração animal, vapor, carvão, petróleo e derivados, biomassa, água, vento, eletricidade, dentre outras. Elas foram empregadas como meio para a produção de bens e de serviços, porém com o rápido aumento populacional, diversos tópicos estão no centro das discussões e das preocupações mundiais: as mudanças climáticas e o aquecimento global, o meio ambiente, a questão energética, dentre outros correlacionados (SCHUTZ et al., 2013).

Para Moraes et al. (2017) as biomassas se constituem na fonte mais importante de energia renovável no mundo. Quando utilizada para fins energéticos, a biomassa é classificada em três categorias (biomassa energética florestal, biomassa energética agrícola e resíduos urbanos). De acordo com Goldemberg e Coelho (2004), é possível classificar a obtenção da energia da biomassa em duas categorias principais, a “tradicional”, em que é obtida por meio de combustão direta de madeira, lenha, resíduos agrícolas, resíduos de animais e urbanos, para cocção, secagem e produção de carvão; e a “moderna”, em que é obtida por meio de tecnologias avançadas de conversão, como na geração de eletricidade ou na produção de biocombustíveis. Em todos os casos pode-se dizer que a utilização da energia da biomassa é a fotossíntese inversa, pois se busca resgatar a energia solar armazenada pelo vegetal, consumindo oxigênio atmosférico e restituindo ao ar o dióxido de carbono (NOGUEIRA; LORA, 2003).

Estima-se que 90% da população mundial até 2050, habitarão países em desenvolvimento, alcançando a demanda global por energia e incentivando a busca por

fontes energéticas alternativas. Com isto, o Brasil surge como um país bastante promissor, por apresentar cenários propícios para produção de biomassa agrícola, pois o país tem potencial para prover uma fonte sustentável e viável economicamente de energia (biomassa, serragem, briquetes e peletes de madeira) para utilização própria, ao mesmo tempo em que pode ajudar outros países a atingir suas metas de redução de gases de efeito estufa (MORAES et al., 2017).

O Brasil tem se destacado como um grande gerador de biomassa (Tabela 1), a oferta mássica de biomassa em 2005 foi de 558 milhões de toneladas, com uma projeção de crescimento para 1402 milhões de toneladas em 2030, (BRASIL, 2007).

Um levantamento, baseado em informações da Associação Brasileira das Indústrias de Biomassa e Energia Renováveis (ABIB), identificou 73 empresas brasileiras que produzem biomassa adensada (tanto a peletes quanto briquetes). De acordo com Moraes et al. (2017), essas empresas utilizam três tipos de biomassa: madeira (eucalipto e/ou pinus), bagaço de cana-de-açúcar e capim elefante. Avaliando os dados, observa-se grande predominância do uso de madeira para a produção de peletes e briquetes. Das 51 empresas avaliadas, 85% utilizam madeira, 11% bagaço e 4% capim elefante.

Tabela 1. Oferta brasileira de biomassa por resíduo agrícola, agroindustrial e/ou de silvicultura.

	2005	2010	2015	2020	2030
	Milhões de toneladas				
Resíduos agrícolas	478	633	768	904	1196
Soja	185	251	302	359	482
Milho	176	251	304	361	485
Arroz (palha)	57	59	62	66	69
Cana-de-açúcar	60	73	100	119	160
Resíduos agroindustriais	80	98	130	154	207
Cana-de- açúcar (bagaço)	58	70	97	115	154
Arroz (casca)	2	2	3	3	3
Lixívia	13	17	21	25	34
Madeira	6	8	10	12	16
Florestas energéticas	13	30	31	43	46
Madeira excedente	13	30	31	43	46
Total	558	731	898	1058	1402

Fonte: Brasil (2007).

3.4 *Artocarpus heterophyllus* Lam.

A jaqueira (*Artocarpus heterophyllus* Lam.) é uma espécie frutífera que pertence à família *Moraceae*, originária das florestas úmidas da Índia e amplamente distribuída por todas as regiões do mundo (MORAIS et al., 2012). A jaqueira é uma planta perenifólia que pode atingir de 8 a 25 m de altura, dependendo das condições edafoclimáticas da região que está sendo cultivada (ELEVITCH, 2006), quando adulta normalmente apresenta diâmetro médio acima de 1 m, além de uma copa densa e irregular (PECINATO, 2015). Essa árvore produz o maior fruto em relação as demais plantas arbóreas cultivadas, o qual possui como características a suculência, aroma forte e de excelente sabor (LORENZI et al., 2006).

Em relação às condições ideais para o cultivo dessa árvore, a mesma se desenvolve melhor em solos textura leve ou média, de moderadamente ácidos a neutros, desde que tenham uma boa drenagem (ELEVITCH, 2006). A jaqueira também cresce em solos pouco intemperizados e com baixa fertilidade, sendo que estas características confere a essa frutífera ampla distribuição no globo terrestre (MORAIS et al., 2012).

A jaqueira mesmo possuindo madeira de boa durabilidade natural e resistência, sendo apontada como de boa qualidade para os setores de carpintaria e marcenaria, é pouco estudada (LORENZI et al., 2006). A madeira da jaqueira possui cor amarela clara e não apresenta oxidação quando está em contato com metais (PECINATO, 2015). Cada espécie vegetal apresenta madeira com diferentes propriedades físicas, anatômicas e mecânicas, o que dificulta a generalização dos processos e rendimento das operações (ELEVITCH, 2006). A madeira não é utilizada apenas como material de energia e construção, sendo considerada a matéria-prima mais importante para a produção de papel, além disso, é usada para inúmeros produtos provenientes de sua transformação química, conjuntamente com sua condição de matéria-prima renovável, o que a torna um bem de inigualável valor para a humanidade (PECINATO, 2015).

