

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA FLORESTAL
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL**

RAFAEL SANTOS DAMACENA

**POTENCIAL ENERGÉTICO DOS RESÍDUOS GERADOS EM
MADEIREIRAS NA REGIÃO METROPOLITANA DO RECIFE - PE**

**RECIFE-PE
2018**

RAFAEL SANTOS DAMACENA

**POTENCIAL ENERGÉTICO DOS RESÍDUOS GERADOS EM
MADEIREIRAS NA REGIÃO METROPOLITANA DO RECIFE - PE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Florestal da Universidade Federal Rural de Pernambuco, como parte das exigências para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Florestal.

Orientador (a): Marcelo Nogueira
Co-orientador (a): Thiago Cardoso Silva

**RECIFE-PE
2018**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas da UFRPE
Biblioteca Central, Recife-PE, Brasil

D154p Damacena, Rafael Santos.

Potencial energético dos resíduos gerados em madeiras na região metropolitana do Recife-PE / Rafael Santos Damacena. – Recife, 2018.

31 f.: il.

Orientador(a): Marcelo Nogueira.

Coorientador(a): Thiago Cardoso Silva.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Departamento de Ciência Florestal, Recife, BR-PE, 2019.

Inclui referências.

1. Potencial energético 2. Pó de serra 3. Reaproveitamento
I. Nogueira, Marcelo, orient. II. Silva, Thiago Cardoso, coorient.
III. Título.

CDD 634.9

RAFAEL SANTOS DAMACENA

**POTENCIAL ENERGÉTICO DOS RESÍDUOS GERADOS EM
MADEIREIRAS NA REGIÃO METROPOLITANA DO RECIFE - PE**

Aprovado em 15 de janeiro de 2018

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Rafael Leite Braz
Universidade Federal Rural de Pernambuco

Biólogo Tony Cantarelli
Universidade Federal Rural de Pernambuco

Orientador Prof. Dr. Marcelo Nogueira
Universidade Federal Rural de Pernambuco

**RECIFE-PE
2018**

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus por mais uma conquista em minha vida, por me manter firme e forte perante adversidades.

A minha mãe, Maria de Lourdes dos Santos, por seu amor e apoio durante toda minha graduação, pelas vezes que me defendeu e me deu forças para continuar.

A minha irmã, Camila, por sempre me ajudar quando precisei, ser muitas vezes minha rota de fuga para problemas familiares e por me fazer acreditar no amor de um irmão.

As minhas tias de coração, Audrey e Suzi, por sempre acreditar em mim, pela energia positiva que depositaram e continuam depositando até hoje.

Aos meus professores do ensino médio, em especial Conceição Cunha, por ter sido uma mãe para mim durante problemas enfrentados na criação de minha identidade.

Aos meus amigos que estão ao meu lado desde o ensino fundamental e que permanecem no meu coração até hoje.

A Marcelo Nogueira, por além de ser uma pessoa maravilhosa, foi meu tutor do PET Engenharia Florestal por mais da metade da minha graduação, por me inspirar na área que eu escolhi seguir, por além de ter sido um professor, foi um amigo.

A todos os amigos que fiz durante meu tempo no PET.

Ao meu coorientador Thiago Cardoso, por ter puxado minha orelha quando eu me desviava dos caminhos do TCC.

Ao meus bons e maravilhosos amigos do Desvio Extra-curricular, por cada risada e ombro amigo durante o tempo na faculdade. Sem vocês eu não teria conseguido, amo-os incondicionalmente.

Agradeço aos amigos que fiz durante o meu estágio na CPRH e a Ana Luiza pela oportunidade.

A Denilson por ser a pessoa que me aguenta e que recarrega minhas forças todos os dias, por nunca ter saído do meu lado nesta reta final, mesmo diante vários momentos de estresse. Te amo!

Por fim a todos que contribuíram de forma positiva em minha vida.

RESUMO

O crescimento exponencial da população traz consigo diversos problemas. Dentre eles uma maior demanda na geração de energia de fontes poluentes e maior quantidade de resíduos gerados. O objetivo deste trabalho foi avaliar o potencial energético de resíduos gerados em duas madeiras. As amostras foram coletadas em duas madeiras localizadas na Região Metropolitana do Recife, em Pernambuco. A primeira amostra obtida era composta pela mistura de resíduos, em forma de pó, das espécies Maçaranduba (*Manilkara sp.*) e Jatobá (*Hymenaea sp.*). A segunda amostra era uma mistura de resíduos de duas espécies, Maçaranduba e outra não identificada. As análises foram realizadas no Laboratório de Tecnologia Florestal, do Departamento de Ciência Florestal na Universidade Federal Rural de Pernambuco. As carbonizações foram realizadas em uma mufla digital com controle de temperatura, da marca MAGNU'S modelo 0910. A carbonização foi realizada a uma taxa de 1,4°C/min. Foram realizadas quatro carbonizações, duas para cada amostra. Para análise imediata do carvão vegetal foi utilizada a adaptação do CETEC (1982) a partir da ASTM (American Society for Testing and Materials), sendo assim possível determinar os teores de material volátil, de cinzas e por diferença de carbono fixo, base seca. O carvão vegetal produzido pelos resíduos mistos de duas madeiras apresentou um teor de umidade e de cinzas aceitáveis. O teor de materiais voláteis está acima do desejado e como consequência acarretou em menor teor de carbono fixo. O poder calorífico superior está acima da média encontrada no estudo da *Manilkara sp.*, provavelmente pelo material de origem não ser só maçaranduba. Não houve diferença significativa entre os resultados obtidos pelas amostras, exceto pelo teor de umidade.

Palavras chave: Potencial energético. Pó de serra. Reaproveitamento.

ABSTRACT

The exponential growth of the population brings with it several problems. Among them, a greater demand in the generation of energy of polluting sources and greater amount of residues generated. The objective of this work was to evaluate the energy potential of residues generated in two logging. Samples were collected at two logging sites located in the Metropolitan Region of Recife, in Pernambuco. The first sample obtained consisted of the mixture of dust residues of the species *Maçaranduba* (*Manilkara* sp.) And *Jatobá* (*Hymenaea* sp.). The second sample was a mixture of residues from two species, *Maçaranduba* and another unidentified. The analyzes were carried out at the Forest Technology Laboratory, Department of Forestry Science, Federal Rural University of Pernambuco. The carbonisations were carried out in a digital muffle with temperature control of the brand MAGNU'S model 0910. The carbonization was performed at a rate of 1.4°C/min. Four carbonizations were performed, two for each sample. For the immediate analysis of the charcoal, the adaptation of the CETEC (1982) to ASTM (American Society for Testing and Materials) standards was used, thus it was possible to determine the contents of volatile material, ashes and by fixed carbon difference, dry basis. Charcoal produced by the mixed waste from two logging had an acceptable ash and ash content. The content of volatile materials is higher than desired and as a consequence has a lower fixed carbon content. The higher calorific value is above the average found in the study of *Manilkara* sp., Probably because the source material is not only *maçaranduba*. There was no significant difference between the results obtained by the samples, except for the moisture content.

