

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

DRIELLY CAMILLA LEAL DE ALMEIDA

**RENDIMENTO GRAVIMÉTRICO E ANÁLISE IMEDIATA DO
CARVÃO VEGETAL PRODUZIDO EM UM PROTÓTIPO DE
FORNO METÁLICO**

**RECIFE-PE
2019**

DRIELLY CAMILLA LEAL DE ALMEIDA

**RENDIMENTO GRAVIMÉTRICO E ANÁLISE IMEDIATA DO
CARVÃO VEGETAL PRODUZIDO EM UM PROTÓTIPO DE
FORNO METÁLICO**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Departamento de
Ciência Florestal da Universidade
Federal Rural de Pernambuco,
como requisito parcial para
obtenção do título de bacharel em
Engenharia Florestal.

**RECIFE-PE
2019**

A447r ALMEIDA, DRIELLY CAMILLA LEAL DE ALMEIDA
RENDIMENTO GRAVIMÉTRICO E ANÁLISE IMEDIATA DO CARVÃO VEGETAL PRODUZIDO EM UM
PROTÓTIPO DE FORNO METÁLICO / DRIELLY CAMILLA LEAL DE ALMEIDA ALMEIDA. - 2019.
32 f.

Orientador: RAFAEL LEITE BRAZ.
Inclui referências.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Bacharelado em
Engenharia Florestal, Recife, 2019.

1. Carbonização. 2. rejeitos da construção civil. 3. biomassa vegetal . I. BRAZ, RAFAEL LEITE, orient. II. Título

CDD 634.9

DRIELLY CAMILLA LEAL DE ALMEIDA

**RENDIMENTO GRAVIMÉTRICO E ANÁLISE IMEDIATA DO
CARVÃO VEGETAL PRODUZIDO EM UM PROTÓTIPO DE
FORNO METÁLICO**

Aprovado em 11 de dezembro de 2019

BANCA EXAMINADORA

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

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

Engenheiro Florestal, Dr. João Paulo F. da Silva
Avaliador

DEDICATÓRIA

*Dedico a minha família, em especial a
minha mãe, por ter tido fé em mim.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, por todas as coisas maravilhosas da minha vida e por tudo que me permitiu passar!

Agradeço a minha mãe Maria da Conceição Leal de Almeida, por ter acreditado em mim e ter me incentivado a chegar até aqui!

Agradeço a Ângela Maria de Miranda Freitas, pela paciência e até pelas broncas que muitas vezes serviram para me nortear em momentos de devaneios.

Agradeço a Flávio Barbosa de Santana pelo incentivo e por todos os momentos em que precisei de seu auxílio.

Agradeço ao meu orientador Rafael Leite Braz, pela confiança dedicada a mim.

Agradeço a todos os meus amigos que direta ou indiretamente contribuíram para a minha formação pessoal e profissional.

RESUMO

ALMEIDA, D. C. L. Rendimento Gravimétrico e Análise Química Imediata do Carvão Vegetal Produzido em um Protótipo de Forno Metálico. 2019. 40p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal Rural de Pernambuco. Recife, 2019.

Os rejeitos da construção civil que são de origem vegetal madeireira, podem ser reutilizados como matéria prima para a produção de carvão vegetal para uso doméstico. Esses resíduos florestais, que são usados para a geração de energia, podem gerar renda, e também é uma prática ambientalmente correta que agrega valor a atividades de pouca relevância. A carbonização é um processo de decomposição da madeira que se dá através do aumento da temperatura resultando em um material sólido que é o carvão vegetal. Na carbonização a biomassa vegetal libera água e gera alguns gases resultantes da queima que em sua grande maioria são perdidos na atmosfera. Considera-se importante o estudo do material resultante da carbonização no emprego de um melhor aproveitamento na produção de energia. Onde esse estudo trás a eficiência de carbonização do material vegetal caracterizando-o segundo as propriedades físicas que foram avaliadas: o rendimento da carbonização ficou em 30,76%, teor de umidade da madeira em média de 13,19 e do carvão com média de 7,91%, materiais voláteis de 23,12%, teor de cinzas de 1,61% e carbono fixo de 75,27%.

Palavras chave: Carbonização, rejeitos da construção civil, biomassa vegetal.

ABSTRACT

ALMEIDA, D. C. L. Gravimetric Yield and Immediate Chemical Analysis of Charcoal Produced in a Metallic Furnace Prototype. 2019. 40p. Course Conclusion Paper (Bachelor of Forest Engineering) - Federal Rural University of Pernambuco. Recife, 2019.