3.5 Característica e importância de peletes

Globalmente, existe um grande esforço para à obtenção de fontes alternativas de energia, com potencial para substituir de forma parcial ou totalmente os combustíveis fósseis, visando a redução dos custos e a preservação do meio ambiente (SOUZA, 2014). Neste sentido, atualmente, a biomassa corresponde a aproximadamente 27% da oferta de energia primária utilizada no Brasil, em que o etanol e o bagaço da cana de

açúcar consistem em 15,4% dessa oferta, seguido pela madeira, carvão vegetal e lixívia (10,8%), e as demais biomassas representam apenas 0,8% do total (BEN, 2013).

Esses dados mostram a importância do papel desempenhado pelo uso da madeira para a produção de energia no Brasil, e tem se intensificado cada vez mais ao longo dos últimos anos (GARCIA et al., 2018). Quanto ao uso da energia produzida pela madeira, aproximadamente um terço de toda produção dessa fonte energética é destinada ao uso doméstico e agropecuário, além disso, a maior parte tem sido utilizada pelo setor industrial (BEN, 2013). Porém, cerca de 62% da madeira utilizada para a produção de energia no Brasil ainda é proveniente das florestas nativas, o que tem causado danos ao meio ambiente, visto a grande área de ecossistemas nativos desmatados no país (BEN, 2013). Estima-se que do total da produção de energia utilizando as florestas nativas, 36% são consumidos na forma de carvão pelo setor de ferro, 29% pelos setores de cerâmicas, celulose e alimentos para a geração de calor nessas indústrias; o setor residencial consome cerca de 25% e a agricultura utiliza em torno de 10% dessa energia, especialmente para fins térmicos (GARCIA et al., 2016).

Diante deste cenário, os resíduos lignocelulósicos como o bagaço da cana de açúcar, serragem, resíduos urbanos, serragem ou resíduos de madeira podem ser utilizados para a produção de biocombustíveis (peletes), os quais possuem potencial elevado para a geração de energia (PROTÁSIO et al., 2015). Os peletes são biocombustíveis compactados, que possuem baixa umidade, dessa forma, possibilita uma alta eficiência na durante a combustão (QUÉNO, 2015). Além disso, esses produtos se destacam por ser um produto natural, com manuseio relativamente fácil e alta densidade energética (ESCOBAR, 2016). Devido essas características, a demanda global por esses biocombustíveis vem crescendo substancialmente ao longo dos anos, principalmente nos últimos anos em decorrência da grande preocupação com os efeitos das emissões de gases do efeito estufa (GEE) pelos combustíveis fósseis sobre as mudanças climáticas (GARCIA et al., 2018). Sendo assim, os países que necessitam reduzir suas emissões de GEE utilizam principalmente os peletes para a produção de energia por serem recursos energéticos de baixo carbono (ACDA, 2015).

A crescente procura pelos peletes está relacionado tanto a elevada eficiência energética quanto a preservação ambiental, visto que esses produtos são considerados uma fonte de energia renovável, limpa e eficiente, resultando em um combustível sólido originado a partir de diversos tipos de resíduos, e durante sua combustão produz pouca fumaça, e libera menos GEE quando comparados aos combustíveis fósseis (GREIN,

2016). Neste contexto, Garcia et al. (2018) construíram um mapa dos produtores brasileiros de biocombustíveis peletes, e encontraram 18 fábricas ativas, que estão distribuídas em cinco estados, as quais produziram 470 mil toneladas de peletes em 2017, sendo fabricados a partir de pinus, acácia-negra, bagaço de cana-de-açúcar e casca de café. Protásio et al. (2015) avaliaram a caracterização energética de peletes *in natura* e torreficados produzidos com madeira residual de Pinus, e recomendam novas pesquisas sobre torrefação de peletes, usando uma faixa mais ampla de temperatura e tempo de residência, visando determinar parâmetros que otimizem as propriedades energéticas.

Quéno (2015) avaliou a estratégia, custo e risco do investimento da produção de peletes de madeira no Brasil, e constatou que este setor industrial é recente e em expansão devido a competitividade do pelete no mercado da energia brasileira. O autor ainda alerta que o pelete ainda não está amplamente difundido no Brasil devido à falta de conhecimento do consumidor final, existindo a necessidade de divulgação e ação comercial, principalmente, entre as indústrias, que são grandes consumidoras de energia.

Tratamentos térmico de pirólise, denominado torrefação, que é uma pirólise parcial da biomassa em ambiente com restrição de oxigênio, podem melhorar a qualidade de peletes produzidos, gerando um combustível de maior densidade energética e de menor umidade de equilíbrio. O tratamento térmico de torrefação consiste em submeter à biomassa (peletes de madeira) em temperaturas variando de 200 a 300 °C, sob pressão atmosférica e por curtos tempos de residência, quando comparado à pirólise para produção de carvão, por exemplo. Este processo produz combustível com poder calorífico entre a lenha *in natura* (4.000 kcal kg⁻¹) e o carvão vegetal (7.000 kcal kg⁻¹) (NUNES et al., 2014).