Keywords: Energy potential. Sawdust. Reuse

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1 - Mufla utilizada para carbonização..... | 19 |
| Figura 2 - Caixa metálica utilizada para carbonização..... | 20 |
| Figura 3 - Peneiras utilizadas na classificação da amostra e Almofariz com amostra macerada..... | 21 |
| Figura 4 - Análise imediata do carvão vegetal. Cadinho na porta da mufla | 22 |

SUMÁRIO

| | |
|--|----|
| 1. INTRODUÇÃO | 9 |
| 1.1 OBJETIVOS | 10 |
| 1.1.1 Objetivo geral | 10 |
| 1.1.2 Objetivos específicos | 10 |
| 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA | 11 |
| 2.1 BIOMASSA COMO FONTE DE ENERGIA..... | 11 |
| 2.1.1 Aproveitamento de resíduos | 13 |
| 2.1.2 Resíduos do processamento mecânico da madeira..... | 14 |
| 2.2 ANÁLISE IMEDIATA | 15 |
| 2.2.1 Carvão Vegetal | 16 |
| 2.2.2 Carbonização | 18 |
| 3. MATERIAL E MÉTODOS | 19 |
| 3.1 MATERIAL..... | 19 |
| 3.2 CARBONIZAÇÃO..... | 19 |
| 3.3 ANÁLISE IMEDIATA..... | 20 |
| 4. RESULTADO E DISCUSSÃO | 24 |
| 5. CONCLUSÃO | 28 |
| 6. REFERÊNCIAS..... | 29 |

1. INTRODUÇÃO

O crescimento exponencial da população traz consigo diversos problemas. Dentre eles uma maior demanda na geração de energia de fontes poluentes e maior quantidade de resíduos gerados, que quando descartados de forma indevida também trazem problemas ambientais, paisagístico e à saúde da população.

De acordo com a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), Lei N° 12.305/2010 conceitua-se resíduo sólido como:

material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, cuja a destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semissólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnica ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível (BRASIL, 2010).

Dentre os resíduos gerados pela humanidade, temos os resíduos madeireiros que, se reaproveitados, podem gerar algum rendimento econômico da matéria prima, evitar o descarte em locais indevidos além da poluição e degradação ambiental. Tais resíduos podem ser utilizados na geração de energia, visto que a madeira é matéria prima na fabricação do carvão vegetal.

A origem dos resíduos madeireiros é diversa. Como exemplo temos: podas urbanas, plantios para papel e celulose durante sua colheita ou desgalhamento, empresas de móveis, serrarias, construções em madeira e outras fontes. As madeireiras são responsáveis por uma diversidade de resíduos gerados e para cada tipo de resíduo há um determinado nível de responsabilidade além de diversas formas de se reutilizar (NOLASCO; ULIANA, 2014).

Este estudo trabalhou com pó misto proveniente da serragem de madeira, visto que as madeireiras visitadas não trabalham com apenas uma espécie vegetal. Apesar da madeira ser um material de características heterogêneas, variando sua composição química e anatômica de espécie para espécie, entre a mesma espécie e entre diferentes partes do mesmo indivíduo é importante o estudo do composto misto gerado nas madeireiras para que o resultado seja mais real possível.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

Avaliar o potencial energético de resíduos gerados em duas madeiras localizadas na Região Metropolitana do Recife, Pernambuco.

1.1.2 Objetivos específicos

- Carbonizar os resíduos das madeiras e avaliar o potencial energético;
- Avaliar a qualidade do carvão vegetal, através da análise imediata;
- Determinar o poder calorífico do carvão produzido.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 BIOMASSA COMO FONTE DE ENERGIA

Um dos primeiros, se não o primeiro, avanço tecnológico da humanidade foi o uso do fogo, permitindo maior proteção contra o frio e inimigos ou ameaças externas, transformação de alimentos, amolecimento e endurecimento de alguns materiais na fabricação de armas e outros objetos, sendo a madeira o material combustível (BRAINER, 2018; TESSMER, 2009; NAVARRO, 2006).

O uso da madeira foi bastante intenso durante o final do século XVIII, por causa da invenção da máquina a vapor, durante a revolução industrial, o que permitiu o aquecimento comercial na época, viabilizou o transporte de pessoas e estimulou o avanço na indústria têxtil (BRAINER, 2018). No século XIX a madeira utilizada como lenha teve como concorrente o carvão mineral, e no final do século a energia elétrica; enquanto que no século XX o petróleo passa a ser utilizado em larga escala (TESSMER, 2009).

O problema no uso do petróleo como fonte de energia está nas emissões dos gases do efeito estufa, além não ser renovável. De acordo com Silva et al (2017), as fontes não renováveis são aquelas com a possibilidade de esgotamento e que produzem energia por meio de transformação única da fonte primária que converte-a em energia mecânica ou elétrica, como exemplo: derivados do petróleo, combustíveis radioativos, energia geotérmica e gás natural.

O fato de uma matriz energética baseada em combustíveis fósseis ser considerada insegura, onerosa e prejudicial ao ambiente tem levado países considerarem a necessidade de intensificar o aproveitamento de outras fontes de energia, de preferência fontes renováveis, incluindo a madeira (BRITO, 2007).

As fontes de energias renováveis têm sua reposição pela natureza mais ágil do que sua utilização para gerar energia, desde que manejadas de forma compatível com a demanda por energia, podendo produzir energia térmica, elétrica e mecânica; como exemplo: águas dos rios, mares, sol, vento e biomassa (SILVA et al, 2017).

Biomassa, destinada ao aproveitamento energético, é uma fonte primária de energia, não fóssil, que consiste em matéria orgânica de origem animal ou vegetal. A biomassa contém energia armazenada sob a forma de energia química. Em relação a sua origem, as biomassas para fins energéticos podem ser classificadas nas categorias de biomassa energética florestal, seu produtos e subprodutos ou resíduos; biomassa energética da agropecuária, as culturas agroenergéticas e os

resíduos e subprodutos das atividades agrícolas, agroindustriais e da produção animal; e rejeitos urbanos. (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, pg.125, 2018).

O Brasil é um país que possui vantagens em relação às fontes de biomassa para fins energéticos devido a produção agrícola e florestal, vantagem que poderia colocá-lo numa posição de líder mundial do biomercado e mercado internacional de energia renovável (SILVA et al, 2017). Atualmente no Brasil as fontes renováveis geram cerca de 80,4% da energia ofertada internamente, destes apenas 8,2% é gerado pela biomassa (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2018).