Construction waste that is of wood plant origin can and should be reused as raw material for the production of charcoal for domestic use. These forest residues, which are used for power generation, can generate income, and it is also an environmentally sound practice that adds value to activities of little relevance.

Carbonization is a process of decomposition of wood that occurs by increasing the temperature resulting in a solid material that is charcoal. In carbonization the vegetable biomass releases water and generates some gases resulting from burning that are mostly lost in the atmosphere. It is important to study the material resulting from carbonization in the use of a better use in energy production. Where this study brings the carbonization efficiency of the plant material characterizing it according to the physical properties that were evaluated: the carbonization yield was 30.76%, wood moisture content averaged 13.19 and coal average. 7.91%, volatile materials 23.12%, ash content 1.61% and fixed carbon 75.27%.

Keywords: Charcoal, Carbonization, Carbonization Yield

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
2. OBJETIVO	13
3. REFERENCIAL TEÓRICO	14
3.1 Resíduo da construção civil	14
3.2 Carbonização	15
3.3 Carvão Vegetal.....	16
3.4 Análise Imediata do carvão Vegetal.....	17
4. MATERIAIS E MÉTODOS.....	18
4.1 Construção do forno	18
4.2 Preenchimento do forno e procedimentos para a carbonização	20
4.3 Análises e rendimento do carvão.....	21
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	26
6. CONCLUSÕES.....	28
7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	29

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Detalhamento construtivo do protótipo do forno metálico. **a)** Regularização da base. **b)** Levantamento das paredes. **c)** Acoplamento do tubo de saída dos gases e furo de leitura de temperatura. **d)** Pórtico encapsulado. _____ **19**

Figura 2 – Detalhamento de inicial do procedimento de carbonização do protótipo do forno metálico. **a)** Madeira utilizada. **b)** Preenchimento do forno. **c)** Estufa de secagem para determinação de umidade. **d)** Ignição do forno. _____ **20**

Figura 3 – carvão produzido no protótipo do forno metálico. **a)** abertura do forno, **b)** carvão acondicionado em saco de náilon. _____ **21**

Figura 4 – amostras de madeira colocadas na estufa para secagem. _____ **23**

Figura 5 – Mufla utilizada para determinação dos materiais voláteis. _____ **24**

Figura 6 – Preparo das amostras para determinação do teor de cinzas. _____ **25**

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Determinação media do teor de umidade da madeira utilizada na produção de carvão em protótipo de forno metálico. _____ **26**

Tabela 2 - Rendimento gravimétrico em quilograma e em percentual, de materiais produzidos durante o processo de pirólise de resíduo de madeira da construção civil. _____ **26**

Tabela 3 – Análise imediata do carvão produzido em protótipo de forno metálico, com resíduo de madeira da construção civil. _____ **27**

1. INTRODUÇÃO

No Brasil a indústria da construção civil é uma grande responsável pela geração de resíduos sólidos nas cidades, mas vem buscando alternativas eficientes para diminuir os impactos ambientais (GRADIN e COSTA 2009). É um setor que gera uma quantidade considerável de rejeitos sólidos juntamente com toda a cadeia comercial que fornece matéria prima para o setor, produzindo resíduos de origem vegetal como a madeira, que são amplamente utilizados nos mais variados formatos como; linhas, caibros, ripas, estroncas, tábuas maciças, painéis secundários de madeira (compensado, OSB, MDF, etc.), pellets, entre outros.

Esses resíduos são descritos no CONAMA na resolução nº 307/2002 como recicláveis e na classe B como os que devem ser levados para outras destinações.

O CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente) estabelece diretrizes, critérios e procedimentos na Resolução nº 307/2002 de classificação dos resíduos sólidos (Brasil 2002).

I - Classe A - são os resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados, tais como:

a) de construção, demolição, reformas e reparos de pavimentação e de outras obras de infraestrutura, inclusive solos provenientes de terraplanagem;

b) de construção, demolição, reformas e reparos de edificações: componentes cerâmicos (tijolos, blocos, telhas, placas de revestimento etc.), argamassa e concreto;

c) de processo de fabricação e/ou demolição de peças pré-moldadas em concreto (blocos, tubos, meio-fio etc.) produzidas nos canteiros de obras;

II - Classe B - são os resíduos recicláveis para outras destinações, tais como: plásticos, papel/papelão, metais, vidros, madeiras e outros;

III - Classe C - são os resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem/recuperação, tais como os produtos oriundos do gesso;

IV - Classe D: são resíduos perigosos oriundos do processo de construção, tais como tintas, solventes, óleos e outros ou aqueles contaminados ou prejudiciais à saúde oriundos de demolições, reformas e reparos de clínicas radiológicas, instalações industriais e outros bem como telhas e demais objetos e materiais que contenham amianto ou outros produtos nocivos à saúde.