Após a torrefação da biomassa, é obtido um material torreficado de cor marrom escura, gases condensáveis ricos em ácidos orgânicos e gases não condensáveis compostos, principalmente por CO e CO₂ (Protásio et al., 2015; Garcia et al., 2018). O processo de torrefação é diferente da pirólise convencional, em que o rendimento em massa é superior, e o objetivo principal é reduzir os componentes de baixo poder calorífico que estão presentes na biomassa e, dessa forma, preservar grande parte da energia presente na matéria prima. De uma forma geral, para reduzir 20% em massa ocorre uma perda de aproximadamente 10% no conteúdo energético da biomassa (MAGALHÃES et al., 2018).

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Local do estudo

O experimento foi conduzido durante o período de maio a Julho de 2019, no Laboratório Energia Florestal, no Centro Ciências Agrárias (CECA) da Universidade Federal de Alagoas (UFAL) e na Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), na Unidade de Execução de Pesquisa e Desenvolvimento de Rio Largo - AL.

4.2 Coleta e caracterização do material vegetal

Nesta pesquisa, foi utilizada como matéria-prima os resíduos da jaqueira (*Artocarpus heterophyllus*, Lam.), visando a identificação do seu valor energético, os quais foram obtidos no estado de Alagoas. A matéria prima foi colhida na região da Zona da Mata alagoana, devido as maiores quantidades desta planta. A coleta dos resíduos da jaqueira ocorreu durante os meses de maio e junho de 2019. Os resíduos coletados foram armazenados em condição ambiente, até atingir a umidade de equilíbrio higroscópico (10-12% na base seca), em seguida foram submetidos a moagem.

4.3 Tratamentos

O estudo foi realizado em duas etapas. Na primeira, foram avaliados os tratamentos *in natura*, sendo dois tipos de peletes (Controle = madeira *in natura*; T₁ = peletes da madeira de jaqueira + água e T₂ = peletes da madeira de jaqueira + óleo de cozinha residual. Na segunda etapa, foram avaliados os tratamentos após a torrefação, sendo testado dois tipos de peletes (T₃ = peletes da madeira de jaqueira + água torrefada a 250 °C por 30 minutos e T₄ = peletes da madeira de jaqueira + óleo de cozinha residual torrefada a 250 °C por 30 minutos.

O tamanho dos peletes foi determinada de acordo com Garcia (2010), por meio da medida individual do comprimento de 40 peletes de cada tratamento. A média dos valores foi calculada, e foram realizadas três análises independentes de cada amostra. O poder calorífico superior (PCS) da madeira e dos peletes foram determinados em uma bomba calorimétrica isotérmica.

4.4 Análises

A determinação do teor de umidade da madeira e dos peletes foi realizada utilizando cadinhos com peso previamente determinado. Na sequência, foram adicionados 1,00 g da amostra e levada a estufa a 105 ± 2 °C até obtenção de massa constante.

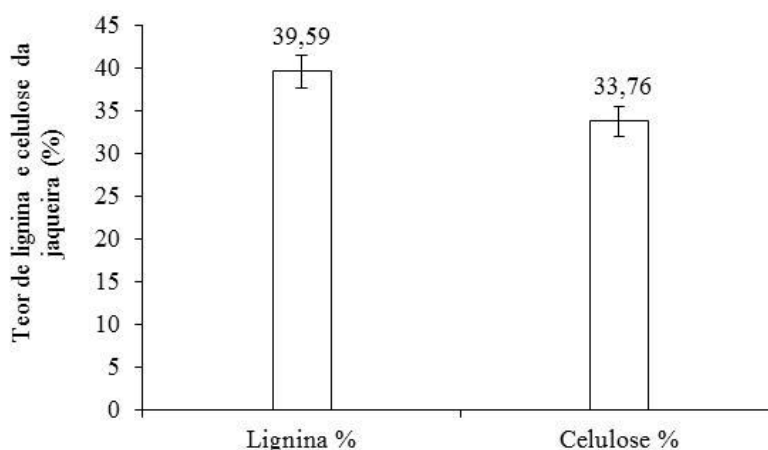
O teor de cinzas dos materiais foi determinado utilizando uma balança analítica, pesando-se cerca de 1,0 g isento de umidade. Após, a amostra foi colocada em um cadinho sem tampa, previamente seco e tarado. O cadinho com a amostra foi colocado em uma mufla para aquecer até 550 °C, com uma velocidade de aquecimento de aproximadamente de 10 °C min^{-1} . Após a temperatura atingir a 550 °C, o cadinho permaneceu na mufla até que a amostra seja queimada completamente. Em seguida, o cadinho foi retirado da mufla, e após esfriar em um dessecador, determinada massa final (QUÉNO, 2015).

O delineamento experimental adotado foi o inteiramente casualizado (DIC) e os dados obtidos foram submetidos à análise de variância pelo teste F ($p < 0,05$). Para esta análise foi utilizado o *software* estatístico SISVAR (FERREIRA, 2014).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O teor de lignina da madeira de jaqueira nesta pesquisa alcançou 39,59% (Figura 2). Garcia (2010) estudando a caracterização química, física e térmica de peletes de madeira produzidos no Brasil encontrou valor inferior (29,31%) para peletes de eucalipto no estado de São Paulo. O autor ainda reporta que a lignina é o ligante natural dos peletes. Com a alta temperatura e pressão do processo de fabricação, ela se reorganiza internamente oferecendo a adesão necessária para dar a durabilidade mecânica dos biocombustíveis. A madeira da jaqueira apresentou um valor de 33,76% de celulose (Figura 2). De acordo com Escobar (2016), a densidade da madeira está diretamente relacionada com o rendimento nas propriedades da celulose, o que torna a avaliação desta variável imprescindível para a viabilidade dos peletes.