No Nordeste Brasileiro o uso da lenha, carvão vegetal e bagaço de cana, como fonte de energia, iniciou-se desde o processo de ocupação pelo homem, pois eram as únicas fontes de energia disponíveis. Na década de 80 foi introduzido no Nordeste a energia hidroelétrica proveniente da usina de Paulo Afonso, mesma década em que o petróleo e o gás natural começaram a ser explorados, tendo esses dois últimos atingido seu nível de produção máximo no final da década de 90 (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2010).

Ainda de acordo com o Ministério do Meio Ambiente (2010), a demanda por carvão vegetal e lenha acompanhou o crescimento da população do nordeste, estabilizando em 1974 por causa do petróleo, porém devido o crescente uso de energia por parte da hidroelétrica, houve um incentivo de políticas que objetivaram a redução do uso de hidrocarbonetos (petróleo). Isto trouxe como consequência a redução do uso do óleo e do diesel por parte das indústrias, que passaram a usar lenha e carvão vegetal.

O uso da madeira, seja como lenha ou carvão vegetal, é utilizada mundialmente no preparo de alimentos para um grande número de famílias e comunidades, especula-se que duas a cada seis pessoas utilizam a madeira como principal fonte de energia, este fato ocorre principalmente em países ou regiões ainda em desenvolvimento (BRITO, 2007).

A demanda crescente pelo uso de lenha e carvão vegetal se dá graças ao crescimento da população e expansão industrial, que necessitam de maior quantidade de materiais de construção, como cerâmica, cal, gesso, cimento e siderúrgicas (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2010).

Para satisfazer a demanda a custo benefício é necessário que a produção de madeira para lenha seja próxima aos locais de interesse, pois o transporte da matéria-prima pode se tornar caro. Neste caso a vantagem é do carvão vegetal por ter menos umidade e voláteis. Segundo dados da Indústria Brasileira de Árvores – IBÁ (2017), 13% do setor de florestas plantadas é destinado à siderurgia e carvão vegetal.

Outra forma de obter biomassa a partir da madeira é através dos resíduos gerados na exploração florestal e do processamento mecânico da madeira. No caso da exploração da madeira, algumas vezes os resíduos são descartados na própria área do plantio, acabando sem nenhum aproveitamento, podendo provocar problemas nos tratos culturais posteriores; enquanto estima-se que no processamento da madeira o aproveitamento seja de somente 40% a 60% do volume total da tora (RAMOS, 2011).

Os resíduos provenientes do processamento da madeira podem ser em forma de pó, cavacos e maravalhas. É estimado que o volume de resíduos florestais no Brasil seja de 17 milhões de metros cúbicos por ano, graças ao aumento nos custos do setor energético brasileiro, as empresas estão reaproveitando cada vez mais os resíduos como fonte alternativa para gerar energia (OLIVEIRA et al., 2017).

É relevante que desenvolvam novas opções para uso dos resíduos, pois a utilização da madeira deve ser realizada de forma coerente, em busca do melhor rendimento possível, pois mesmo a madeira sendo um recurso natural renovável, o custo para reposição florestal pode ser oneroso (ALMEIDA et al., 2012).

O uso de resíduos de florestais para produção de energia pode apresentar algumas desvantagens devido a baixa densidade, volumes e dimensões não uniformes e elevada higroscopicidade e teor de umidade. Uma das maneiras de resolver essas desvantagens seria melhorar as propriedades do material residual, densificando a biomassa, transformando-os em materiais sólidos, de tamanho uniforme médio e com elevada concentração de energia (OLIVEIRA et al., 2017). O resultado desse processo é conhecido como briquetes ou *pelletes*.

Dentre as vantagens do uso da biomassa como fonte de energia, temos: diminuição dos gases do efeito estufa, ampliação na renda, diminuição de resíduos em aterros sanitários, redução dos gastos de transporte com resíduos, menor desperdício de matéria-prima e mudança na matriz energética (QUIRINO, 2012; SCHMIDT, 2015).

2.1.1 Aproveitamento de resíduos

Entende-se por resíduos sólidos todo e qualquer material proveniente de atividades humanas que são descartados no ambiente, podendo variar sua composição de acordo com as características de cada região. É importante que o governo junto à empresas e população participem em conjunto na redução da geração de resíduos, seja por meio de investimentos em processos industriais, incentivos governamentais, conscientização ambiental, porém em

casos que não sejam possíveis a redução, os esforços devem ser voltados para a reutilização (GONÇALVES, 2010).

A falta de alternativa para destinação dos resíduos faz com que os mesmos sejam empilhados, encontrando-se em diferentes níveis de decomposição, normalmente sendo queimados a céu aberto, ou até transportados para aterros inadequados, onde o chorume acaba causando impacto ao ambiente (BUDZIAK, 2004; PREILIPPER et al., 2016).

Diversos produtos podem ser reutilizados, seja pra sua função original quanto para novas formas de utilização. O resíduo vegetal, por exemplo, pode ser reutilizado como matéria prima em um processo distinto daquele que o gerou. Podendo ser utilizados a partir de seu potencial energético na geração de calor, vapor ou até eletricidade em determinados geradores, ou termelétricas. Podem também serem aproveitados de forma sólida, como briquetes ou carvão vegetal (GONÇALVES, 2010).

O aproveitamento dos resíduos gerados a partir do processamento da madeira podem ser destinados para obtenção de um produto de maior valor agregado, como painéis de madeira aglomerada, ser incorporado a processo produtivo da celulose, geração de energia e produção de etanol, dentre outros usos (ALMEIDA et al., 2012). Resíduos lignocelulósicos podem ser aproveitados para fabricação de papel através da biopolpação, também podem ser utilizados na compostagem por meio de um biocatalizador, esta é uma alternativa ao acúmulo de resíduos amontoados em serrarias. O pó de serra gerado nas serrarias também pode ser utilizado na substituição da lenha, como já é utilizado na fabricação de tijolos (GOMES; SAMPAIO, 2004).

Para Gonçalves (2010), a dificuldade em obter dados de quantificação de resíduos lignocelulósicos se deve a poucos estudos para verificação da disponibilidade e potencial destes resíduos.

2.1.2 Resíduos do processamento mecânico da madeira

A ineficiência no processamento da madeira em algumas madeiras além do acabamento superficial pode acabar provocando deficiência na qualidade final dos produtos. A usinagem da madeira corresponde ao processo de trabalhar a madeira conseguindo formas, dimensões e qualidades das superfícies desejadas visando o seu valor econômico (ALMEIDA et al., 2012).

O setor madeireiro gera grande quantidade de resíduos durante seu processo de beneficiamento, tal geração de resíduo ocorre antes, durante e pode ocorrer após o processamento da madeira, pois nem todos os produtos finais atingirão as especificações do

mercado consumidor (DUTRA, NASCIMENTO, 2005; GONÇALVES, 2010). O processamento na redução de árvores retiradas de uma floresta, plantada ou nativa, gera uma diversidade do tamanho e forma da madeira (SILVA, 2015).