(Nova redação dada pela Resolução nº 348/04).

Dentre todos os resíduos que compõem a classe B temos a madeira, como um dos materiais passíveis de reinserção no mercado, na forma de reaproveitamento, podendo ser usado como lenha ou até mesmo na produção de carvão vegetal.

No Brasil existe uma grande demanda do uso do carvão vegetal, tanto na indústria e comércio, como no uso doméstico. Uma alternativa para a reutilização da madeira de descarte da construção civil, pode ser a transformação da mesma em carvão vegetal de baixa densidade, para o uso doméstico. Sabendo-se que para o caso da indústria siderúrgica se faz necessária a utilização do carvão com densidade uniforme, e de padrão específico de calorimetria, que essa madeira de rejeito não apresenta, pois a madeira descartada pela construção civil é bem variada.

As carvoarias de pequeno porte, que produzem carvão de maneira artesanal e sem tecnologias de produção, são responsáveis por grande parte da produção de carvão nacional. A produção de carvão vegetal pode gerar renda favorável, para pequenas propriedades agrícolas, desde que seja respeitada a sua capacidade de produção para que estas não cheguem à exaustão. A utilização da madeira de rejeito também pode diminuir essa pressão que as carvoarias exercem sobre as florestas nativas.

2. OBJETIVOS

- Trazer uma nova perspectiva de uso e valoração do material vegetal proveniente de descarte da construção civil, dando a alternativa de transformar a madeira em carvão vegetal para uso doméstico.
- Determinar as propriedades físicas do carvão produzido em protótipo de forno metálico com madeiras oriundas de rejeito da construção civil.
- Quantificar o rendimento gravimétrico do carvão vegetal, densidade, materiais voláteis, teor de cinza e carbono fixo;

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1. Resíduos da construção Civil

A cadeia produtiva da construção civil é uma das atividades que mais causam impactos ao meio ambiente, pois está associada a grandes volumes de utilização de matérias-primas e energia, sendo assim considerada uma das maiores geradoras de entulho ou resíduo, sendo responsável por uma parte significativa dos impactos ambientais em nível global (BRASILEIRO e MATOS 2015).

De acordo com a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), os resíduos são “todo material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade”. Contudo, existem grandes chances de transformação desse resíduo em algo útil numa outra atividade (Brasil, 2009).

Segundo Barreto (2005), existe muitas definições na bibliografia para Resíduos de Construções e Demolições, sendo a apresentada na Resolução nº 307 do CONAMA a mais completa:

Resíduos da construção civil: são os resíduos provenientes de construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, e os resultantes da preparação e da escavação de terrenos, tais como: tijolos, blocos cerâmicos, concreto em geral, solos, rochas, metais, resinas, colas, tintas, madeiras e compensados, forros, argamassa, gesso, telhas, pavimento asfáltico, vidros, plásticos, tubulações, fiação elétrica, etc, (RESOLUÇÃO nº 307 do CONAMA,2002).

Dentre os resíduos existem os entulhos, que são os resíduos da construção civil, oriundos de processos construtivos, reformas ou demolições. Podem trazer sérios problemas ambientais se simplesmente descartados em locais inapropriados, locais que em sua grande maioria, não possuem capacidade para receber o volume de resíduos depositados regularmente, (DAHER E FABRI 2012).

Segundo Mello e Vieira (2015) é de fundamental importância o uso da madeira na construção civil, ela atende a diversas etapas de uma obra, da fundação aos acabamentos e gera muitos entulhos. A importância de se aproveitar os resíduos de

madeira da construção civil para geração de energia alternativa é evitar a sua disposição irregular e a queima a céu aberto, além dos benefícios na contribuição para as necessidades de energia, da sociedade moderna, evitando assim futuros desmatamentos.

Conforme Brasil (2009), o baixo aproveitamento associado à geração de grandes quantidades de resíduos de madeira, acarretam em danos ambientais, além de significativa perda de oportunidade para toda a sociedade, em especial as regiões remotas que dependem de fontes de energia externas tais como: petróleo, carvão mineral, e gás.

Segundo Brasil (2009), é comum em nosso país, na construção civil, não haver uma separação da madeira dos outros resíduos sólidos, e via de regra acabam em aterros sanitários. Em alguns aterros, uma pequena parte desses resíduos é reciclada, mas a madeira permanece como dejetos nos aterros, pois não é recuperada nestas usinas. Quando há a separação da madeira no local da obra, os resíduos são postos na categoria dos resíduos destinados preferencialmente ao reuso, reciclagem ou armazenamento temporário. O fator que limita a reciclagem da madeira normalmente é o fato desta estar “impregnada” com outros materiais como tintas, solventes, concreto/argamassa, metais (pregos, arames, grampos, parafusos, dobradiças, etc.) e ainda agentes desmoldantes. (BRASIL 2009).