Figura 2. Teor de lignina e celulose da madeira de jaqueira.



Os resultados obtidos após a caracterização dos peletes *in natura* e após a torrefação da madeira de jaqueira estão apresentados na Tabela 2. Observa-se que os maiores valores médios para largura, altura, peso, volume e densidade dos peletes *in natura* foram encontrados no tratamento da madeira associada com água (T1), os quais apresentavam significativamente superior ($p < 0,01$) com diferenças de 2,8; 16,4; 25,0; 21,1 e 5,3%, respectivamente, em relação ao tratamento da madeira associada com óleo (T2). Para a caracterização dos peletes torrefados da madeira de jaqueira, constata-se que os resultados médios da largura, altura, peso, volume e densidade apresentaram comportamentos distintos aos observados quando foram avaliados os peletes *in natura*. Ou seja, os maiores valores dessas variáveis foram encontrados no tratamento da madeira associada com óleo (T4), os quais diferiram estatisticamente ($p < 0,01$), exceto a altura, que não apresentou significância entre os tratamentos. Ocorreram diferenças na largura, altura, peso, volume e densidade de 7,3; 10,4; 30,6; 22,7 e 9,6%, respectivamente, em comparação ao tratamento da madeira torrefada associada com água (T3).

Tabela 2. Resumo da análise de variância das variáveis: largura (mm), altura (mm), peso (g), volume e densidade dos peletes da madeira de jaqueira associados com água e óleo.

FV	GL	Quadrados Médios				
		Largura (mm)	Altura (mm)	Peso (g)	Volume (mm ³)	Densidade (mg cm ⁻³)
Tratamentos	3	3,44**	347,54**	1,28**	691995,70**	2,29**
Resíduo	116	0,03	10,52	0,00	6475,20	4,60
CV (%)		2,99	16,56	13,75	14,80	6,47
Tratamentos		Médias				
T1		6,23 ±0,11a	23,81±1,55a	0,83 ±0,06a	726,45 ±52,57a	0,001148 ±3,48a
T2		6,05 ±0,07b	20,65 ±2,16b	0,63 ±0,06b	593,95 ±62,34b	0,001076 ±4,13b
T3		5,44 ±0,27d	16,01 ±4,83c	0,34 ±0,10d	372,16 ±112,82d	0,000938 ±9,96d
T4		5,87 ±0,17c	17,86 ±3,41c	0,49 ±0,07c	481,65 ±80,73c	0,001036 ±7,48c

** - significativo a 1% ($p < 0,01$) pelo teste F; FV – fonte de variação; GL - número de graus de liberdade; CV - coeficiente de variação. Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Os resultados encontrados nesse estudo demonstram a importância da qualidade da biomassa lignocelulósica utilizada no processo de torrefação, pois são fatores decisivos na qualidade e desempenho energético dos biocombustíveis produzidos (YANG et al., 2007; STELTE et al., 2011; PROTÁSIO et al., 2015).

Os peletes são resultados da compactação de resíduos lignocelulósicos, os quais são utilizados na geração de energia na forma de calor ou eletricidade. Os diâmetros dos peletes variam de 6 a 16 mm, e podem ser produzidos a partir de qualquer resíduo vegetal, como, por exemplo, serragem e rejeitos de serraria, resíduos de culturas agrícolas, resíduos de frutíferas e florestais, como a jaqueira, que foi utilizada nesse estudo. As vantagens da compactação dos resíduos agrícolas e/ou florestais estão relacionadas à preservação ambiental, por ser uma fonte de energia renovável (ACDA, 2015). De acordo com Spanhol et al. (2015) os peletes podem substituir o emprego da lenha e carvão em muitas aplicações, dentre eles o uso residencial, industrial e alguns estabelecimentos comerciais, como por exemplo, olarias, cerâmicas, padarias, indústrias alimentícias, químicas, têxteis e de cimento.

Observa-se que os peletes torrefado (T3 e T4) apresentaram menor largura, altura, peso, volume e densidade em relação aos *in natura* (T1 e T2). Esse comportamento ocorreu em função da degradação das hemiceluloses, e consequentemente, dos sítios de sorção na biomassa vegetal (PROTÁSIO et al., 2015). Conforme relatos de Yang et al. (2007), as hemiceluloses são instáveis termicamente,

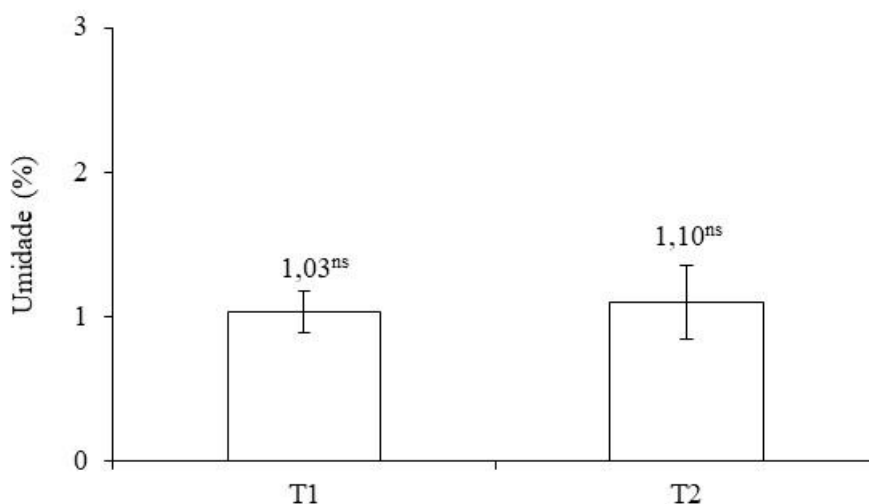
além disso, durante o processo de torrefação, as hemiceluloses são as mais degradadas, visto que se decompõem em baixas temperaturas (entre 220 e 315 °C).