Dutra e Nascimento (2005) separam os tipos de resíduos provenientes do processamento da madeira em três categorias:

- Serragem: quando o resíduo é gerado a partir da operação de serras, comum em todos os tipos de indústrias, menos às laminadoras - de dimensões inferiores a 0,5mm;
- Maravalha: quando o resíduo é gerado por plainas – de dimensões maiores que 2,5mm;
- Lenha: quando o resíduo possui maiores dimensões, neste caso é gerado em qualquer tipo de indústria. Pode ser na forma de costaneiras, aparas, refilos, resíduos de topo de tora e restos de lâmina.

É necessário maior conhecimento das características da madeira trabalhada para que possa ser utilizada de forma correta, fazendo uma seleção da espécie mais adequada para determinado uso (ALMEIDA et al., 2012).

2.2 ANÁLISE IMEDIATA

Para conhecer o potencial energético do material vegetal é necessário analisar o rendimento gravimétrico do carvão vegetal, teor de umidade, teor de material volátil, teor de cinzas, teor de carbono fixo e poder calorífico superior.

- O poder calorífico da madeira corresponde a quantidade de calor liberadas durante a combustão completa de uma unidade de sua massa. O poder calorífico superior é aquele que quando a combustão ocorre a volume constante e a água formada durante a combustão se condensa (DUTRA, NASCIMENTO, 2005; GONÇALVES, 2010).
- O teor de material volátil corresponde aos gases voláteis residuais do carvão, como por exemplo o hidrogênio, hidrocarbonetos, monóxido de carbono e dióxido de carbono. Quanto maior o teor de voláteis presente no material, maior será sua expansão, ocasionando trincas e maior porosidade (RODRIGUES et al., 2010).
- O teor de cinzas corresponde ao resíduo mineral que vieram dos componentes minerais do lenho e casca. A quantidade de cinzas é diretamente proporcional aos materiais minerais presentes na madeira. Para atender a demanda de siderúrgicas, o carvão vegetal deve ter um baixo teor de cinzas. Quando a finalidade da biomassa é

para fins energéticos, o teor de cinzas é uma das principais características analisadas (RODRIGUES et al., 2010).

- O teor de umidade é de importante conhecimento, para que a madeira possa ser usada na queima, pois quanto maior o teor de umidade mais difícil será para a mesma entrar em combustão, pois a energia será utilizada para evaporar a água (RODRIGUES et al., 2010).
- Uma das características mais importantes para qualificar o carvão vegetal é o teor de carbono fixo. Corresponde a quantidade de carbono presente no carvão, apresentando uma relação direta com o rendimento gravimétrico (RODRIGUES et al., 2010).
- O rendimento gravimétrico é definido como o rendimento do carvão ao fim do processo de carbonização em relação a matéria prima original (RODRIGUES et al., 2010).

Segundo Basso (2017), é interessante que o carvão vegetal possua elevado teor de carbono fixo e baixos teores de materiais voláteis e cinzas quando for para uso energético, visto que essas características estão correlacionadas com o poder calorífico.

2.2.1 Carvão Vegetal

O carvão vegetal é o resultado da madeira que passa por uma série de reações químicas em temperaturas elevadas que modificam a estrutura da biomassa, transformando a madeira no carvão, além do conjunto de água e gases conhecidos como licor pirolenhoso (CHIES, PICHELLI, 2015).

O Brasil possui aproximadamente 1/3 da produção mundial de carvão vegetal. A maior demanda interna do produto se deve a atividade siderúrgica, como por exemplo para produção de ferro-gusa (SANTOS, HATAKEYAMA, 2012; SOARES et al. 2014).

A composição do carvão vegetal difere da composição da biomassa, pois a mesma ainda está com elevado teor de umidade, compostos voláteis, Ca, Cl, H, K, Mg, Mn, Na, O, e P além de possuir teores mais baixos (que o carvão vegetal) de cinzas, carbono fixo, Al, Fe, N, Si, S e Ti (SOARES et al., 2014).

A qualidade do carvão depende dos fatores que influenciam as características da madeira, sejam eles genéticos, a interação entre o genótipo e ambiente, idade do material e espaçamento utilizado pode interferir em sua composição química, física, mecânica e até anatômica. Além desses fatores, a densidade básica da madeira é uma das características

mais importantes na escolha da espécie para produção do carvão pois influencia diretamente na qualidade do carvão vegetal (ASSIS, 2012).

A quantidade de celulose, lignina e hemicelulose e suas qualidades, assim como a relação C/H e o teor de extrativos podem interferir no rendimento do carvão durante a pirólise. As propriedades do produto final dependem diretamente da matéria prima de origem. O maior rendimento encontrado em carvão vegetal varia de 40% a 50% aproximadamente (ARAUJO, 2018; SOARES et al., 2014).

De acordo com Soares et al (2014), a heterogeneidade da madeira é uma das preocupações das indústrias siderúrgicas. Apesar da madeira ser heterogênea, diversos fatores afetam a qualidade final do carvão, não há um padrão a ser seguido para a produção do mesmo. Afim de qualificar e identificar o melhor uso para o carvão vegetal é importante fazer sua avaliação. Existem alguns procedimentos e normas que podem ser seguidos, como a análise química imediata, elementar, poder calorífico, determinação de teor de carbono fixo, teor de materiais voláteis e de cinzas (ROSA et al, 2012).

Cemin (2010) categoriza o carvão vegetal em seis tipos, variando de acordo com seu uso:

- 1) Carvão para uso doméstico: aquele em que sua composição química não é relevante, no geral possui baixa resistência, devendo ser facilmente inflamável e produzir pouca fumaça. Obtido geralmente entre 350 a 400°C;
- 2) Carvão para uso metalúrgico: aquele utilizado no abastecimento de fornos industriais e para fundir minérios, deve ser denso, apresentar uma boa resistência e baixa friabilidade, não pode apresentar alto teor de material volátil e cinza, porém deve apresentar alto teor de carbono fixo. Obtido geralmente em temperaturas acima de 650°C;
- 3) Carvão para gasogênio: este é utilizado como força motriz, devendo ser pouco quebradiço e ter uma densidade aparente de até 0,3, além de ter 75% de carbono fixo;
- 4) Carvão Ativado: pode ser utilizado na medicina, purificação de solventes e outras práticas por causa da sua capacidade de absorção. Ele deve ser leve e ter elevada porosidade;
- 5) Carvão para indústria química: deve ter boa reatividade química além de apresentar elevada pureza;
- 6) Outros usos: indústria de cimento, geralmente é pulverizado e deve ser mais inflamável.