3.2. Carbonização

A carbonização tem como objetivo, o tratamento térmico da madeira para elevar o teor de carbono fixo, para tanto, é necessário que ocorram processos químicos e físicos (ALMEIDA E REZENDE 1982). Portanto, a carbonização é a transformação térmica da madeira na presença controlada de oxigênio ou ar, liberando duas frações uma gasosa e outra sólida (VALENTE e LELLES, 1986).

A produção de carvão vegetal é o mais antigo processo de transformação química para a utilização da madeira, onde o processo de carbonização ocorre quando é aquecida em presença de quantidade limitada de oxigênio, em temperatura acima dos 300°C, (CETEC, 1982).

Segundo Rezende (2006), o processo de carbonização da madeira ocorre em quatro fases:

- Fase I - Secagem: ocorre até 110 °C, quando apenas a umidade é liberada;
- Fase II - Torrefação: ocorre entre 110 e 250 °C, sendo que, na temperatura de 180 °C, tem início a liberação da água de constituição pela decomposição da celulose e hemicelulose. Pouco peso é perdido até 250 °C. Forma-se o tiço ou madeira torrada;
- Fase III - Carbonização: ocorre entre 250 e 350 °C e, com a intensificação da decomposição da celulose e hemicelulose, ocorre expressiva perda de peso, formando-se gás, óleo e água. Ao atingir a temperatura de 350 °C, o carvão possui 75% de carbono fixo e se considera que a carbonização está praticamente pronta;
- Fase IV - Fixação: dos 350 °C em diante, ocorre redução gradual na liberação de elementos voláteis, principalmente gases combustíveis, continuando a fixação do carbono.

3.3. Carvão Vegetal

Desde a era primitiva, o homem se utilizava da queima da madeira como fonte de aquecimento e iluminação nas cavernas. Com isso não tardou a perceber que, a utilização do carvão não gerava chama como também pouca fumaça, obtendo calor de maneira mais controlável do que o produzido pela queima direta da madeira (JUVILLAR, 1980)

A transformação da lenha em carvão vegetal é prática conhecida há muito tempo pela humanidade. O maior desenvolvimento ocorrido na indústria do carvão vegetal ocorreu durante o curso da 2ª Guerra Mundial, onde cientistas dedicaram uma parte de suas atividades ao estudo da obtenção do carvão vegetal, tendo como objetivos o fornecimento de matéria-prima para a indústria, produção de carvão para gasogênios, síntese de combustíveis, entre outros. Após o término da guerra, a economia mundial se voltou para o petróleo e esses estudos foram descontinuados. (BRITO e BARRICHELO, 1981).

O carvão vegetal é um produto gerado da degradação física ocasionado pela queima parcial da madeira. Este quando é destinado ao uso doméstico é bastante semelhante àquele empregado no setor industrial quanto ao controle de densidade, poder calorífico e altas concentrações do teor de carbono (BASSO 2017).

O carvão vegetal para ser considerado de boa qualidade para o uso doméstico deve reunir algumas características como: baixa umidade; baixo teor de materiais voláteis e baixo teor de cinzas (RIBEIRO E VALE, 2006).

3.4. Análise Imediata Do Carvão Vegetal

A análise imediata (carbono fixo, voláteis e teor de cinzas) é importante a se considerar, pois suas quantidades podem influenciar na qualidade do carvão vegetal.

De acordo com Oliveira (2010) e Santos (2010), eles concordam quando dizem que: O carvão vegetal é composto basicamente por três frações distintas (carbono fixo, materiais voláteis e cinza, sendo a temperatura o principal parâmetro que regula os teores de materiais voláteis e carbono fixo do carvão), suas propriedades químicas podem ser investigadas por meio da análise imediata que consiste em determinar a porcentagem de cada uma dessas frações, bem como a umidade presente no mesmo.

3.4.1. Rendimento Gravimétrico

As madeiras mais densas além de ter maior poder calorífico, maximiza o rendimento da produção de carvão por ter constituição química adequada que resulta em um carvão de melhor qualidade (PALUDZYSYN FILHO, 2008).

O teor de umidade é um dos principais fatores que afeta o rendimento gravimétrico, pois a madeira a ser carbonizada que tem um elevado teor de umidade diminui o rendimento gravimétrico em relação ao carvão produzido (CANAL et al, 2014).