Desse modo, a aplicação do tratamento térmico nos resíduos florestais quando utilizadas para fins energéticos é uma técnica bastante favorável, pois reduz significativamente a quantidade de água presente na biomassa, além de aumentar o potencial energético do material. Protásio et al. (2015) observaram que a densidade dos peletes *in natura* apresentaram valor estatisticamente superior aos tratados termicamente. Os autores justificaram este efeito à perda de massa durante o processo de torrefação, pela degradação dos compostos químicos da parede celular, sobretudo, as hemiceluloses. De acordo com Stelte et al. (2011), a densidade pode ser considerada o principal índice de qualidade para o uso energético de peletes produzidos a partir de biomassa, uma vez que influencia diretamente a densidade energética.

Após o processo de torrefação, ocorre a perda de massa, e consequentemente, a redução no volume dos peletes. Esses resultados corroboram com os encontrados por Protásio et al. (2015). Essa redução na massa dos peletes ocorre devido à degradação térmica das hemiceluloses, que são moléculas instáveis termicamente e propícias a se degradarem sob temperaturas entre 220 e 315 °C (PRINS et al., 2006; YANG et al., 2007).

Os resultados encontrados para a umidade dos peletes *in natura* não apresentaram diferenças estatisticamente significativa ($p > 0,05$) entre os tratamentos com a madeira associada com água e o óleo. No entanto, observa-se que houve um aumento na umidade dos peletes de 7,1% quando o óleo foi adicionado à madeira, em relação à adição de água (Figura 3). Resultados divergentes foram observados por Protásio et al. (2015), que constataram uma redução de 82% na umidade entre os peletes tratados termicamente em relação aos *in natura*.

Figura 3 - Umidade dos peletes de resíduos da jaqueira associados com água e óleo. ^{ns} - não significativo ($p > 0,05$) pelo teste F.

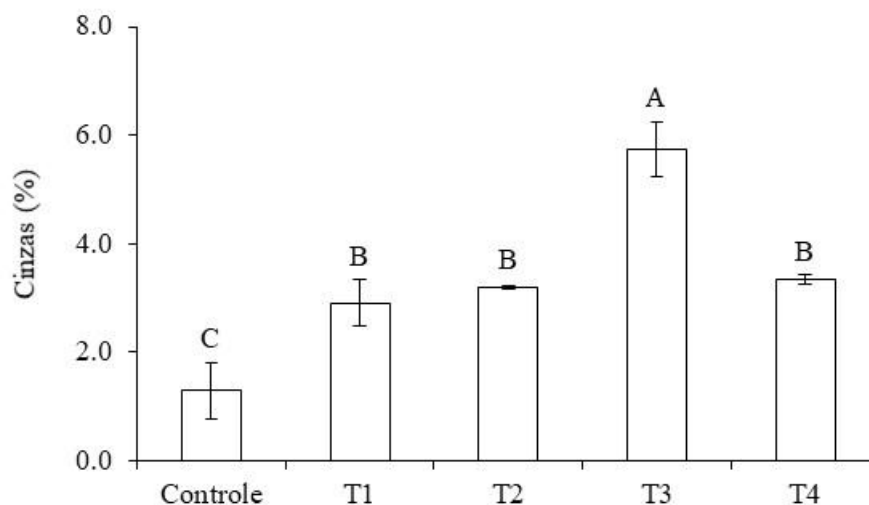


Em relação aos dados do teor de cinzas dos peletes *in natura* e torrefados, os resultados mostram que houve diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,01$) entre os tratamentos associados com água e o óleo. No estudo antes da torrefação, os peletes das madeiras associadas com água e o óleo não diferiram entre si ($p > 0,05$), mas foram 55,4 e 59,4% superiores, respectivamente, dos resultados da madeira da jaqueira *in natura* (Figura 4). Já no estudo após a torrefação, os peletes do tratamento da madeira associada com água diferiu estatisticamente ($p < 0,01$) dos demais tratamentos, apresentando ganhos de 77,4 e 61,5%, em relação a madeira *in natura* e a associada com óleo, respectivamente (Figura 4).

As cinzas correspondem à fração inorgânica do biocombustível, em que este teor pode variar entre 1 e 40% (García et al., 2012). Tanto o teor de cinzas quanto a sua composição elementar, afetam o comportamento da biomassa durante os processos de conversão energética. Vassilev et al. (2010) relatam que o teor de cinzas nos diferentes tipos de biomassa decrescem da seguinte forma: biomassa aquática > biomassa contaminada > herbáceas, biomassa agrícola > herbáceas, resíduos agrícolas > herbáceas, resíduos agrícolas > madeira e biomassa lenhosa.