O tipo de forno também influencia no produto final da carbonização. Atualmente, cerca de 80% da produção de carvão vegetal é realizada em fornos precários, de capacidade limitada no processamento e controle dos parâmetros (ARAÚJO, 2018).

O processo de produção do carvão vegetal se dá, geralmente, por fornos de argila, alvenaria e também os metálicos. O rendimento gravimétrico dos fornos mais rudimentares, como os de argila, acabam não ultrapassando 25%, já os de alvenaria conseguem alcançar de 30 a 33%, e os metálicos possuem rendimento volumétrico superior, pois a carbonização é mais eficiente e facilitada devido a combustão externa ocasionada pelo aquecimento da biomassa em ambiente pobre em oxigênio (DALLASTRA, 2010).

Segundo Chies e Pichelli (2015), de uma tonelada de madeira carbonizada, pode-se obter em média 400 kg de carvão vegetal e 600 kg de gases e líquidos. É importante determinar a relação existente entre as propriedades físicas e químicas e o desempenho energético da biomassa (ARAÚJO, 2018)

2.2.2 Carbonização

Vários fenômenos complexos estão envolvidos na prática da carbonização que geram um elevado número de compostos. De acordo com Trugilho e Silva (2001), a carbonização pode ser classificada em quatro etapas, de acordo com a sua temperatura:

- i. Temperaturas abaixo de 200°C: fase em que ocorre a secagem da madeira;
- ii. Temperaturas de 200°C a 280°C: fase com predominância de reações endotérmicas, nela há liberação de ácido acético, metanol, água, CO₂ e outros;
- iii. Temperaturas de 280°C a 500°C: fase com predominância de reações exotérmicas, levando a liberação de gases combustíveis (CO, CH₄ e outros) além do alcatrão;
- iv. Temperaturas acima de 500°C: fase com liberação de pequenas quantidades de voláteis, como exemplo o H₂;

É possível além da obtenção do carvão vegetal, o aproveitamento dos demais subprodutos gerados durante o processo de carbonização, pois os mesmos possuem seu valor econômico, evitando também a contaminação da atmosfera com a eliminação dos gases resultantes deste processo.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 MATERIAL

As amostras foram coletadas em duas madeiras localizadas na PE-005, Avenida Caxangá na Região Metropolitana do Recife, em Pernambuco. A primeira amostra obtida na Madeira 1 era composta pela mistura de resíduos, em forma de pó, das espécies Maçaranduba (*Manilkara sp.*) e Jatobá (*Hymenaea sp.*). A segunda amostra foi obtida na Madeira 2 cuja composição era uma mistura de resíduos de duas espécies, Maçaranduba e outra não identificada.

Após coleta, as amostras foram acondicionadas em saco plástico, lacradas e transportadas para análise laboratorial. As análises foram realizadas no Laboratório de Tecnologia Florestal, do Departamento de Ciência Florestal na Universidade Federal Rural de Pernambuco.

3.2 CARBONIZAÇÃO

As amostras foram levadas à estufa a $103\pm 2^\circ\text{C}$ durante 48h, até atingirem peso constante. Uma vez constante, as amostras puderam seguir para carbonização.

As carbonizações foram realizadas em uma mufla digital com controle de temperatura, da marca MAGNU'S modelo 0910 (Figura 1).

Figura 1 - Mufla utilizada para carbonização



Fonte: O autor

Foram realizadas quatro carbonizações, duas para cada amostra. As carbonizações foram conduzidas por 210 minutos a uma temperatura máxima de $460 \pm 10^\circ\text{C}$. Cada amostra era composta por aproximadamente 100 gramas pesados numa balança analítica da marca Exacta com precisão de duas casas decimais. Após pesada, a amostra foi colocada em uma caixa metálica (Figura 2) e introduzida na mufla onde foi aquecida até 150°C , permanecendo nesta temperatura durante trinta minutos. Após os trinta minutos iniciais, a temperatura foi elevada para 250°C e permaneceu por mais trinta minutos. Nesta fase inicia-se as reações exotérmicas, aumentando assim a velocidade de aquecimento da amostra, então para ter um melhor controle, passou-se a medir o tempo em função da temperatura a cada 20°C , com uma taxa de aquecimento de $1,4^\circ\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$, para poder atingir a temperatura desejada. Após o término da carbonização, a amostra foi retirada da mufla e colocada em um dessecador por aproximadamente uma hora, para posterior pesagem e determinação do rendimento gravimétrico.

Figura 2 - Caixa metálica utilizada para carbonização



Fonte: O autor

3.3 ANÁLISE IMEDIATA

Para análise imediata do carvão vegetal foi utilizada a adaptação do ASTM (American Society for Testing and Materials) pelo CETEC (1982), sendo assim possível

determinar os teores de material volátil (MV), de cinzas (CZ) e por diferença de carbono fixo (CF), base seca.

Inicialmente a amostra foi macerada e classificada entre as peneiras de 60 e 100 mesh (Figura 3), posteriormente foi pesado 1g de carvão vegetal e colocado em um cadinho de porcelana sem tampa, onde foi levado à estufa a $105\pm 2^\circ\text{C}$ por duas horas. Após esse tempo, retirou-se o cadinho da estufa e colocou-o no dessecador para esfriar, depois o cadinho foi pesado e determinou-se o teor de umidade pela equação (1):

$$TU = \frac{mu - ms}{ms} \times 100 (\%) \quad (1)$$

Onde:

mu = massa de carvão seco ao ar;

ms = massa de carvão seco em estufa;

TU = teor de umidade.

Figura 3 - Peneiras utilizadas na classificação da amostra e Almofariz com amostra macerada



Fonte: O autor

Este mesmo cadinho contendo carvão vegetal sem umidade foi colocado na mufla a $950\pm 5^\circ\text{C}$, na seguinte sequência: três minutos na porta da mufla e sete minutos em seu interior (Figura 4).

Figura 4 - Análise imediata do carvão vegetal. Teor de materiais voláteis.



Fonte: O autor

Este procedimento é necessário para evitar o choque térmico, que poderia inviabilizar o teste. Logo após os dez minutos totais da amostra na mufla, o cadinho foi retirado e colocado para esfriar em um dessecador. Após esse processo, pesou-se o cadinho obteve-se o teor de materiais voláteis, de acordo com a Equação 2:

$$MV = \frac{ms - mam}{ms} \times 100 (\%) \quad (2)$$

Onde:

ms = massa de carvão seco em estufa a 105°C ;

mam = massa de carvão após tratamento a 950°C ;

MV = teor de materiais voláteis.