Uma das maneiras de controlar a carbonização e obter um maior rendimento da produção de carvão é através do controle das faixas de carbonização, em função da temperatura e do tempo de permanência no forno (OLIVEIRA et al. 2013).

3.4.2. Teor de Umidade

O carvão é um material higroscópico e a sua umidade depende de dois fatores: da temperatura em que foi obtido e da umidade do ambiente no qual ele se encontra.

Trata-se de umidade o percentual de peso perdido pelo carvão quando este é submetido a um aquecimento em estufa a $\pm 105^{\circ}\text{C}$ durante duas horas. Esta perda de peso relacionada para um grama é a umidade do carvão vegetal. (CETEC 1982)

3.4.3. Materiais Voláteis

O material volátil residual do carvão é composto de hidrogênio, hidrocarbonetos, CO, CO₂. Na prática determina-se o teor de material volátil aquecendo o carvão em temperatura inferior a 950°C . (CETEC 1982)

3.4.4. Cinzas

A cinza é o resíduo mineral dos óxidos obtidos pela combustão completa do carvão. Isso se dá pelo tempo prolongado na mufla que é de três horas. (CETEC 1982)

3.4.5. Carbono fixo

Quando se efetua a determinação do teor de material volátil, parte do carbono sai junto com os gases, como elemento formador das moléculas de CO, CO₂ e dos hidrocarbonetos. Outra quantidade de carbono é a responsável pela formação da massa amorfa e como não sai junto com o material volátil, permanecendo “fixo”, recebe a denominação de “carbono fixo”. (CETEC 1982).

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Construção do forno

Para início do projeto foi construído no viveiro florestal do Departamento de Ciência Florestal (DCFL), da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE) um forno com dimensões 0,83m x 0,74m x 0,60m de comprimento, largura e altura respectivamente, para abrigar e isolar um tonel de metal de 100 litros. Foram feitas duas aberturas, uma na tampa para entrada do ar e manutenção da combustão e outra na parte de baixo para a saída e coleta dos gases produzidos pela queima da lenha, onde nessa abertura foi acoplado um tubo metálico que conduzia os gases para um condensador, e na lateral foi feito um furo pequeno para poder fazer a leitura da temperatura, essa leitura foi possibilitada com o auxílio de um multímetro conectado a um termo par tipo “K”. O tonel foi posto deitado com a abertura da tampa posicionado no sentido

favorável ao vento, para manter uma ventilação forçada, evitando que as chamas apagassem antes de atingir a temperatura desejada, em seguida o tonel foi encapsulado com a parte de alvenaria, (Figura 1).

Figura 1 – Detalhamento construtivo do protótipo do forno metálico. a) Regularização da base. b) Levantamento das paredes. c) Acoplamento do tubo de saída dos gases e furo de leitura de temperatura. d) Pórtico encapsulado.



4.2. Preenchimento do forno e procedimentos para a carbonização

A lenha utilizada foi proveniente de descarte da construção civil. Essa lenha foi cortada e padronizada em tamanhos de 20 a 30 cm. Foram escolhidas seis amostras aleatórias ao acaso a fim de medir o teor de umidade (procedimento feito em laboratório), todo o resto da lenha foi posto em um saco de nylon e pesado em balança digital com capacidade para pesar 50 quilos. Depois de pesada a lenha foi disposta dentro do forno na posição horizontal, até quase preencher todo o forno, para então dar início a queima ainda com a tampa do forno aberta. Quando as chamas se mostraram consistente, cerca de cinco minutos após a ignição, a tampa do forno foi fechada, restando apenas a abertura menor feita na tampa para a entrada de ar e manutenção das chamas.

No forno foram feitas cinco carbonizações, todas seguindo o mesmo critério de interromper a queima quando a temperatura atingisse 450°C. Todas as carbonizações tiveram um tempo médio de duração de duas horas e meia para atingir a temperatura limite (Figura 2).

Figura 2 – Detalhamento de inicial do procedimento de carbonização do protótipo do forno metálico. a) Madeira utilizada. b) Preenchimento do forno. c) Estufa de secagem para determinação de umidade. d) Ignição do forno.





4.3. Análises e rendimento do carvão

Para classificar os resultados como satisfatório ou não foram conduzidas análises posteriores a carbonização, feitas no Laboratório de Tecnologia da Madeira, para quantificar e qualificar o carvão produzido (figura 3) . As análises feitas foram; densidade aparente, rendimento gravimétrico, teor de umidade, materiais voláteis, cinzas, e carbono fixo. As análises do carvão vegetal foram feitas de acordo com a norma ABNT NBR8112, (ABNT 1986). A pesar de ser uma norma cancelada em 2015 não houve substituição, porem ainda utilizadas como base para experimento em laboratório.