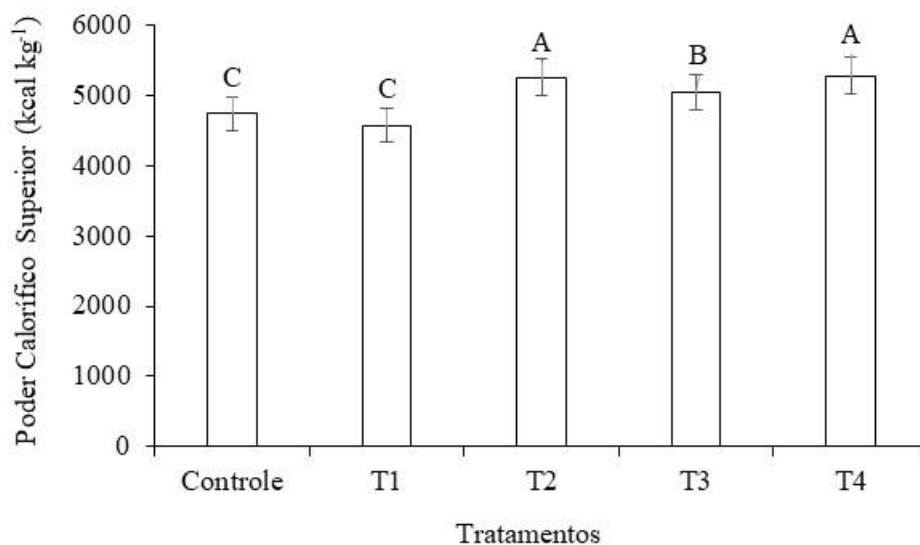
O teor de cinzas pode ser decisivo e limitante para a comercialização desses biocombustíveis sólidos, visto que os óxidos minerais reduzem o valor calórico e eleva a corrosão dos equipamentos destinados à conversão energética (BUSTAMANTE-GARCÍA et al., 2013). Os resultados de Protásio et al. (2015) corroboram com os achados nesse estudo.

Figura 4. Cinzas dos peletes e da madeira da jaqueira associados com água e óleo *in natura* e torrefados. Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade ($p < 0,05$).



De acordo com a Figura 5, a variável poder calorífico superior (PCS) para a madeira de jaqueira obtiveram melhores resultados para os tratamentos óleo e óleo torrefado (5251,5 e 5279,5 kcal kg⁻¹, respectivamente), enquanto que para controle (madeira da jaqueira) foi verificado o valor de 4794 kcal kg⁻¹. Valores inferiores foram determinados por Neves et al. (2013) com o clone de *E. urograndis* (Híbrido do cruzamento do *E. grandis* x *E. urophylla*), com 5,6 anos (4691 kcal kg⁻¹) e Santos (2010), avaliando quatro clones híbridos de *Eucalyptus sp.* aos com 7 anos (4.274 kcal kg⁻¹). Santos (2010), estudando parâmetros de qualidade da madeira e do carvão vegetal de clones de eucalipto, ressalta que existe uma dependência entre o poder calorífico superior e o inferior, regida pela quantidade de hidrogênio presente no combustível. Sendo assim, o poder calorífico da madeira é influenciado diretamente pela umidade, além de ser também pela composição química da madeira.

Figura 5. Análise do poder calorífico superior dos peletes e da madeira de jaqueira.



6. CONCLUSÃO

Os peletes produzidos a partir dos resíduos da madeira de jaqueira obtiveram resultados satisfatórios quanto à qualidade de peletes, sendo indicado para uso industrial e no setor de serviços.

No Brasil, os peletes de madeira são combustíveis renováveis com excelente potencial energético. Portanto, em virtude das condições climáticas favoráveis à produção de madeira e sua indústria de base florestal brasileira, essa prática surge como uma excelente alternativa de fonte energética para o país.

Recomendam-se novas pesquisas sobre torrefação de peletes com resíduos florestais, assim como determinar parâmetros que possam otimizar a densidade energética dos biocombustíveis sólidos granulados.

7. REFERÊNCIAS

ACDA, M.N. Physico-chemical properties of wood peletes from coppice of short rotation tropical hardwoods. **Fuel**, v.60, p.531-533, 2015.

ANDRADE, R.G.S.A.; MELO, K.R.B.; SOLETTI, J.I.; CARVALHO, S.H.V.; MEILI, L. Caracterização do biocarvão obtido a partir da pirólise do endocarpo do coco (*Cocos Nucifera* L.). In: XII CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA QUÍMICA EM

INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 2017, São Carlos, SP. **Anais...** Universidade de São Carlos - UFSCar - São Carlos, 2017.

BAGGIO, A.J.; CARPANEZZI, A.A. Biomassa da bracatinga no sistema agroflorestal tradicional. *Boletim de Pesquisa Florestal*, Curitiba. (no prelo), 1996.

BARROS, E.V. A matriz energética mundial e a competitividade das nações: bases de uma nova geopolítica. **Engevista**, v.9, n.1, p.47-56, 2007.

BEN – Balanço Energético Nacional. **Resultados Preliminares 2012**. Ministério de Minas e Energia. Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2013.

BOUTLAND, A.; ROBINSON, M.; FIELD, J.; SCHELTEMA, M.; HAWKINS, B.; BULMAN, P.; SCARVELIS, J.; MASON, B.; WALLACE, M; CASTLEY, M.; RYAN, P.A.; HENDERSON, R.; APPLGATE, G.B.; LANSDOWN, C; REED, R. **Alternative products from trees and shrubs to the role of trees in sustainable agriculture**. Conference, Albury, September 30 th - October 3 rd, 1991. *Agroforestry Systems*, Dordrecht, v.20, n.1/2, p.25-58, 1992.

BRASIL - Ministério de Minas e Energia. **Plano Nacional de Energia 2030**. Brasília: MME/EPE, 2007.