Novamente o mesmo cadinho contendo agora carvão vegetal isento de umidade e materiais voláteis, foi colocado na mufla a $750 \pm 5^{\circ}\text{C}$ por 2 horas. Em seguida, retirou-se o cadinho, deixou-se esfriar em dessecador por uma hora e pesou-se, determinando-se o teor de cinzas (Equação 3):

$$Cz = \frac{mr}{ms} \times 100 (\%) \quad (3)$$

Onde:

Cz = teor de cinzas;

m_r = massa do resíduo;

m_s = massa do carvão seco em estufa.

De posse dos dados determinou-se o Teor de Carbono Fixo base seca (CF), por diferença, como na Equação 4:

$$CF = 100 - (MV - Cz) \quad (4)$$

O Poder Calorífico Superior foi estimado a partir do resultado obtido pelas análises de Teor de Cinzas, Teor de Materiais Voláteis e Carbono Fixo e obtidos por meio de modelagem da análise imediata e poder calorífico de diversas biomassas, possuindo um erro absoluto de 3,74% (FERREIRA et al, 2014), através da Equação 5:

$$PCS = 84,5104 \times CF + 37,2601 \times MV - 1,8642 \times TC \quad (5)$$

Foram realizadas duas repetições por tratamento e cada amostra teve uma duplicata. Na determinação do teor de umidade, cada amostra e sua duplicata não devem diferir um do outro em valores superiores a 5%. Já na determinação dos teores de cinzas não devem diferir um do outro em valores relativos superiores a 10%.

As análises dos dados obtidos foram submetidas a ANOVA com auxílio do Software Assistat 7.7.

4. RESULTADO E DISCUSSÃO

Quanto às propriedades energéticas encontradas para o resíduo vegetal (Tabela 1), foi possível observar que somente o teor de umidade houve diferença estatística (Tabela 2).

Tabela 1: Valores médios da análise imediata em relação ao Rendimento Gravimétrico (%RG), Teor de Umidade (%TU), Teor de materiais voláteis (%MV), Teor de Cinzas (%Cz), Teor de Carbono fixo (%CF) e Poder Calorífico Superior (PCS) dos resíduos madeireiros

| AMOSTRA | %RG | %TU | %MV | %Cz | %CF | PCS (Kcal/Kg) |
|-----------|-------|------|-------|------|-------|------------------|
| Madeira 1 | 37,60 | 0,89 | 42,80 | 1,14 | 58,34 | 6523,1 |
| | 38,35 | 1,49 | 44,01 | 0,94 | 56,94 | 6449,8 |
| Madeira 2 | 35,86 | 1,98 | 30,50 | 1,98 | 71,47 | 7173,3 |
| | 38,62 | 1,69 | 44,07 | 1,25 | 57,17 | 6471,5 |
| Máximo | 38,62 | 1,98 | 44,07 | 1,98 | 71,47 | 7173,3 |
| Mínimo | 35,86 | 0,89 | 30,50 | 0,94 | 56,94 | 6449,8 |
| Média | 37,60 | 1,51 | 40,35 | 1,33 | 60,98 | 6654,42 |
| DP | 1,08 | 0,40 | 5,71 | 0,39 | 6,08 | 300,75 |
| CV(%) | 0,03 | 0,26 | 0,14 | 0,29 | 0,10 | 0,04 |

Tabela 2: Teste de F para p percentual dos valores médios obtidos através da análise imediata e poder calorífico superior do carvão vegetal obtido a partir das amostras das respectivas madeiras

| AMOSTRA | TU (%) | MV (%) | Cz (%) | CF (%) | PCS (Kcal/Kg) |
|-----------|--------|--------|--------|--------|---------------|
| Madeira 1 | 1,19* | 43,41 | 1,04 | 57,64 | 6486,42 |
| Madeira 2 | 1,83 | 37,29 | 1,61 | 64,32 | 6822,37 |

Médias seguidas de (*) nas colunas diferem entre si significativamente.

O rendimento gravimétrico corresponde à relação, em percentagem, de peso entre o carvão e a biomassa que o gerou, tendo em média valores entre 30%, podendo atingir valores superiores quando a temperatura máxima média é mantida na faixa de 400°C e uma lenta taxa de aquecimento (BASSO, 2017). Os valores médios do rendimento gravimétrico obtidos pelo processo de carbonização foram de 37,97% e 37,24% para a Madeira 1 e Madeira 2 respectivamente. Barbosa (2014) realizou um estudo com a madeira de *Eucalyptus urophylla* e obteve como rendimento gravimétrico 28,87% para base e 27,58% para topo. Valores inferiores aos obtidos no presente estudo.

A média do teor de umidade obtido neste estudo foi de 1,19% para Madeireira 1 e 1,83% para Madeireira 2. Basso (2017), em seu trabalho com *Eucalyptus grandis*, obteve valores médios entre 4,54% e 4,98%, apesar de serem bem distintos das médias encontradas no presente estudo, em seu trabalho, ressaltando que para utilização doméstica do carvão vegetal é necessário que a umidade seja inferior a 5%. Neste caso, o resíduo proveniente das duas madeireiras em estudo pode ter finalidade para uso doméstico. Além disso, quanto maior o teor de água no material, mais energia será necessária para a queima do mesmo.

De acordo com Basso (2017), quanto maior o teor de voláteis, maior a produção de fumaça durante a queima e menor a eficiência energética. O ideal é que o teor de voláteis seja inferior a 23,5%. No caso do atual estudo, a média dos teores de voláteis encontrados nas Madeireiras 1 e 2 foram 43,41% e 37,29%, respectivamente. Em um estudo com resíduos celulósicos da fabricação de papel, Ferreira et al. (2014), obteve o valor médio de $84,2 \pm 0,23\%$ de teor de voláteis, valor bem superior ao ideal e o obtido neste estudo.

O teor médio de cinzas obtido foi de 1,04% e 1,61% para as Madeireiras 1 e 2, respectivamente. O teor ideal de cinzas é menor que 1,5% (BASSO, 2017). Neste caso o carvão vegetal da Madeireira 1 se enquadra no ideal enquanto a Madeireira 2 ultrapassa apenas 0,11%, porém como não houve diferença estatisticamente significativa entre as amostras, pode-se inferir que os resíduos atendem essa especificação. Barbosa (2014), obteve em seu estudo com *Eucalyptus urophylla* médias 1,0453% para as amostras retiradas da base e 0,9300% para as do topo, enquanto Ferreira et al. (2014), obteve $1,0 \pm 0,13\%$ estudando o teor de cinzas dos resíduos lignocelulósicos da fabricação do papel.