Figura 3 – carvão produzido no protótipo do forno metálico. a) abertura do forno, b) carvão acondicionado em saco de náilon.



4.3.1. Rendimento Gravimétrico

O rendimento gravimétrico refere-se a massa de carvão final em relação a massa de madeira. Em síntese é o rendimento da carbonização dado em um percentual, no qual foi determinado através da seguinte fórmula:

$$RG\% = \frac{PMS-PC}{PMS} \times 100$$

Onde:

RG: Rendimento Gravimétrico em %

PMS: Peso da Madeira Seca (Kg)

PC: Peso em carvão (Kg)

4.3.2. Determinação do teor de umidade da madeira

Para a determinação do teor de umidade da madeira pesou-se seis amostras de madeira anterior a cada carbonização que foram escolhidas aleatoriamente depois colocadas para secar em estufa regulada a $103^{\circ} \pm 2^{\circ}\text{C}$ por aproximadamente vinte e quatro horas até atingir massa constante (figura 4). Logo após, retirou-se o material da estufa e esperou que esfriasse a temperatura ambiente em um dessecador, aproximadamente 10 minutos o teor de umidade foi determinado por meio da Equação (1):

$$TU\% = \frac{m_0-m_1}{m_1} \times 100 \quad (1)$$

Onde:

TU: umidade em %.

m_0 : massa inicial da amostra (g).

m_1 : massa final da amostra (g)

Figura 4 – amostras de madeira colocadas na estufa para secagem.



4.3.3. Determinação do Teor de Umidade do Carvão

Para a determinação da umidade do carvão pesou-se seis fragmentos de carvão da amostra e aplicou-se o método de secagem em estufa regulada a $103^{\circ} \pm 2^{\circ}\text{C}$ por aproximadamente 24 horas até a amostra atingir massa constante. Logo após, retirou-se o material da estufa e esperou que esfriasse a temperatura ambiente em um dessecador, aproximadamente 10 minutos o teor de umidade foi determinado conforme a Equação (1).

4.3.4. Determinação dos materiais voláteis

Para a determinação dos materiais voláteis foram utilizadas peneiras de 0,150mm e 0,210mm. Peneirou-se o material previamente macerado e separou-se a parte que passou na malha de 0,210mm da que ficou retida na malha de 0,150mm e pesou-se aproximadamente um grama das amostras em cadinhos com tampa, os quais foram levados à mufla aquecida a $900 \pm 10^{\circ}\text{C}$, sob os seguintes passos: deixados por três minutos na parte interna da porta da mufla, ainda com a porta aberta, para aclimação do cadinho, logo em seguida o cadinho foi posto na parte interna da mufla, onde a porta foi fechada, e o cadinho permaneceu, durante um período de sete minutos.

Após essa etapa foram então levados ao dessecador por aproximadamente 20 min para que esfriassem a temperatura ambiente, onde foi pesado novamente (Figura 5).

Figura 5 – Mufla utilizada para determinação dos materiais voláteis.



A análise de teor de materiais voláteis foi determinada por meio da Equação (2).

$$MV\% = \frac{m_1 - m_2}{m} \times 100 \quad (2)$$

Onde:

MV: materiais voláteis em %.

m₂: massa cadinho + massa da amostra seca em estufa (g).

m₃: massa cadinho + massa da amostra após mufla (g).

m: massa da amostra (g).

4.3.5. Determinação do Teor de Cinzas

Para a determinação do teor de cinzas pesou-se um grama da amostra composta levou-se o material que passou na peneira de 0,210mm para a mufla para incineração total à temperatura de $700 \pm 10^\circ\text{C}$ por 3 horas, sem a tampa do cadinho. Terminada a incineração, levou-se as amostras para o dessecador por aproximadamente 20 min a fim de que atingissem a temperatura ambiente (Figura 6).

Figura 6 – Preparo das amostra para determinação do teor de cinzas



A análise foi feita em duplicata e o teor de cinzas determinado por meio da Equação (3):

$$CZ\% = \frac{m_1 - m_0}{m} \times 100 \quad (3)$$

M0: massa do cadinho

M1: massa do cadinho + resíduo

M: massa da amostra

4.3.6. Determinação do teor de carbono fixo

A determinação do teor de carbono fixo é uma medida indireta, obtida através do cálculo da Equação (4) utilizando os parâmetros previamente determinados.

$$CF\% = 100 - (MV + CZ) \% \quad (4)$$

Onde:

CF: carbono fixo em %.

MV: porcentagem de materiais voláteis.