BUSTAMANTE-GARCÍA, V.; CARRILLO-PARRA, A.; GONZÁLEZ-RODRÍGUEZ, H.; RAMÍREZ-LOZANO, R.G.; CORRAL-RIVAS, J.J.; GARZA-OCAÑAS, F. Evaluation of a charcoal production process from forest residues of *Quercus sideroxyla* Humb. & Bonpl. in a Brazilian beehive kiln. **Industrial Crops and Products**, v.42, p.169–174, 2013.

CABRAL, M.M.S. **Aproveitamento da casca do coco verde para a produção de etanol de segunda geração**. 2015. 76 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal de Alagoas, Maceió - AL.

CORTEZ, L.A.B.; PEREZ, J.M.M.; ROCHA, J.D.; JORDAN, R.A.; MESA, H.R.M. Processamento de casca e fibra de coco verde por carbonização para agregação de valor. **Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas**, v.3 n.1, p.21-30, 2009.

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

ELEVITCH, C.R. (ed.). **Traditional trees of Pacific Islands: their culture, environment, and use**. Holualoa: Permanent Agriculture Resources, 2006. 816p.

ESCOBAR, J.F. A produção sustentável de biomassa vegetal para energia no Brasil: O caso dos peletes de madeira. 2016. 122p. **Tese (Doutorado em Energia)** - Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, Brasil, 2016.

FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations. Global forest resources assessment 2005. Rome, 2010. 24 p.

FERREIRA, D.F. SISVAR: A guide for its bootstrap procedures in multiple comparisons. **Ciência e Agrotecnologia**, v.38, n.2, p.109-112, 2014.

FIGUEIREDO, A.L. **Pirólise termoquímica de pós da fibra do coco seco em um reator de cilindro rotativo para produção de bioóleo**. 2011. 126 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Petróleo) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal - RN.

GARCIA, D.P. **Caracterização química, física e térmica de peletes de madeira produzidos no Brasil**. 2010. 103p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade estadual Paulista, Guaratinguetá, SP, Brasil, 2010.

GARCIA, D.P.; CARASCHI, J.C.; DAL BEM, E.A.; FERREIRA, J.P.; SOUZA, F.M.L.; VIEIRA, F.H.A.; DIAS, R.R. Mapa dos produtores brasileiros de biocombustíveis peletes. **Brazilian Journal of Biosystems Engineering**, v.12, n.4, p.333-339, 2018.

GARCIA, D.P.; CARASCHI, J.C.; VENTORIM, G.; VIEIRA, F.H.A. Trends and challenges of Brazilian peletes industry originated from agroforestry. **CERNE**, v.22 n.3, p.233-240, 2016.

GARCÍA, R.; Pizarro, C.; Lavín, A.; Bueno, J. Characterization of Spanish biomass wastes for energy use. **Bioresource Technology**, v.103, p.249-258, 2012.

GOLDEMBERG, J.; COELHO, S.T. Renewable energy – traditional biomass vs. modern biomass. **Energy Policy**, v.32, p.711-714, 2004.

GOLDEMBERG, J; LUCON, O. Energia e meio ambiente no Brasil. **Estudos avançados**, v.21, n.59, p.7-20, 2007.

GOMES, E.R.S. Espécies exóticas invasoras em Unidades de Conservação da Cidade do Rio de Janeiro, RJ – Estudo da população de jaqueiras (*Artocarpus heterophyllus* L.) no Parque Natural Municipal do Mendanha, RJ. 2007. 83 f. **Dissertação** (Mestrado em Ciências Ambientais e Florestais)-Instituto de Florestas, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2007.

GREIN, A. Fábrica de peletes de madeira. 2016. 39p. **Trabalho de Conclusão de Curso** (Especialização em Economia e Meio Ambiente) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, Brasil, 2016.

GUNASENA, H.P.M. Forest policies of Sri Lanka. In: FAO, Forestry policies of selected countries in Asia and the Pacific. FAO Forestry Paper, Rome, p. 139-151. 1993.

KUMAR, P; ANDRADE, M.F.; YNOUE, R.Y.; FORNARO, A.; FREITAS, E.D.; MARTINS, J.; MARTINS, L.; ZHANG, Y.; MORWASKA, L. **New directions: From biofuels to wood stoves: The modern and ancient air quality challenges in the megacity of São Paulo**. Atmospheric Environment. Guilford, United Kingdom, v. 140, p. 364 – 369, 2016.

LAL, R., Digging deeper: A holistic perspective of factors affecting soil organic carbon sequestration in agroecosystems. **Global Change Biology**, v.24, p.1-17, 2018.

LAPOLA, D.M.; MARTINELLI, L.A.; PERES, C.A.; OMETTO, J.P.H.B.; FERREIRA, M.E.; NOBRE, C.A.; AGUIAR, A.P.D.; BUSTAMANTE, M.M.C.; CARDOSO, M.F.; COSTA, M.H.; JOLY, C.A.; LEITE, C.C.; MOUTINHO, P.; SAMPAIO, G.; STRASSBURG, B.B.N.; VIEIRA, I.C.G. Pervasive transition of the Brazilian land-use system. **Nature Climate Change**, v.4, p.27-35, 2014.

LORENZI, H.; SARTORI, S.F.; BACHER, L.B.; LACERDA, M.T.C. **Frutas brasileiras e exóticas cultivadas: de consumo *in natura***. São Paulo: Instituto Plantarum de Estudos da Flora, 2006. 672p.

MAGALHÃES, M. A.; CARNEIRO, A. C. O.; SILVA, C. M. S.; VITAL, B. R.; MARTINS, M. A.; CÂNDIDO, W. L. Avaliação da torrefação da madeira em curtos tempos de residência em um reator tipo rosca sem fim. **Ciência da Madeira**, v.9, n.3, p.160-169, 2018.