Espera-se que o teor de carbono fixo seja superior a 75%. Quanto maior o teor de carbono fixo no material, menor o teor de voláteis e cinza, isso acarreta num maior poder calorífico superior do indivíduo. O carvão vegetal com essa característica queima mais lentamente, mantendo a chama estável (BASSO, 2017). As médias obtidas para carbono fixo foram de 57,64% para Madeireira 1 e 64,32% para a Madeireira 2, sendo assim ambas inferiores ao teor desejado de carbono fixo. Enquanto a média do poder calorífico superior das duas madeireiras foi de 6486,42 Kcal/Kg e 6822,37 Kcal/Kg, respectivamente para a madeireira 1 e 2. Para madeira de Maçaranduba (*Manilkara sp.*), Dutra et al. (2005), encontrou um valor médio de 4248 Kcal/Kg, já Barbosa (2014), encontrou para *Eucalyptus urophylla* médias de 7231 Kcal/Kg para as amostras retiradas da base e 7303 Kcal/Kg para as do topo.

Apesar do valor do teor de cinzas da Madeireira 1 estar dentro do desejado e o da Madeireira 2 está um pouco acima, podemos ver na Tabela 3, que através da análise de variância e Teste de Tukey ($\alpha=5\%$) não há diferença estatística entre eles.

De acordo com a Tabela 2, apenas o teor de umidade diferiu estatisticamente entre as Madeireiras. Este fato deve ter ocorrido devido uma das amostras terem sido carbonizadas fora do padrão.

Apesar dos resíduos possuírem um elevado teor de voláteis e um baixo teor de carbono fixo, o baixo teor de umidade e de cinzas acaba tornando-os viáveis para o uso. Sendo então uma alternativa de uso para os resíduos dentro da própria madeireira ou para venda.

Os valores podem variar conforme o tipo de biomassa utilizado para a carbonização, como mostra a Tabela 3.

Tabela 3: Resultados das Análises imediatas das biomassas carbonizadas.

| Biomassa | TU (%) | MV (%) | Cz (%) | CF (%) | PSC (Kcal/Kg) | Fonte |
|-----------------|--------|--------|--------|--------|------------------|---------------------|
| Madeira 1 | 1,19 | 43,41 | 1,04 | 57,64 | 6486,42 | O autor |
| Madeira 2 | 1,83 | 37,29 | 1,61 | 64,32 | 6822,37 | O autor |
| Casca de Arroz | 11,31 | 82,09 | 15,51 | 2,39 | 1467,00 | VIEIRA et al., 2013 |
| Resíduo de Soja | 13,80 | 10,86 | 0,64 | 88,44 | - | VIEIRA, 2012 |
| Bagaço de Cana | 6,98 | 38,64 | 4,91 | 56,45 | - | VIEIRA, 2012 |
| Sabugo de Milho | 5,40 | 30,74 | 6,97 | 62,29 | - | VIEIRA, 2012 |
| Pinhão manso | - | 29,00 | 14,43 | 45,5 | 6233,00 | VALE, 2011 |

Quanto maior o teor de umidade da biomassa, maior será a energia necessária para haver o processo de combustão, pois a energia será gasta inicialmente na vaporização da água presente no material (VIEIRA et al., 2013). Os valores obtidos para o teor de umidade das madeiras 1 e 2 são inferiores aos encontrados pelos outros autores em relação a biomassas de fontes agrícolas. Isso mostra que neste aspecto é mais vantajoso os resíduos

madeireiros, pois sua queima irá demandar menos energia para evaporação da água no material.

Em relação ao teor de material volátil, Klautau (2008) diz que o teor de voláteis interfere no processo de ignição, porque quanto maior for o teor de voláteis, maior será a reatividade, determinando assim a facilidade de incendiar e queimar. O teor de material volátil encontrado para as madeiras 1 e 2 está próximo ao encontrado para sabugo de bagaço de cana, inferior a casca de arroz e maior que o sabugo de milho e pinhão manso. Quanto maior o teor de voláteis maior será a quantidade de fumaça durante a queima do material. Neste aspecto os resíduos de soja seriam mais indicados para uso doméstico.

A presença de cinzas reduz a eficiência da queima, por causa do consumo de oxigênio para derrete-las (HOFFMANN, 2010). Os valores obtidos para as madeiras 1 e 2, e resíduos de soja estão dentro do valor desejado, segundo Basso (2017). Os valores encontrados para casca de arroz e pinhão manso estão bastante acima do desejado. Neste aspecto o melhor valor encontrado é o de resíduo de soja, pois possui o menor valor, tendo assim sua queima de forma mais eficiente.

O teor de carbono fixo se relaciona com a quantidade de cinzas e voláteis presentes na amostra. O ideal é que a amostra tenha um elevado teor de carbono fixo, pois ele é o que sobra após a saída dos voláteis e cinzas. Dentre as biomassas, o melhor teor encontrado é o de resíduos de soja, seguido das madeiras 1 e 2 e o pior valor encontrado é o de casca de arroz.

O rendimento energético da biomassa é afetado diretamente pela quantidade de energia liberada pela madeira durante o processo de queima, sendo assim desejável que a amostra tenha um elevado poder calorífico superior (ARAÚJO, 2018). O valor encontrado para poder calorífico superior das madeiras 1 e 2 é superior aos das biomassas de cascas de arroz e pinhão manso.

Os valores encontrados por Vieira (2012) para análise imediata dos resíduos de soja estão satisfatórios, de acordo com a literatura, para o consumo doméstico e apresentam valores mais indicados que os encontrados nas amostras das madeiras 1 e 2 para o mesmo uso, exceto pelo seu teor de umidade.

5. CONCLUSÃO

O carvão vegetal produzido pelos resíduos mistos de duas madeiras apresentou um teor de umidade e de cinzas aceitáveis. O teor de materiais voláteis está acima do desejado e como consequência acarretou em menor teor de carbono fixo. O poder calorífico superior está acima da média encontrada no estudo da *Manilkara sp.*, provavelmente pelo material de origem não ser só maçaranduba. Não houve diferença significativa entre os resultados obtidos pelas amostras, exceto pelo teor de umidade.

Os resultados mostram que é viável o aproveitamento dos resíduos para produção energética. Os teores de umidade e cinzas se encontram dentro do desejado para carvão vegetal. Não é correto afirmar que o alto teor de voláteis seja prejudicial sem uma análise química dos extrativos gerados pelas espécies em estudo.

É necessário que haja mais estudos voltados para reutilização de resíduos provenientes de madeiras, a fim de esclarecer seu potencial e conduzir melhor sua reutilização. Além disso é preciso obtenção dados de como esses resíduos são gerados e passados para a sociedade a fim de ter material de estudo e comparação de situações reais.

6. REFERÊNCIAS

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8112**: Carvão Vegetal – Análise Imediata. Rio de Janeiro: ABNT, 1986. 5p.

ALMEIDA, K. N. S. et al. Mensuração do volume de resíduo gerado em marcenaria no município de Bom Jesus-PI. **Scientia Plena**, v. 8, n. 4 (b), 2012.

ARAÚJO, A. C. C. et al. Propriedades energéticas da madeira e do carvão vegetal de *Cenostigma macrophyllum*: subsídios ao uso sustentável. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 38, 2018.