CZ: porcentagem de cinzas.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para determinação do teor de umidade da madeira, utilizou-se as amostras escolhidas aleatoriamente, para cada ciclo de carbonização, no qual o valor para os cinco ciclos de queima variou de 12,24% a 13,76% com média de umidade de 13,20% . (Tabela 1).

Tabela 1 – Determinação média do teor de umidade da madeira utilizada na produção de carvão em protótipo de forno metálico.

Rendimento gravimétrico	1^a queima	2^a queima	3^a queima	4^a queima	5^a queima	média
Peso da madeira (Kg)	10,83	13,40	11,95	13,14	13,26	12,51
Teor de umidade (%)	13,69	13,13	13,16	13,76	12,24	13,19

Na análise do teor de umidade do carvão vegetal, foi encontrado um valor médio de 7,91%. Valor superior ao encontrado por Rosa et al. (2012), onde o teor de umidade médio do carvão após resfriamento e acondicionamento em embalagem plástica foi de 5,5%. Os fatores que influenciaram nesse aumento de umidade foi o tipo de acondicionamento, feito em saco de náilon de malha transada permitindo a troca de umidade com o ambiente, e o tempo para a realização dos testes entorno de 10 dias.

São considerados valores satisfatórios para um carvão vegetal de boa qualidade aqueles que se encontram abaixo de 5% de umidade (BASSO 2017; ROSA 2012).

Os resultados obtidos para o rendimento gravimétrico (RG) do carvão, produzido em protótipo de forno metálico com cinco ciclos de carbonização de resíduo proveniente da madeira de construções civil, são mostrados na tabela 2:

Tabela 2 - Rendimento gravimétrico em quilograma e em percentual, de materiais produzidos durante o processo de pirolise de resíduo de madeira da construção civil.

	1^a queima	2^a queima	3^a queima	4^a queima	5^a queima	Média
Peso da madeira (Kg)	10,83	13,40	11,95	13,14	13,26	12,51
Peso de carvão (Kg)	3,05	4,15	3,87	4,34	4,14	3,91
Percentual de carvão (%)	28,12	30,93	32,40	31,19	31,14	30,76

O percentual de carvão encontrado ficou em torno de 30,76%, valores semelhantes encontrados por OLIVEIRA et al. (2010), em estudo da qualidade da madeira de *Eucalyptus pellita* para produção de carvão, que encontrou rendimento gravimétrico de 31,09%.

De acordo com Rosa (2012), a qualidade do carvão vegetal destinado ao uso doméstico, e o teor de umidade devem ser o menor possível.

Os valores médios da análise imediata, do carvão produzido em protótipo de forno metálico, ficou em média de 75,27 % para o teor de carbono fixo, 23,12 % para o teor de materiais voláteis e 1,61% para o teor de cinzas (Tabela 3). Tais valores são considerados satisfatórios quando se comparado com O Selo Premium que destaca que o teor de carbono fixo (TCF) deve ser superior a 75%; teor de materiais voláteis (TMV) e o teor de cinzas devem ser inferiores a 23,5% e 1,5%, respectivamente (SÃO PAULO, 2003).

Tabela 3 – Análise imediata do carvão produzido em protótipo de forno metálico, com resíduo de madeira da construção civil.

Análise imediata	Materiais voláteis (%)	Teor de Cinzas (%)	Teor de carbono fixo (%)
Amostra 1	22,58	1,39	76,02
Amostra 2	23,46	1,60	74,95
Amostra 3	22,98	1,30	75,73
Amostra 4	23,71	1,47	74,82
Amostra 5	23,28	2,38	74,33
Amostra 6	22,73	1,49	75,78
Média	23,12	1,61	75,27
Desvio padrão	0,44	0,39	0,67
Coefficiente de Variação	0,35	0,38	0,56

6 – CONCLUSÃO

O material vegetal que é descartado como resíduo da construção civil classificado como B, de acordo com a resolução CONAMA nº 307/2002, pode ser aproveitado na produção de carvão, contribuindo com o melhor aproveitamento, trazendo uma nova perspectiva de valoração, agregando valor aos resíduos e diminuindo os impactos ambientais que podem ser gerados com o descarte errado desses resíduos. No entanto identificam-se oportunidades que podem ser exploradas neste aproveitamento, principalmente aqueles para fins energéticos em regiões com elevada produção de resíduos e demanda crescente por energia.

Com base no experimento realizado, e na análise dos resultados obtidos, pode-se observar que, o carvão analisado tem boa qualidade para uso doméstico por apresentar baixo teor de umidade, voláteis e cinzas e um alto teor de carbono fixo.

7. REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7190**: projeto de estruturas de madeira. Rio de Janeiro, 1997. 107 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR8112**: Carvão vegetal: análise imediata. ABNT, 1983.

BARRETO, I. M. C. B. N.; **Gestão de resíduos na construção civil**. Aracaju: Senai/SE; SENAI/DN; COMPETIR; SEBRAE/SE; SINDUSCON/SE, 2005. 28p

BARROSO, R. C. **Redução do teor de cinzas dos finos de carvão por concentração gravítica a seco**. 2007. 111 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Metalúrgica e Minas) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, 2007.

BASSO, SABRINE. **Análise Do Carvão Vegetal Para Uso Doméstico**. 2017. 42p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Química) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa, 2017.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Resolução nº307, 5 de julho de 2002. Diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil**. CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Secretaria de Mudanças Climáticas e Qualidade Ambiental. **Aproveitamento de resíduos e subprodutos florestais, alternativas tecnológicas e propostas de políticas ao uso de resíduos florestais para fins energéticos**. Curitiba, PR. 2009

BRASILEIRO, L. L.; MATOS, J. M. E. **Revisão bibliográfica: reutilização de resíduos da construção e demolição na indústria da construção civil**. *Cerâmica*, Junho 2015, vol.61, no.358, 2015.

BRITO, J. O.; BARRICHELO, L. G.; **Série Técnica: Considerações Sobre a Produção de Carvão Vegetal com Madeiras da Amazônia**. Disponível em:
Acesso em: 3 dezembro 2019.

CANAL, W. D. et al. **Influência da Umidade da Madeira nas Propriedades do Carvão**. Belo Horizonte: III Forum Nacional sobre Carvão Vegetal, 2014.

COTTA, A. M. G. **Qualidade do carvão vegetal para siderurgia**. 1996. 58 f. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, MG 1996.

DAHER.A.M.; FABRI.E.S.; **Gestão De Rejeitos De Madeira Na Construção Civil: Impactos no Empreendimento Way Pampulha**. Pós Em Revista. Edição 6, novembro 2012.

GRADIN, A. M. N.; COSTA, P. S. N. Reciclagem dos resíduos sólidos da construção civil. 2009. Disponível em:
<<http://www.conhecer.org.br/download/RESIDUOS/leitura%20anexa%202.pdf>>.
Acesso em: 27 de setembro de 2019

JUVILLAR, J. B. Tecnologias da transformação da madeira em carvão vegetal. In: PENEDO, W. R. (Comp.). **Uso da madeira para fins energéticos**. Belo Horizonte: CETEC, 1980. 158 p. (Série Publicações Técnicas, n. 1).

MELLO, F. S.; VIEIRA, G. Vieira. **Aproveitamento dos Resíduos Sólidos de Madeira da Construção Civil para Geração de Energia Alternativa**. **Bioenergia** em Revista: Diálogos, v. 5, 2015.

MIRANDA, M. A. S. **Potencial da Biomassa Florestal para Produção de Energia Térmica Industrial**. 2015. 61 f. Tese (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG. 2015.

OLIVEIRA, A.C.; CARNEIRO, A.C.O.; VITAL, B.R.; ALMEIDA, W.; PEREIRA, B.L.C.; CARDOSO, M.T.C. - Parâmetros de qualidade da madeira e do carvão vegetal de *Eucalyptus pellita* F. Muell. **Scientia Forestales**, v. 38, n. 87, p. 431-439, 2010.

OLIVEIRA, A. C. et al. Otimização da Produção do Carvão Vegetal por meio do Controle de Temperaturas de Carbonização. *Revista Árvore*, 37, 2013.

PALUDZYSYN FILHO, E. Melhoramento do eucalipto para a produção de energia. *Revista Opiniões*, Ribeirão Preto, jun-ago 2008. Disponível em: <http://www.revistaopinioes.com.br/cp/edicao_materias.php?id=15> Acesso em: 17 de dezembro de 2019.

RIBEIRO, P. G. e Vale, A. T. (2006), **Qualidade do carvão vegetal de resíduos de serraria para o uso doméstico**. In: Reunião Anual da Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência, Florianópolis, 2006. Anais. Belém: Universidade Federal do Paraná.

SANTOS, R. C. **Parâmetros de qualidade da madeira e do carvão vegetal de clones de eucalipto**. Dissertação (Doutorado) - Universidade Federal de Lavras. Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia da Madeira. Lavras, 2010.

SÃO PAULO (Estado). Secretaria de Agricultura e Abastecimento de São Paulo. **Resolução nº10 SAA**, de 11 de julho de 2003. São Paulo, 2003.