MORAES, S.L.; MASSOLA, C. P.; SACCOCCIO, E.M.; SILVA, D.P.; GUIMARÃES, Y.B.T. Cenário brasileiro da geração e uso de biomassa adensada. **Revista IPT: Tecnologia e Inovação**, v.1, n.4, p. 58-73, 2017.

MORAIS, F.A.; GÓES, G.B.; COSTA, M.E.; MELO, I.G.C.; VERAS, A.R.R.; CUNHA, G.O.M. Fontes e proporções de esterco na composição de substratos para produção de mudas de jaqueira. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.7, suplemento, p.784-89, 2012.

NASCIMENTO, G.A. Aproveitamento de bagaço em usinas de álcool e açúcar – venda, queima ou hidrólise. 2008.113f. **Dissertação** (Mestrado em Engenharia Mecânica), Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista (FEG/UNESP). Guaratinguetá, 2008.

NEVES, T.A.; PROTÁSIO, T.P.; COUTO, A.M.; TRUGILHO, P.F.; SILVA, V.O.; VIEIRA, C.M.M. Avaliação de clones de Eucalyptus em diferentes locais visando à

produção de carvão vegetal. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v.31, n.68, p. 319-330, 2011.

NOGUEIRA, L. A. H., LORA, E. E. S. **Dendroenergia: fundamentos e aplicações.** – 2ª ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2003.

NUNES, L. J. R.; MATIAS, J. C. O.; CATALÃO, J. P. S. A review on torrefied biomass pellets as a sustainable alternative to coal in power generation. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v.40, p.153-160, 2014.

PAZ, E.C.S.; PEDROZA, M.M.; OLIVEIRA, L.R.A.; PAZ, R.R.S. Alternativa de exploração sustentável dos resíduos do coco verde para a produção de energia. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, v.6, n.2, p.318-345, 2017.

PECINATO, K.A. Avaliação da qualidade da madeira de jaqueira (*Artocarpus heterophyllus* Lam.) através de ensaios de usinagem. 2015. 37p. **Monografia** (Graduação em Engenharia Florestal) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, Brasil, 2015.

PRINS, M.J.; PTASINSKI, K.J.; JANSSEN, F.J.J.G. Torrefaction of wood: part 2. analysis of products. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**, v.77, p.35-40, 2006.

PROTÁSIO, T.P.; TRUGILHO, P.F.; SIQUEIRA, H.F.; MELO, I.C.N.A.; ANDRADE, C.R.; GUIMARÃES JUNIOR, J.B. Caracterização energética de peletes *in natura* e torreficados produzidos com madeira residual de *Pinus*. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v.35, n.84, p.435-442, 2015.

QUÉNO, L.R.M. Produção de peletes de madeira no Brasil: estratégia, custo e risco do investimento. 2015. 162p. **Tese** (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade de Brasília, Brasília, DF, Brasil, 2015.

ROCHA, A. M.; SILVA, M. S.; FERNANDES, F. M.; SOARES, P. M.; KONISHI, F. Aproveitamento de fibra de coco para fins energéticos: revisão e perspectivas. In: 10º

CONGRESSO SOBRE GERAÇÃO DISTRIBUÍDA E ENERGIA NO MEIO RURAL, 2015, São Paulo, SP. **Anais...** Universidade de São Paulo - USP, São Paulo, 2015.

SANTOS, R. C. Parâmetros de qualidade da madeira e do carvão vegetal de clones de eucalipto. 2010, 173 f. 2010. **Tese** (Doutorado em Ciência e Tecnologia da Madeira)– Universidade Federal de Lavras, Lavras-MG.

SCHUTZ, F.; MASSUQUETTI, A.; ALVES, T.W. Demanda e oferta energética: uma perspectiva mundial e nacional para o etanol. **Electronic Journal of Management, Education and Environmental Technology (REGET)**, v.16, n.16, p.3167-3186, 2013.

SILVA, G.O.; JERÔNIMO, C.E. Estudo de alternativas para o aproveitamento de resíduos sólidos da industrialização do coco. **Monografias Ambientais**, v.10, n.10, p.2193-2208, 2012.

SILVA, V.B.A. **O impacto da ligação de fontes de energia renovável nas redes de BT**. 2012. 138p. **Dissertação** (Mestrado Integrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores Major Energia) - Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2012.

SOUZA, M.M. Propriedades de briquetes e peletes produzidos com resíduos sólidos urbanos. 2014. 82p. **Tese** (Doutorado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, Brasil, 2014.

SPANHOL, A.; NONES, D.L.; KUMABE, F.J.B.; BRAND, M.A. Qualidade dos peletes de biomassa florestal produzidos em Santa Catarina para a geração de energia. **Floresta**, v.45, n.4, p.833-844, 2015.

STELTE, W.; HOLM, J.K.; SANADI, A.R.; BARSBERG, S.; AHRENFELDT, J.; HENRIKSEN, U.B. Fuel peletes from biomass: the importance of the pelletizing pressure and its dependency on the processing conditions. **Fuel**, v.90, n.11, p.3285–3290, 2011.

VASSILEV, S.; Baxter, D.; Andersen, L.; Vassileva, C. An overview of the chemical composition of biomass. **Fuel**, v.89, p.913–933, 2010.

YANG, H.; YAN, R.; CHEN, H.; LEE, D.H.; ZHENG, C. Characteristics of hemicellulose, cellulose and lignin pyrolysis. **Fuel**, v.86, n.12-13, p.1781–1788, 2007.