BARBOSA, M. C. Qualidade do carvão vegetal produzido com material de diferentes posições axiais de um clone de *Eucalyptus urophylla*. 2016.

BASSO, S. **Análise do carvão vegetal para uso doméstico**. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

BRAINER, M. S. C. P., Setor Moveleiro: Aspectos Gerais e Tendências no Brasil e na área de atuação do BNB. **Caderno Setorial ETENE**. Banco do Nordeste. n.34. 2018.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Secretaria de Planejamento e Desenvolvimento Energético. **Balanco Energético Nacional**. Brasília, DF. 2018.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Uso sustentável e conservação dos recursos florestais da caatinga**. Brasília: Serviço Florestal Brasileiro, 2010. 369p.

BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de Agosto de 2010. **Política Nacional de Resíduos Sólidos**, Brasília, DF. 2010.

BRITO, J. O. O uso energético da madeira. **Estudos avançados**, v. 21, n. 59, p. 185-193, 2007.

BUDZIAK, C. R.; MAIA, C. M. B. F.; MANGRICH, Antonio S. Transformações químicas da matéria orgânica durante a compostagem de resíduos da indústria madeireira. **Química Nova**, v. 27, n. 3, p. 399-403, 2004.

CEMIN, D. S. Desenvolvimento de um forno para carbonização de resíduos agroflorestais em pequena escala. 2010.

CHIES, V.; PICHELLI, K. R. Carvão vegetal: de problema a solução sob holofotes negativos por casos de produção em condições inadequadas, biocombustível pode conferir sustentabilidade à produção de aço. **Embrapa Agroenergia-Outras publicações técnicas (INFOTECA-E)**.

DALLASTRA, E. C. **Sistemas de produção de carvão vegetal existentes no Brasil: uma análise de viabilidade econômica**. 2010. Tese de Doutorado.

DUTRA, R. I. J. P.; NASCIMENTO, SM do; NUMASAWA, S. Resíduos de indústria madeireira: caracterização, consequências sobre o meio ambiente e opções de uso. **Revista Científica Eletrônica de Engenharia Florestal**, v. 5, p. 1-10, 2005.

FERREIRA, I. T. et al. Estimativa do potencial energético de resíduos celulósicos de fabricação de papel através de análise imediata. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, v. 3, n. 4, 2014.

GOMES, J. I.; SAMPAIO, S. S. Aproveitamento de resíduos de madeira em três empresas madeireiras do Estado do Pará. **Embrapa Amazônia Oriental-Comunicado Técnico (INFOTECA-E)**, 2004.

GONÇALVES, J. E. **Avaliação energética e ambiental de briquetes produzidos com rejeitos de resíduos sólidos urbanos e madeira de *Eucalyptus grandis***. 2010. Tese Doutorado em Agronomia–Energia na Agricultura–Universidade Estadual Paulista–Faculdade de Ciências Agrônomicas, Botucatu–SP

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES - IBÁ. **RELATÓRIO IBÁ 2017**.

NAVARRO, R. F. A Evolução dos Materiais. Parte1: da Pré-história ao Início da Era Moderna. **Revista eletrônica de materiais e processos**, v. 1, n. 1, p. 01-11, 2006.

NOLASCO, A. M. et al. Gerenciamento de resíduos na indústria de pisos de madeira. **Projeto Piso de Madeira Sustentável-PIMADS. ANPM. Universidade de São Paulo. Piracicaba**, 2014.

OLIVEIRA, L. H. et al. Aproveitamento de resíduos madeireiros de Pinus sp. com diferentes granulometrias para a produção de briquetes. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 40, n. 3, p. 683-691, 2017.

PREILIPPER, U. E. M. et al. Aproveitamento do resíduo madeireiro na produção de energia termoelétrica no município de Marcelândia-MT. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, v. 36, 2016.

QUIRINO, W. F. et al. Densitometria de raios x na análise da qualidade de briquetes de resíduos de madeira X Ray densitometry for waste wood briquetts analysis. **Scientia Forestalis**, v. 40, n. 96, p. 525-536, 2012.

RAMOS, L. E. et al. Produção e avaliação de briquetes de resíduos lignocelulósicos. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 31, n. 66, p. 103, 2011.

RODRIGUES, F. P.; SANTOS, L. L.; CREPALDE, T. N. V. **Avaliação da temperatura final de carbonização sobre a qualidade do carvão vegetal de eucalipto**. São João Evangelista, MG: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia - Campus São João Evangelista, 2010. 37p.

ROSA, R. A. et al. Qualidade do carvão vegetal para o consumo doméstico. **Journal of Biotechnology and Biodiversity**, v. 3, n. 2, 2012.

SANTOS, S. de F. de OM; HATAKEYAMA, K. Processo sustentável de produção de carvão vegetal quanto aos aspectos: ambiental, econômico, social e cultural. **Production Journal**, v. 22, n. 2, p. 309-321, 2012.

SCHMIDT, J. A. B. Estudo da viabilidade de produção de briquetes de biomassa de madeira na região de lages. **REPOSITÓRIOS DE RELATÓRIOS-Engenharia de Produção**, n. 1, 2015.

SILVA, J. W. F. et al; Da biomassa residual ao briquete: viabilidade técnica para produção de briquetes na microrregião de dourados-ms. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, v. 6, n. 4, p. 624-646, 2017.

SILVA, A. A. et al. Aproveitamento de resíduos de madeira de pinus e bagaço de cana de açúcar para produção de chapas de madeira aglomerado. **Blucher Chemical Engineering Proceedings**, v. 1, n. 2, p. 8399-8407, 2015.

SOARES, V. C. et al. Correlações entre as propriedades da madeira e do carvão vegetal de híbridos de eucalipto. **Revista Árvore**, v. 38, n. 3, 2014.

TESSMER, H. Uma síntese histórica da evolução do consumo de energia pelo homem. **Revista Liberato**, 2009.

TRUGILHO, P. F.; SILVA, D. A. Influência da temperatura final de carbonização nas características físicas e químicas do carvão vegetal de jatobá (*Himenea courbaril* L.). **Scientia Agraria**, v. 2, n. 1, p. 45-53, 2001.

VALE, A. T. et al. Potencial energético da biomassa e carvão vegetal do epicarpo e da torta de pinhão manso (*Jatropha curcas*). **Cerne**, v. 17, n. 2, 2011.

VIEIRA, A. C. et al. Caracterização da casca de arroz para geração de energia. **Varia Scientia Agrárias**, v. 3, n. 1, p. 51-57, 2013.

VIEIRA, A. C. Caracterização da biomassa proveniente de resíduos agrícolas. 2012. Dissertação de mestrado em Energia na Agricultura pela Universidade do Oeste do Paraná.